

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**FARKLI İSTATİSTİKSEL YÖNTEMLERLE KUZEY ANADOLU FAY ZONU
(KAFZ) VE ÇEVRESİNİN DEPREMSELLİĞİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Jeofizik Mühendisi Kaan Hakan ÇOBAN

HAZİRAN 2016

TRABZON



KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**FARKLI İSTATİSTİKSEL YÖNTEMLERLE KUZEY ANADOLU FAY ZONU (KAFZ) VE
ÇEVRESİNİN DEPREMSELLİĞİNİN İNCELENMESİ**

Kaan Hakan ÇOBAN

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde

" JEOFİZİK YÜKSEK MÜHENDİSİ "

Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 12 / 05 / 2016

Tezin Savunma Tarihi : 03 / 06 / 2016

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Nilgün SAYIL

Trabzon 2016

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
Kaan Hakan ÇOBAN tarafından hazırlanan

FARKLI İSTATİSTİKSEL YÖNTEMLERLE KUZEY ANADOLU FAY ZONU(KAFZ) VE
ÇEVRESİNİN DEPREMSELLİĞİNİN İNCELENMESİ

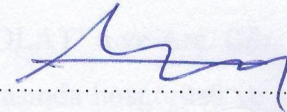
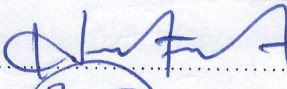
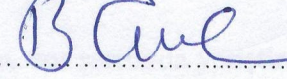
başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 10/05/2016 gün ve 1652 sayılı
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda
YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan : Prof. Dr. Nilgün SAYIL

Üye : Yrd. Doç. Dr. Ali Erden BABACAN

Üye : Yrd. Doç. Dr. Berna TUNÇ

Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ

Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

Bu tez kapsamında yapılan çalışmalarla Türkiye'nin önemli bölgelerinde hasar ve can kaybına yol açabilecek depremlerin olma olasılıkları incelenmesi amaçlanmıştır. Bu tez çalışması ile depremler oluşmadan önce yapılacak çalışmalara, deprem riski yüksek olan bölgelerde yapılacak bina tasarımlarına, deprem riskinin az olduğu yaşam alanlarının seçimlerine, deprem öncesi ve sonrası oluşturulacak afet planlarına destek olacak bilimsel bir altyapı oluşturulmaya çalışılmıştır.

Çalışmalarım sırasında bana yol gösteren, değerli katkılarıyla büyük destek olan danışmanım Sayın Prof. Dr. Nilgün SAYIL' a hoşgörüsü ve emeği için teşekkürlerimi sunarım. Tezimde jüri üyesi olmayı kabul eden sayın hocam Yrd. Doç. Dr. Berna TUNÇ 'a bu zamana kadar bana göstermiş olduğu yardım ve desteklerinden dolayı teşekkürlerimi sunarım. İyi niyeti ve tecrübeleriyle her zaman yanımda olan Yrd. Doç. Dr. Ali Erden BABACAN'a teşekkürlerimi sunarım. Çalışmalarım esnasında tecrübelerini benimle paylaşan KTÜ Jeofizik Mühendisliği bölümdeki tüm araştırma görevlisi arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Zor zamanımda tanıdığım değerli arkadaşlarım Jeofizik Mühendisi Gülseda Vanlı ŞENKAYA, Arş. Gör. Mustafa ŞENKAYA ve Arş. Gör. Özgenç AKIN 'desteklerinden dolayı teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca hayatımda ve tez çalışmalarım sırasında yardımlarıyla her zaman yanımda olan arkadaşlarım Yüksek Endüstri Mühendisi Ali Özer POLAT' a ve Arş. Gör. Özkan ERGENE' ye teşekkür ederim. Yoğun tez çalışmalarım sırasında hoşgörüsü ve anlayışı ile bana destek olan, hayatımda olduğu için çok şanslı olduğum Jeofizik Mühendisi Bengi AKŞAHİN' e ayrıca teşekkür ederim.

Hakkını hiçbir zaman ödeyemeyeceğim, beni büyüten, zor şartlarda yetiştiren, her zaman bana güç veren, hayatımın en değerli varlığı annem Nahide ÇOBAN'a ve ailemi oluşturan Teyzeme, Enişteme ve Kuzenlerime sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Kaan Hakan ÇOBAN

Trabzon 2016

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Farklı İstatiksel Yöntemlerle Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) ve Çevresinin Depremselliğinin İncelemesi” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. Nilgün 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. 03/06/2016

Kaan Hakan ÇOBAN

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	VII
SUMMARY	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ	IX
TABLolar DİZİNİ.....	XII
SEMBOLLER DİZİNİ	XVI
1. GİRİŞ	1
2. İNCELEME ALANI TEKTONİĞİ VE DEPREMSELLİĞİ.....	4
2.1. Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun (KAFZ) Genel Özellikleri.....	4
2.2. Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun (KAFZ) Tektoniği ve Depremselliği	8
2.3. Van Gölü Çevresi Tektoniği ve Depremselliği.....	16
3. YÖNTEM	19
3.1. Stokastik Süreçler	19
3.1.1. Markov Zincir Modeli.....	20
3.1.1.1. Markov Zincileri ile İlgili Örnekler	23
3.1.2. Semi - Markov Modeli	29
3.2. Weibull Dağılım Modeli	34
3.2.1. Weibull Dağılımı Parametrelerini Hesaplama Yöntemleri.....	36
3.2.1.1. Grafik Yöntem	36
3.2.1.2. En Küçük Kareler Yöntemi	37
3.3. Poisson Dağılım Modeli	40
3.3.1. Magnitüd – Frekans İlişkisi	44
3.4. Üstel Dağılım Modeli	46
4. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	49
4.1. İnceleme Alanının Belirlenmesi ve Verilerin Özellikleri	49

4.1.1.	Kullanılan Depremlerin Magnitüdlerinin Homojen Hale Getirilmesi	52
4.2.	Markov Modelin Uygulanması	52
4.2.1.	Bölgeler Arası Deprem Geçişleri İçin Markov Modelin Uygulanması	53
4.2.1.1.	Bölgeler Arası Deprem Geçişlerin Markov Zincir Modeline Göre Değerlendirilmesi.....	53
4.2.2.	Bölgelere Göre Deprem Magnitüd Geçişlerinin Semi-Markov Model Uygulanması	58
4.3.	Weibull Dağılım Modelinin Uygulanması.....	67
4.4.	Poisson Dağılım Modelinin Uygulanması	75
4.5.	Üstel Dağılımı Çalışmaları	80
5.	SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR	84
5.1.	Markov Model Uygulama Sonuçları	84
5.1.1.	Bölgeler Arası Deprem Geçişleri Markov Zincir Modeli Sonuçları	84
5.1.2.	Bölgeler Arası Deprem Geçişleri Semi-Markov Modeli Sonuçları	85
5.2.	Bölgelere Göre Deprem Magnitüd Geçişlerinin Semi-Markov Model Uygulanması	86
5.3.	Weibull Dağılım Modelinin Değerlendirme Sonuçları.....	91
5.4.	Poisson Dağılım Modelinin Değerlendirme Sonuçları	92
5.5.	Üstel Dağılım Modeli Değerlendirme Sonuçları	94
5.6.	Uygulanan İstatistiksel Modellerin Karşılaştırma Sonuçları	96
5.6.1.	Weibull-Poisson Dağılım Modeli Sonuçlarının Karşılaştırılması	96
5.6.2.	Üstel - Poisson Dağılım Model Sonuçlarının Karşılaştırılması....	98
5.6.3.	Semi-Markov, Weibull ve Poisson Dağılım Model Sonuçlarının Karşılaştırılması	100
6.	KAYNAKLAR	104
	ÖZGEÇMİŞ	

ÖZET

**FARKLI İSTATİSTİKSEL YÖNTEMLERLE KUZEY ANADOLU FAY ZONU
(KAFZ) VE ÇEVRESİNİN DEPREMSELLİĞİNİN İNCELEMESİ**

Kaan Hakan ÇOBAN

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Nilgün SAYIL
2016, 108 Sayfa

Alp-Himalaya deprem kuşağında yer alması ve büyük depremler oluşturan aktif Kuzey Anadolu Fay Zonunu (KAFZ) içermesinden dolayı Türkiye’de deprem gerçeğinin iyi bilinmesi ve araştırılması gerekmektedir. Bu bağlamda depremler üzerine araştırmalar yapılmalı ve bu çalışmalar sonucuna göre depremlere karşı önlemler alınmalı, deprem riskinin az olduğu yaşam alanlarında uygun binalar tasarlanmalı, deprem öncesi ve sonrası afet yönetim planları oluşturulmalıdır. Depremler üzerine yapılan bu çalışmaların önemli bir kısmını depremsellik açısından yapılan istatistiksel çalışmaları içermektedir.

Türkiye’nin yerleşim alanlarının ve sanayisinin büyük bir kısmının deprem riskinin yüksek olduğu bölgelerde olmasından dolayı detaylı istatistiksel çalışmalar yapılması gerektiği düşünülmüştür. Bu bağlamda bu tez kapsamında Türkiye’de belirlenen 3 önemli bölgeye 4 farklı istatistiksel model (Poisson, Markov, Weibull ve Üstel dağılım) uygulanarak deprem olma olasılıkları hesaplanmıştır. Modellerden elde edilen tahmin sonuçları kendi aralarında karşılaştırılıp, tutarlılıkları ve farklılıkları incelenmiştir. Yapılan deprem tahmini olasılık çalışmalarına bakıldığında kullanılan üç olasılık tahmin modelinin (Poisson, Markov, Weibull) uzun zaman aralığı için daha kullanışlı olduğu görülmüştür.

Bu çalışmalar ışığında $M_s \geq 5.0$ olan bir depremin olma olasılığının tüm bölgeler ve uygulanan tüm yöntemler için en yüksek olduğu görülmüştür. Ayrıca Markov modeli kullanılarak üç bölge için yapılan çözümlerinde gelecek 2 yılda $5.5 \leq M < 6.0$ aralığında bir deprem meydana gelme olasılığının en yüksek değeri 2.bölge için hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Poisson model, Markov model, Weibull model, Üstel dağılım modeli, Depremsellik, Kuzey Anadolu Fay Zonu, Türkiye

Master Thesis

SUMMARY

INVESTIGATION OF SEISMICITY FOR THE NORTH ANATOLIAN FAULT ZONE (NAFZ) AND ITS SURROUNDING BY USING DIFFERENT STATISTICAL METHODS

Kaan Hakan ÇOBAN

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Geophysical Engineering Graduate Program
Supervisor: Prof.Dr Nilgün SAYIL
2016, 108 Pages

The earthquakes in Turkey should be investigated by reason of take places in the Alpine-Himalayan seismic belt and involves the active North Anatolian Fault Zone (NAFZ). By the light of these examinations necessary precautions should be taken against earthquakes, appropriate structures should be designed, safe living zone should be determined and the earthquake disaster management plans should be established. The statistical methods take importance place for investigation of the seismicity studies.

A large portion of Turkey's residential and industrial areas have high earthquake risk. Therefore, detailed statistical researches were considered to be done. For this reason, earthquake probabilities were calculated with 4 statistical models (Poisson, Markov, Weibull and Exponential Distribution) in 3 main regions, respectively in the present study. The consistency and differences on results of analysis were examined by compared each other. When the earthquake prediction studies were analyzed, it was found that three forecast models (Poisson, Markov, Weibull) were more useful for long time interval.

As a result of these studies, it was found that an earthquake occurrence probability with $M_s \geq 5.0$ is highest in all models and in all regions. On the other hand, the highest occurrence probability of an earthquake in the interval of $5.5 \leq M < 6.0$ in the next 2 years was calculated with Markov model for Region 2.

Key Words: Poisson model, Markov model, Weibull Model, Exponential Distribution Model, Seismicity, North Anatolian Fault Zone, Turkey

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 2. 1. Türkiye diri fay haritası (Şaroğlu ve diğ., 2013).....	6
Şekil 2. 2. Kuzey Anadolu Fayı Zonu (KAFZ) GPS hızları vektörleri (McClusky ve Reilinger (2003)'den değiştirilerek alınmıştır.).....	8
Şekil 2. 3. a) Türkiye'yi çevreleyen levhalar ve ana tektonik çizgisellikler ve b) tektonik birlikler. KAFZ, Kuzey Anadolu Fay Zonu; DAFZ, Doğu Anadolu Fay Zonu; SLF, Tuz Gölü Fay Zonu; KEF, Kırıkkale–Erbaa Fay Zonu; AF, Almus Fay Zonu; EFZ, Ecemiş Fay Zonu; OABK, Orta Anadolu Bindirme Kuşağı; ÖDFZ, Ölü Deniz Fay Zonu (Tatar ve diğ., 2003).....	9
Şekil 2. 4. 1900-2013 yılları arasındaki $M \geq 4.0$ olan depremleri içeren Türkiye geneli depremsellik haritası (URL-1).....	12
Şekil 2. 5. 1900-2013 yılları arasındaki Türkiye genelinde meydana gelen $M \geq 7.0$ depremlerin zamanları haritası (URL-1)	14
Şekil 2. 6. 1900-2013 yılları arasındaki Türkiye genelinde meydana gelen $M \geq 7.0$ depremlerin haritası (URL-1).....	15
Şekil 2. 7. 1900-1999 yılları arasındaki KAFZ'da meydana gelen $M \geq 7.0$ depremlerin yüzey kırıkları haritası (Aksoy,2009).....	16
Şekil 2. 8. Van Gölü ve çevresinin Sismotektonik haritası (Koçyiğit ve diğ., 2001)..	17
Şekil 2. 9. Van Gölü ve çevresinde 1900-2015 yılları arasında meydana gelen $M \geq 4.0$ depremlerin episantr dağılımları.....	18
Şekil 3. 1. İskambil kağıt oyunları modeline ait geçiş olasılıkları şeması	24
Şekil 3. 2. İş makinesi problemine ait geçiş olasılıkları şeması	29
Şekil 3. 3. Ayrık zaman Semi-Markov modeli şeması	31
Şekil 3. 4. a-) Weibull parametreleri hesaplamak için hazırlanmış özel olasılık kağıdı, b) Grafik yöntem için uygulama örneği(URL-2).....	36
Şekil 3. 5. Farklı λ değerleri için Poisson olasılık kütle fonksiyonu (URL-3).....	42
Şekil 3. 6. Depremlerin gerçek ve Poisson dağılım grafiği (Sayıl, 2015).....	43
Şekil 3. 7. Farklı λ değerleri için Üstel dağılım olasılık yoğun fonksiyonu (URL-5)..	46

Şekil 3. 8. Farklı λ değerleri için Üstel birikimli dağılım fonksiyonu (URL-5).....	47
Şekil 4. 1. $M_s \geq 4.0$ depremleri içeren inceleme alanında oluşturulan bölgeler dikdörtgenlerle gösterilmiştir.....	49
Şekil 4. 2. 1. bölgede $M_s \geq 4.0$ olan depremlerin episantr dağılımları.....	50
Şekil 4. 3. 2. bölgede $M_s \geq 4.0$ olan depremlerin episantr dağılımları.....	51
Şekil 4. 4. 3. bölgede $M_s \geq 4.0$ depremlerin episantr dağılımları.....	51
Şekil 4. 5. Oluşturan bölgelere göre $M_s \geq 5.0$ olan depremlerin episantr dağılımları...	53
Şekil 4. 6. 1.bölgede a ve b katsayıları hesaplamak için oluşturulan Magnitüd – LogN grafığı (R; ilişki katsayısıdır).....	76
Şekil 4. 7. 2.bölgede a ve b katsayıları hesaplamak için oluşturulan Magnitüd – LogN grafığı (R; ilişki katsayısıdır).....	78
Şekil 4. 8. 3.bölgede a ve b katsayıları hesaplamak için oluşturulan Magnitüd – LogN grafığı (R; ilişki katsayısıdır).....	79
Şekil 5. 1. Bölge-Bölge geçiş Markov zincir modeli sonuçları.....	85
Şekil 5. 2. Bölge-Bölge geçiş Semi-Markov model sonuçları	86
Şekil 5. 3. Semi-Markov modele göre magnitüd geçiş olasılık değerleri grafığı; a) 1. bölge 1. durum, b) 1. bölge 2. durum, c) 1. bölge 3. durum.....	88
Şekil 5. 4. Semi-Markov modele göre magnitüd geçiş olasılık değerleri grafığı; a) 2. bölge 1. durum, b) 2. bölge 2. durum, c) 2. bölge 3. durum.....	89
Şekil 5. 5. Semi-Markov modele göre magnitüd geçiş olasılık değerleri grafığı; a) 3. bölge 1. durum, b) 3. bölge 2. durum, c) 3. bölge 3. durum.....	90
Şekil 5. 6. Bölgelerin Weibull dağılım modeline göre deprem olma olasılıkları.....	91
Şekil 5. 7. Bölgelere göre Üstel dağılım yıllık tekrarlama olasılıkları.....	95
Şekil 5. 8. Bölgelere göre Üstel dağılım ortalama tekrarlanma periyodu	96
Şekil 5. 9. Weibull-Poisson model dağılımlarının sonuç değerleri grafığı; a) 1. bölge, b) 2. bölge, c) 3. bölge.	97
Şekil 5.10. Üstel ve Poisson model dağılımlarına göre yıllık tekrarlama olasılıkları grafığı; a) 1. bölge, b) 2. bölge, c) 3. bölge.	98

Şekil 5.11. Üstel ve Poisson model dağılımlarına göre ortalama tekrarlamaya periyodu grafiği; a) 1.bölge, b) 2.bölge, c) 3.bölge. 99

Şekil 5.12. Semi Markov -Weibull ve Poisson dağılım Modellerinin olasılık grafiği; a) 1.bölge, b) 2.bölge c) 3.bölge. 100



TABLolar DİZİNİ

Sayfa No

Tablo 3. 1. Makine arıza raporları	39
Tablo 3. 2. En küçük Kareler yöntemi için gerekli olan hesaplamalar.	39
Tablo 4. 1. Bölgelere göre oluşturulan deprem olma ve olmama durumları (0; deprem olmama, 1; deprem olma)	54
Tablo 4. 2. Bölgelerde $\Delta t = 1$ yıl aralıklarla durumlara göre $M_s \geq 5.0$ olan deprem frekansları (sayıları)	54
Tablo 4. 3. Gelecek 5 yıllık periyot için durumlara göre geçiş olasılıkları	55
Tablo 4. 4. Bölgeler arası geçiş durumları	56
Tablo 4. 5. Durumlara göre meydana gelen deprem sayıları	56
Tablo 4. 6. 5 yıllık periyot için hesaplanan $T(n)$ frekans değerleri (n . yıl)	57
Tablo 4. 7. 5 yıllık periyot için oluşturulan T olasılık matrisleri	57
Tablo 4. 8. 5 yıllık periyot için oluşturulan çekirdek $c(n)$ matrisleri	57
Tablo 4. 9. 5 yıllık periyot için oluşturulan $W(m)$ bekleme zamanı matrisleri	58
Tablo 4. 10. 5 yıllık periyot için oluşturulan aralık geçiş olasılıkları $F(n)$ matrisleri ..	58
Tablo 4. 11. Durumlara göre bölgelerde meydana gelen deprem frekans değerleri	59
Tablo 4. 12. Bölgelere göre P olasılık geçiş matrisleri	59
Tablo 4. 13. 1.bölgede 10 yıllık periyot için oluşturulan $T(n)$ deprem sayıları	60
Tablo 4. 14. 1.bölgede 10 yıllık periyot için oluşturulan T olasılık matrisleri	60
Tablo 4. 15. 2.bölgede 10 yıllık periyot için oluşturulan $T(n)$ deprem sayıları	60
Tablo 4. 16. 2.bölgede 10 yıllık periyot için oluşturulan T olasılık matrisleri	61
Tablo 4. 17. 3.bölgede 10 yıllık periyot için oluşturulan $T(n)$ deprem sayıları	61
Tablo 4. 18. 3.bölgede 10 yıllık periyot için oluşturulan T olasılık matrisleri	62
Tablo 4. 19. 1.bölgede 10 yıllık periyot için tanımlanan olasılık C_{ij} matrisleri	62

Tablo 4. 20. 2.bölgede 10 yıllık periyot için tanımlanan olasılık C_{ij} matrisleri	63
Tablo 4. 21. 3.bölgede 10 yıllık periyot için tanımlanan olasılık C_{ij} matrisleri	63
Tablo 4. 22. 1.bölge için tanımlanan $W(m)$ matrisleri	64
Tablo 4. 23. 2.bölge için tanımlanan $W(m)$ matrisleri	64
Tablo 4. 24. 3.bölge için tanımlanan $W(m)$ matrisleri	65
Tablo 4. 25. 1.bölge için gelecek 10 yıllık periyot için elde edilen $F(n)$ olasılık matrisleri	65
Tablo 4. 26. 2.bölge için gelecek 10 yıllık periyot için elde edilen $F(n)$ olasılık matrisleri	66
Tablo 4. 27. 3.bölge için gelecek 10 yıllık periyot için elde edilen $F(n)$ olasılık matrisleri	66
Tablo 4. 28. 1. bölgede Weibull Dağılımı modeli uygulama parametreleri	67
Tablo 4. 29. 2. bölgede Weibull Dağılımı modeli uygulama parametreleri	69
Tablo 4. 30. 3. bölgede Weibull Dağılımı modeli uygulama parametreleri	73
Tablo 4. 31. Tüm bölgelere uygulanan Weibull dağılımı sonuçları	75
Tablo 4. 32. 1. bölgede Poisson dağılım modelinin uygulama aşamasında hesaplanan parametreler	76
Tablo 4. 33. 1.bölgede Poisson dağılım modeline göre gelecek 10 yıllık periyotta magnitüdüleri $5.0 \leq M_s \leq 8.0$ olan depremlerin olma olasılıkları (R), yıllık ortalama oluş sayıları (n) ve deprem tekrarlama periyotları (Q).	77
Tablo 4. 34. 2. bölgede Poisson dağılım modelinin uygulama aşamasında hesaplanan parametreler	77
Tablo 4. 35. 2.bölgede Poisson dağılım modeline göre gelecek 10 yıllık periyotta magnitüdüleri $5.0 \leq M_s \leq 8.0$ olan depremlerin olma olasılıkları (R), yıllık ortalama oluş sayıları (n) ve deprem tekrarlama periyotları (Q).	78
Tablo 4. 36. 3. bölgede Poisson dağılım modelinin uygulama aşamasında hesaplanan parametreler	79
Tablo 4. 37. 3.bölgede Poisson dağılım modeline göre gelecek 10 yıllık periyotta magnitüdüleri $5.0 \leq M_s \leq 8.0$ olan depremlerin olma olasılıkları (R), yıllık ortalama oluş sayıları (n) ve deprem tekrarlama periyotları (Q).	80

Tablo 4. 38. 1.bölgede Üstel dağılım model için frekans dağılımı (f_i) ve yüzdeler .	81
Tablo 4. 39. 1.bölgede Üstel dağılım model için deneysel (F_{MG}), kuramsal (F_{MB}) dağılım fonksiyonları, beklenen yıllık tekrarlanma sayıları (F_i) ve ortalama tekrarlanma periyotları.....	81
Tablo 4. 40. 2.bölgede Üstel dağılım model için frekans dağılımı (f_i) ve yüzdeler .	82
Tablo 4. 41. 2.bölgede Üstel dağılım model için deneysel (F_{MG}), kuramsal (F_{MB}) dağılım fonksiyonları, beklenen yıllık tekrarlanma sayıları (F_i) ve ortalama tekrarlanma periyotları.....	82
Tablo 4. 42. 3.bölgede Üstel dağılım model için frekans dağılımı (f_i) ve yüzdeler .	83
Tablo 4. 43. 3.bölgede Üstel dağılım model için deneysel (F_{MG}), kuramsal (F_{MB}) dağılım fonksiyonları, beklenen yıllık tekrarlanma sayıları (F_i) ve ortalama tekrarlanma periyotları.....	83
Tablo 5. 1. Gelecek 5 yıllık periyot için durumlara göre geçiş olasılıkları	84
Tablo 5. 2. Gelecek 5 yıllık periyot için durumlara göre geçiş olasılıkları	85
Tablo 5. 3. 1.bölgede Semi-Markov modele göre gelecek 10 yıllık deprem magnitüd geçiş olasılıkları	86
Tablo 5. 4. 2.bölgede Semi-Markov modele göre gelecek 10 yıllık deprem magnitüd geçiş olasılıkları	87
Tablo 5. 5. 3.bölgede Semi-Markov modele göre gelecek 10 yıllık deprem magnitüd geçiş olasılıkları	87
Tablo 5. 6. Bölgelere göre 10 yıllık deprem olma olasılıkları.....	91
Tablo 5. 7. 1.bölgede Poisson dağılım modeline göre gelecek 10 yıllık periyotta magnitüdüleri $5.0 \leq M_s \leq 8.0$ olan depremlerin olma olasılıkları (R), yıllık ortalama oluş sayıları (n) ve tekrarlama periyotları (Q).	92
Tablo 5. 8. 2.bölgede Poisson dağılım modeline göre gelecek 10 yıllık periyotta magnitüdüleri $5.0 \leq M_s \leq 8.0$ olan depremlerin olma olasılıkları (R), yıllık ortalama oluş sayıları (n) ve tekrarlama periyotları (Q).	93
Tablo 5. 9. 3.bölgede Poisson dağılım modeline göre gelecek 10 yıllık periyotta magnitüdüleri $5.0 \leq M_s \leq 8.0$ olan depremlerin olma olasılıkları (R), yıllık ortalama oluş sayıları (n) ve tekrarlama periyotları (Q).	93
Tablo 5. 10. 1.bölgede Üstel dağılım modeline göre ortalama tekrarlanma periyodu ve beklenen yıllık deprem tekrarlama olasılıkları	94

Tablo 5. 11. 2.bölgede Üstel dağılım modeline göre ortalama tekrarlanma periyodu ve beklenen yıllık deprem tekrarlanma olasılıkları 94

Tablo 5. 12. 3.bölgede Üstel dağılım modeline göre ortalama tekrarlanma periyodu ve beklenen yıllık deprem tekrarlanma olasılıkları 95



SEMBOLLER DİZİNİ

AF	: Almus Fay Zonu
$C_{ij}(m)$: Çekirdek matrisi
DAFZ	: Doğu Anadolu Fay Zonu
D-B	: Doğu-Batı
EFZ	: Ecemiş Fay Zonu
$F(n)$: Aralık geçiş olasılığı
$\check{F}(X_i)$: 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_{ij}	: Geçiş olasılığı matrisi
i, j	: Durumlar
KAFZ	: Kuzey Anadolu Fay Zonu
KEF	: Kırıkkale–Erbaa Fay Zonu
k_i	: Olayların meydana gelme sayısı
Km	: Kilometre
M	: Magitüd
M_s	: Yüzey Dalgası Magnitüdü
mm	: Milimetre
mm/yıl	: Milimetre/yıl
M_w	: Moment Magnitüdü
M_d	: Süre Maginütüdü
M_b	: Cisim Dalgası Magnitüdü
M_L	: Lokal Magnitüd
$n(M)$: Depremlerin yıllık ortalama oluş sayıları
OABK	: Orta Anadolu Bindirme Kuşağı
ÖDFZ	: Ölü Deniz Fay Zonu
P	: Markov modeli geçiş olasılığı

P_{00}	: 0-0 durumu geçiş olasılığı
P_{44}	: 4-4 durumu geçiş olasılığı
$P_{ij}(n)$: n zaman sonra i durumdan j durumuna geçiş olasılığı
$P^{(n)}$: n-adımlı geçiş olasılıkları matrisi
Q	: Tekrarlama periyodu
$R(M)$: Deprem riski
SLF	: Tuz Gölü Fay Zonu
S	: Durum Uzayı
s	: Matris boyutu
T	: Zaman
t_{ij}	: i durumunda j durumuna geçiş zamanı matrisi
$T(m)$: Olasılık kütle fonksiyonu
\check{T}	: Weibull dağılımının medyanı
\tilde{T}	: Weibull dağılımının modu
$W(m)$: Bekleme zamanı kütle fonksiyonu matrisleri
$> W(m)$: Tümlayıcı bekleme zamanı matrisleri
$X(t), X(n)$: Stokastik Süreç
π_0	: Markov Zinciri başlangıç durumu
$\pi(t)$: t zamanındaki durumların olasılıkları
Δ	: Boyutları aynı olan iki matrisin karşılıklı elamanlarının çarpımını
Δt	: Yıl aralığı
η	: Ölçek parametresi
β	: Şekil parametresi
γ	: Yer parametresidir
σ_T	: Weibull dağılımının standart sapması
λ_i	: Poisson dağılımın parametresi
★	: Meydana gelen depremler

1. GİRİŞ

Dünya üzerinde deprem kuşakları ve aktif fay zonları incelendiğinde Türkiye Alp-Himalaya deprem kuşağında yer almakta ve büyük depremler oluşturan Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) ve Doğu Anadolu Fay Zonu'nu (DAFZ) içermektedir. Bu zonlardan en aktif olanı KAFZ Türkiye'nin doğu ucundan batı ucuna kadar uzanmaktadır ve en önemli yerleşim alanları bu fay zonu civarına kurulmuş durumdadır. Bu bağlamda can ve mal kaybına yol açan, aktif ve yıkıcı depremler oluşturan KAFZ ile ilgili sismolojik açıdan detaylı çalışmalar, zemin parametrelerinin belirlenmesi üzerine ve zemin-bina ilişkileri bakımından birçok araştırma yapılması gerekmektedir. Yapılan bu çalışmalar ışığında uygun bina tasarımları, deprem öncesi ve sonra yapılacak afet yönetim planları oluşturulmalıdır.

KAFZ gelecekte oluşturabilecek büyük depremler için jeolojik ve jeofiziksel açıdan detaylı olarak araştırılmalıdır. Jeofiziksel olarak yapılan araştırmaların önemli bir kısmını sismoloji açısından gözlemler ve incelemelere oluşturmaktadır. Bu incelemelerin yapılabilmesi için Türkiye genelinde aktif deprem üreten faylar göz önüne alınarak depremleri kaliteli bir şekilde kayıt etmeyi sağlayacak homojen dağılımı sahip deprem gözlem istasyon ağlarının olması gerekmektedir. İstasyonlardan elde edilecek veriler işlenerek depremlerin konumları, büyüklükleri ve zamanları belirlenmelidir. Böylece meydana gelen depremlerin dağılımları incelenerek gelecekte olabilecek depremlerin konum bilgisi elde edilebilir. Oluşabilecek depremlerin zaman ve büyüklüklerinin tahmini içinse jeofiziksel açıdan yapılan istatistiksel çalışmalar kullanılmaktadır. Bu çalışmalar ışığında gelecekte oluşabilecek depremlerin olasılıkları tahmin edilmeye çalışılmaktadır. Tahminlerin sonuçlarına göre deprem tehlikesi göz önüne alınarak yaşam alanları seçilebilir, binalar beklenen depremlere göre dizayn edilebilir, deprem öncesi ve sonrası için gerekli afet senaryoları oluşturulabilir.

Depremlerin olasılık tahminleri için çeşitli kabullere göre yöntemler ve modeller kullanılmaktadır. Kullanılan bu modellerden literatürde en yaygın olanı Poisson dağılım modelidir. Model depremlerin zaman ve uzay içindeki oluşumlarının birbirinden bağımsız olduğu varsayımını kabul eder. Geniş çaplı alanlarda yapılan çalışmalarda Poisson dağılım modelinin iyi sonuç verdiği görülürken, küçük çaplı alanlarda yapılan

çalışmalarda depremlerin birbirinden bağımsız olmamasından dolayı güvenilir sonuçlar vermediği görülmüştür (Oliviera 1974). Modeli ilk olarak Cornell (1968) daha sonra Caputo (1974), Shah (1975), Bath (1978) yapmış oldukları çalışmalarda kullanmışlardır. Poisson dağılım modelinden yararlanarak Schilen ve Toksöz (1970) depremleri zamansal olarak gruplandırarak kümeleme analizi yapmışlardır. Ayrıca depremlerin büyüklük dağılımlarından yola çıkarak Gutenberg-Richter bağıntıları yardımıyla tahminler yapılmaya çalışılmaktadır (Gutenberg ve Richter, 1944). Farklı bir tahmin yöntemi ise; Rikitake (1975) tarafından deprem tahmini için Weibull dağılım modelinin uygulanmasıyla yapılmıştır. Modellerin uygulanması sırasında kullanılan kabullere göre modellerin eksik yanları oluşmaktadır. Buda deprem tahmininde farklı yöntemlerin araştırılmasına sebep olmuştur. Birçok alanda tahmin için uygulanan Markov modeli depremler içinde uygulanmıştır. Bu modeli Hagiwara (1975), şekil değiştirme enerjisinin açığa çıkma mekanizmasında; Kiremidjian ve Anagnos (1980) ile Grivas ve diğ. (1980) deprem oluşumlarıyla ilişkilendirerek kullanmıştır. Model içeriğinde olayların kendinden önce gelen olaylara bağlı olmasından dolayı, aynı yapısal süreksizliklerin olduğu bölgelere uygulanması daha başarılı sonuçların elde edilmesini sağlamıştır. Modelin eksik yanı ise olayların zaman boyutunda bağımlı olmasıdır. Bu bağlamda zaman boyutundaki her bir birim zamanda olayın gerçekleşmesi anlamına gelmektedir. Deprem olayının zamansal boyutta seçilen her birim zamanda olması beklenemez. Bundan dolayı deprem tahminlerinde Semi- Markov modelinin uygulanması daha geçerli sonuçlar elde edilmesini sağlamaktadır. Türkiye için Altınok (1988) KAFZ için Semi-Markov modeli uygulamış, farklı aralıktaki magnitüd değerleri için deprem tahminleri yapmıştır. Ayrıca bölgesel olarak Batı Anadolu bölgesine modeli uygulayarak deprem risk tahminleri yapmıştır (Altınok, 1991). İlerleyen yıllarda Bağcı (1996) aynı bölgeye Markov modeli deprem olma ve olmama durumuna göre uygulamıştır. Pınar ve diğ. (1999) Ege bölgesi için magnitüdü $M > 5.0$ olan depremleri inceleyerek, Ulutaş ve Özer (2000) Çukurova bölgesi için deprem olma olasılıklarını Markov modele göre değerlendirmişlerdir. Ünal(2010) 1901-2006 yıllar arasında meydana gelen $M > 4.0$ olan deprem verilerine modeli uygulamış, Özel ve Solmaz (2012) deprem tekrarlama zamanlarının tahmini için 1903-2011 yılları arasında meydana gelmiş deprem verilerinden yararlanarak Markov modelini uygulamışlardır. Gelecekte meydana gelebilecek depremlerin tahminleri için Üstel dağılım modeli de kullanılan diğer önemli istatistiksel yöntemlerdendir.

Bu tez kapsamında Türkiye'nin deprem riski yüksek fay zonlarına sahip olması ve bu fay zonlarına yakın noktalarda şehirleşmenin ve sanayileşmenin yoğun olması nedeniyle büyük bir deprem olması durumunda can ve mal kaybı çok olacağından, deprem olma olasılığının farklı istatistiksel model ve yöntemlerle araştırılıp, elde edilen sonuçların karşılaştırarak detaylı bir deprem tahmini çalışması yapılması amaçlanmıştır. Bu bağlamda inceleme alanı olarak deprem episantr dağılımları, fay yapısı ve jeomorfolojik özellikler göz önüne alınarak Türkiye 3 bölgeye ayrılmıştır. Bu bölgelerde 1900-2015 yılları arasında meydana gelen büyüklüğü $M_s \geq 4.0$ olan deprem verilerine Poisson dağılım modeli ve Üstel dağılım yöntemi, büyüklüğü $M_s \geq 5.0$ olan deprem verilerine Markov ve Weibull dağılım modelileri uygulanarak seçilen bu bölgelerde meydana gelebilecek 5 ve 10 yıllık periyotlardaki ($M_s \geq 5.0$) depremlerin olasılık tahminleri hesaplanmıştır.

Tezin genel içeriğine bakıldığında bu bölümden sonra 'İnceleme Alanı Tektoniği ve Depremselliği' kısmında inceleme alanları hakkında genel bilgiler, jeolojik özellikler, sismotektonik ve depremsellik bakımında detaylı bilgiler verilmiştir. Bu bölümden sonraki 'Yöntem' başlığında uygulanan istatistiksel yöntemlerin detaylı bir şekilde açıklaması yer almaktadır. Bu açıklamalar doğrultusunda ilerleyen 'Yapılan Çalışmalar' bölümünde tez kapsamında belirlenen inceleme alanlarına istatistiksel yöntemlerin nasıl uygulandığı, uygulama aşamalarında yapılan hesaplamalar ve bu hesaplamalar sonucu elde edilen değerler verilmiştir. Son kısımda 'Sonuçlar ve Tartışmalar' başlıklı bölümde uygulamalar neticesinde elde edilen sonuçların grafikleri, birbirileriyle karşılaştırma sonucunda elde edilen grafiksel sonuçlar ve elde edilen değerlendirmeler ışığında yorumlar yer almaktadır.

2. İNCELEME ALANI TEKTONİĞİ VE DEPREMSELLİĞİ

Deprem kestirim çalışmaları için yapılacak bölge seçiminde depremsellik, meydana gelen depremlerin episantr dağılımı ve jeomorfolojik özellikler gibi şartlar göz önüne alınmaktadır. Türkiye dünya üzerindeki önemli deprem kuşaklarından birisi olan Alp-Himalaya deprem kuşağının en aktif bölgesinde yer almaktadır. Bu bağlamda Türkiye'nin doğusundan batısına geçen ve en aktif fay zonu olan Kuzey Anadolu Fay Zonu'nu (KAFZ) içerecek şekilde inceleme alanı 3 bölge olarak seçilmiştir. Bu bölgelerden 2 tanesi KAFZ'ni içermektedir. Bundan dolayı öncelikle KAFZ'nun genel özelliklerinden, tektoniğinden ve depremselliğinden bahsedilecektir. Daha sonra 3. bölge olan Van gölünü içerecek şekilde seçilen alan hakkında bilgi verilecektir. İlerleyen bölümlerde inceleme alanı daha detaylı olarak açıklanacaktır.

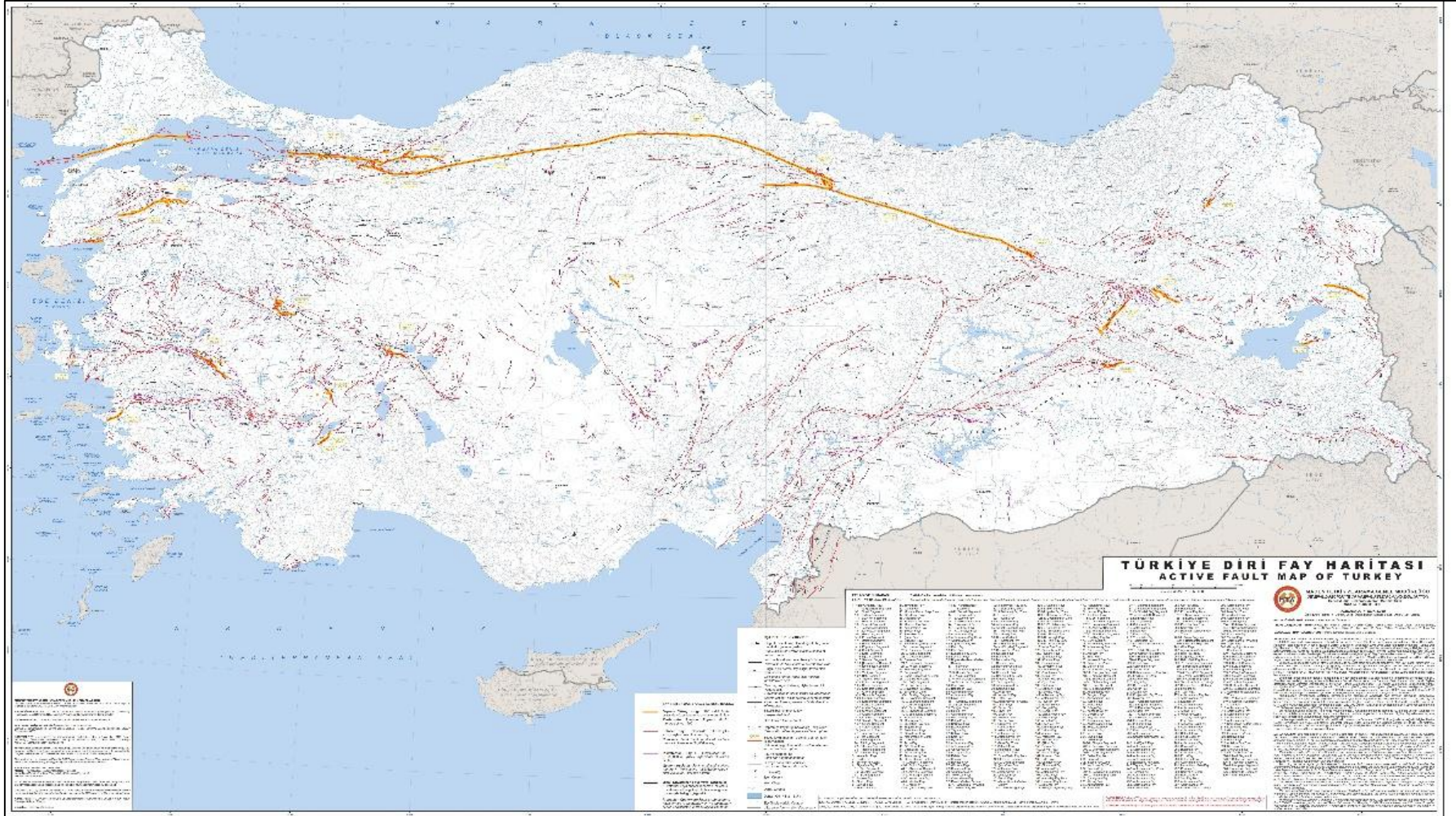
2.1. Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun (KAFZ) Genel Özellikleri

Kuzey Anadolu'da bir kırık hattının varlığı 1928 yılından beri bilinmektedir, Nowacks (1928), "Paphloganische Narbe"; Salomon-Calvi (1936, 1940), "Forsetzung der Tonale Linie" ve Pamir (1948) tarafından "Cicatrice Nord Anatolienne" diye adlandırılması bunu kanıtlar niteliktedir. Aynı araştırmacılar yaptıkları çalışmalar sonucunda KAFZ'ni orojenik bir yapı olarak, Anadolu'yu ise Alpin orojeninin bir tepesi olarak tanımlamışlardır. Salomon-Calvi (1936, 1940) ise, Wegener'in kıtaların kayması teorisine dayanarak Gondvana kıtasının ve Avrasya kıtasının çarpışması sonucu oluşan suture zonu olarak tanımlamışlardır.

Ketin (1948), 1939-1948 yıllarında oluşan depremlerin incelenmesi sonuçlarına dayanarak, meydana gelen depremlerin Türkiye'nin kuzeyinde Karadeniz dağları boyunca uzanan sağ yönlü bir doğrultu atımlı fay boyunca oluştuklarını ve bu yapının bölgenin orojenik yapısıyla ilişkisinin olmadığı sonucunu açıklamıştır. Yapının genç bir oluşum olduğunu belirtmiş ve bu fayın güney bloğunu oluşturan Orta ve Batı Anadolu'nun, kuzey bloğunu oluşturan Karadeniz'e göre batıya doğru hareket ettiğini ortaya koymuştur. Bu teorisini tamamlayan sol yönlü doğrultu atımlı bir fay sisteminin de olması gerektiğini de açıklamıştır. Ketin (1957) fayı Kuzey Anadolu Deprem Fayı

olarak adlandırmıştır. Ketin ve Roesli (1953) fayı Kaliforniya'daki San Andreas Fayı ile karşılaştırmışlardır. İlerleyen yıllarda bu fay hattı boyunca hareketin sağ yanal olarak meydana geldiği tekrar ifade edilmiştir (Barka, 1992; Şengör ve diğ., 2004).

KAFZ yaklaşık olarak 1200 km uzunluğunda, Doğu Anadolu'dan Yunanistan'a kadar uzanan geniş bir yay şekline sahip sağ yönlü doğrultu atımlı aktif bir fay özelliği göstermektedir. Bu fay zonunun genişliği 100 m ile 8-10 km arasında değişen birçok paralel parçadan oluşan bir fay zonu şeklindedir. Ayrıca bu fay kuzeydeki Avrasya ve güneydeki Anadolu levhası arasındaki sınırın bir bölümünü oluşturan transform fay özelliğindedir. Ketin (1969)'e göre KAFZ detaylı bir şekilde şöyle tanımlanmıştır; batıda, Biga yarımadasında Yenice batısında Saroz körfezinden başlayarak Gönen'in yakın doğusuna kadar uzanmakta, Manyas gölü güney kıyısını takip ederek, Mustafakemalpaşa istikametinde ilerlemektedir. Buradan Mudurnu vadisinde Dokurcun yakınlarına kadar bir ara verdikten sonra, bu vadiyi yukarı doğru takip etmekte, Abant gölü kuzey kenarından, Abantayağı deresinden, Bolu'nun 5 km güneyinden, Yeniçağ ve Gerede içerisinden, İsmetpaşa istasyonundan geçerek Soğanlı vadisinde ilerlemekte, Boyalı güneyinden Bayramören'den Ilgaz ve Tosya kuzeyinden, Ilgaz masifi içerisinden geçerek Kargı istikametinde uzanmaktadır. Kargı'dan sonra fay hattı Avlağı'ndan geçmekte, oradan Soruk vadisini takip ederek Vezirköprü güneyinden, Havza'nın yakın kuzeyinden geçerek Samsun-Amasya demiryolunu kesmekte ve oradan Ladik ovasının kuzey kenarı boyunca ilerleyerek Destek boğazına girmekte, Destek bucağından, Taşova ve Erbaa kuzeyinden devam ederek Niksar'a kadar uzanmaktadır. Niksar'ın 12 km güneyinde Kelkit vadisine girmekte ve batıya doğru Ezinepazar'a kadar devam etmektedir. Doğu istikametinde ise, Kelkit çayına paralel olarak Reşadiye içerisinden, Koyulhisar'ın güneyinden, Suşehri ve Refahiye'nin kuzeyinden geçerek Erzincan ovasına ulaşmaktadır. Burada ovanın kuzey kenarını takip ederek Sansa boğazına varmakta, Fırat nehrini keserek Elmalı deresi vadisine girmekte ve vadi boyunca ilerleyerek Karlıova'nın yakın kuzeyine kadar uzanmaktadır (Şekil 2.1).



Şekil 2. 1. Türkiye diri fay haritası (Şaroğlu ve diğ., 2013).

Ketin (1948), KAFZ'nun genç bir yapı olduğunu belirtmiş fakat özel bir oluşum yaş tahmininde bulunmamıştır. Pavoni (1960), fayın Erken Tersiyer yaşlı olabileceğini belirtmiştir. Ketin (1976), fay boyunca oluşan havzalarda Orta Miyosen'den daha yaşlı kayaların depolanmadığını, bu nedenle fayın morfolojik olarak bu zamandan önce oluşmadığını belirtmiştir. KAFZ'nun yaşıyla ilgili olarak yapılan çalışmalar sonucunda literatürde yer alan ortak görüş, Geç Miyosen-Erken Pliyosen yaş aralığına sahip olduğudur (Barka, 1992). Ancak, KAFZ boyunca sağ yanal hareketin nedenini açıklamak ve kesin yaş tahmini yapmak için bu konuda birkaç temel görüş ele alınmaktadır (Bozkurt, 2001):

1-Fayın sağ yönlü hareket Orta Miyosen'den itibaren başlamış olacağı ve bu hareketin Avrasya-Arabistan levhasının çarpışması sonucunda oluşacağı düşünülmektedir.

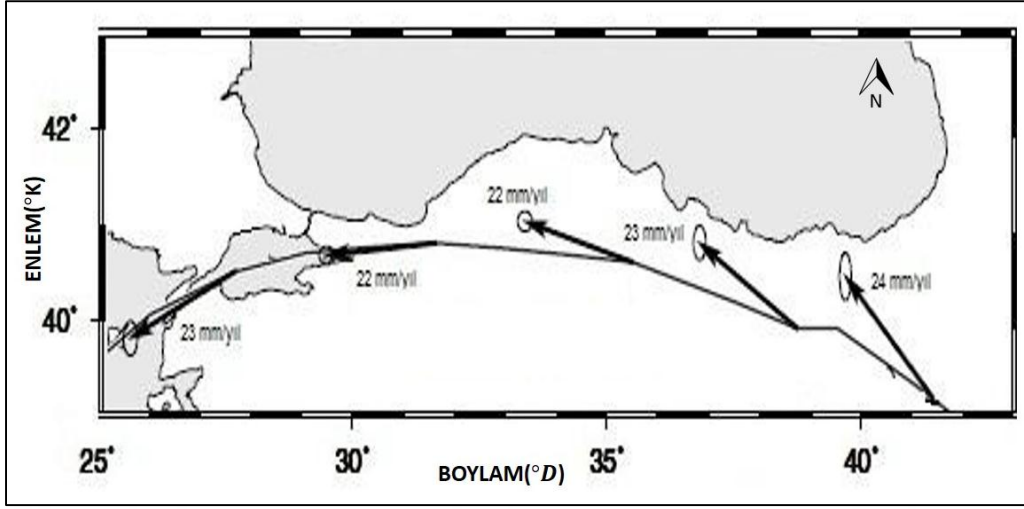
2-KAFZ en geç Miyosen'de veya erken Miyosen'den önce oluşmuş olacağı ifade edilmektedir.

3-KAFZ, Doğu Anadolu'da Geç Miyosen'de harekete başlamış, batıya doğru hareket ederek Marmara denizine Pliyosen'de varmış olacağı belirtilmektedir.

4-Son zamanlarda yapılan çalışmalara göre fayın doğuda 16 my'dan daha yaşlı fakat batıda 3 my'dan daha genç olabileceği ortaya konulmuştur.

Jeolojik çalışmalar sonucunda fayın doğu bölgesinde 85 ± 5 km, batı bölgesinde 20 ± 5 km arasında değişen bir atım belirtilmiştir. Ayrıca fayın yıllık hareket hızı yılda 5-10 mm Barka (1992), 17 ± 2 mm olarak bulmuşlardır (Westaway, 1994). Levha hareketlerinden, sismik olaylardan ve depremlerden elde edilen bilgiler sonucunda yılda 30-40 mm olarak hesaplanmıştır (Taymaz ve diğ., 1991).

Son yıllarda gelişen GPS konumlama sistemlerinden elde edilen verilerden yılda 20-25 mm hareket hızının olduğu görülmüştür (Reilinger ve diğ., 1997; Oral ve diğ., 1995; Ayhan ve diğ., 1995; McClusky ve diğ., 2000) (Şekil 2.2). Daha sonra Tatar ve diğ., (2012), KAFZ üzerinde 2006 ve 2008 yılları arasında toplamış oldukları GPS ölçüm verilerinin değerlendirilmesi sonucunda KAFZ'un yaklaşık 400 km boyunca batıya doğru artan bir kayma hızıyla hareket ettiğini ve bu hızın yılda 16.3 ± 2.3 mm/yıl dan 24 ± 2.9 mm/yıl doğru artan bir şekilde geliştiğini belirtmişlerdir. Ayrıca ortalama kayma hızının 20.1 ± 2.4 mm/yıl ve KAFZ'nunda kilitleme derinliğinin 12.5 ± 3.5 km olduğunu hesaplamışlardır.



Şekil 2. 2. Kuzey Anadolu Fayı Zonu (KAFZ) GPS hızları vektörleri (McClusky ve Reilinger (2003)'den değiştirilerek alınmıştır.)

2.2. Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun (KAFZ) Tektoniği ve Depremselliği

Türkiye neotektonik dönemde 5 ana yapı şeklinde biçimlenmiş ve bu ana yapıların belirlediği üç ana neotektonik bölgeyi içermektedir (Şekil 2.3) (Şengör, 1980).

Neotektonik dönemde şekillenen 5 ana yapı;

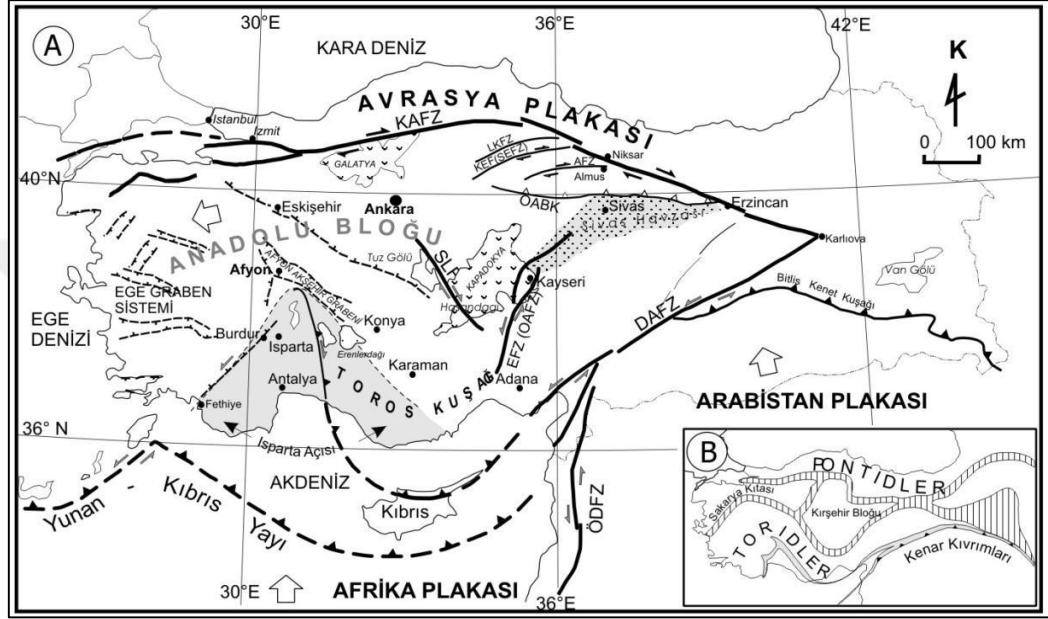
1. Ege Kıbrıs yayı
2. Sağ yönlü Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ)
3. Sol yönlü Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ)
4. Bitlis Zagros Kenet Kuşağı
5. Ölü Deniz Fayı'dır.

Bu yapıların şekillendirdikleri üç ana tektonik bölge şöyle sıralanır;

1. Karlıova bölgesinin doğusunda KAFZ ve DAFZ'nun kesiştiği ve Bitlis Zağros kenet kuşağının kuzeyinde kalan bölge Doğu Anadolu sıkışma ana tektonik bölgesi olarak tanımlanmaktadır. Bu bölge kuzey-güney yönlü sıkışma tektoniği altında deforme olmaktadır.

2. Isparta üçgeninden kuzey-güney yönlü bir hattın batısında kalan bölge Batı Anadolu genişleme ana tektonik bölgesi olarak belirtilmektedir. Bu alan kuzey-güney yönlü gerilme etkisi altındadır.

3. Bu iki bölge arasında kalan alan Orta Anadolu Ovalar ana tektonik bölgesi olarak adlandırılmaktadır. Bu bölge kuzeyde KAFZ, güneydoğuda DAFZ ile sınırlı ve Karlıova eklemının batısında kalan bölgedir. Bölge oblik faylarla sınırlı gerilme kökenli havzalardan meydana gelmektedir. Ayrıca bölge Ege graben sisteminin doğuya doğru gittikçe zayıflayan bir devamı olarak ifade edilir.



Şekil 2. 3. a) Türkiye'yi çevreleyen levhalar ve ana tektonik çizgisellikler ve b) tektonik birlikler. KAFZ, Kuzey Anadolu Fay Zonu; DAFZ, Doğu Anadolu Fay Zonu; SLF, Tuz Gölü Fay Zonu; KEF, Kırıkkale-Erbaa Fay Zonu; AF, Almus Fay Zonu; EFZ, Ecişehir Fay Zonu; OABK, Orta Anadolu Bindirme Kuşağı; ÖDFZ, Ölü Deniz Fay Zonu (Tatar ve diğ., 2003).

Morfolojik olarak KAFZ Karlıova'dan Tokat'a kadar uzanan bölgede net bir şekilde gözlenmektedir. Fakat Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ) ile birleştiği bölgede yaklaşık olarak Karlıova'nın 10 km doğusundan itibaren blok fayla ve bindirmeli bir kuşak boyunca gözlenmemektedir. Bu bölgede oluşan depremler doğrultu atımlı fay özelliğinden ziyade önemli bindirme bileşenleri kapsamaktadır (Mc Kenzie, 1972). Karlıova'dan Erzincan'a kadar fay zonu süreklilik göstermektedir. Erzincan yakınlarına gelindiğinde fay 10 km kuzeye yönüne doğru bir sıçrama yapmıştır. Bu iki fay kolu bu bölgede bir çek-ayır havzası özelliğine sahip Erzincan ovası oluşturarak, birbirlerine bağlanmıştır. Bu bölgenin devamında Erzincan'dan Reşadiye'ye kadar fay zonu tekrar

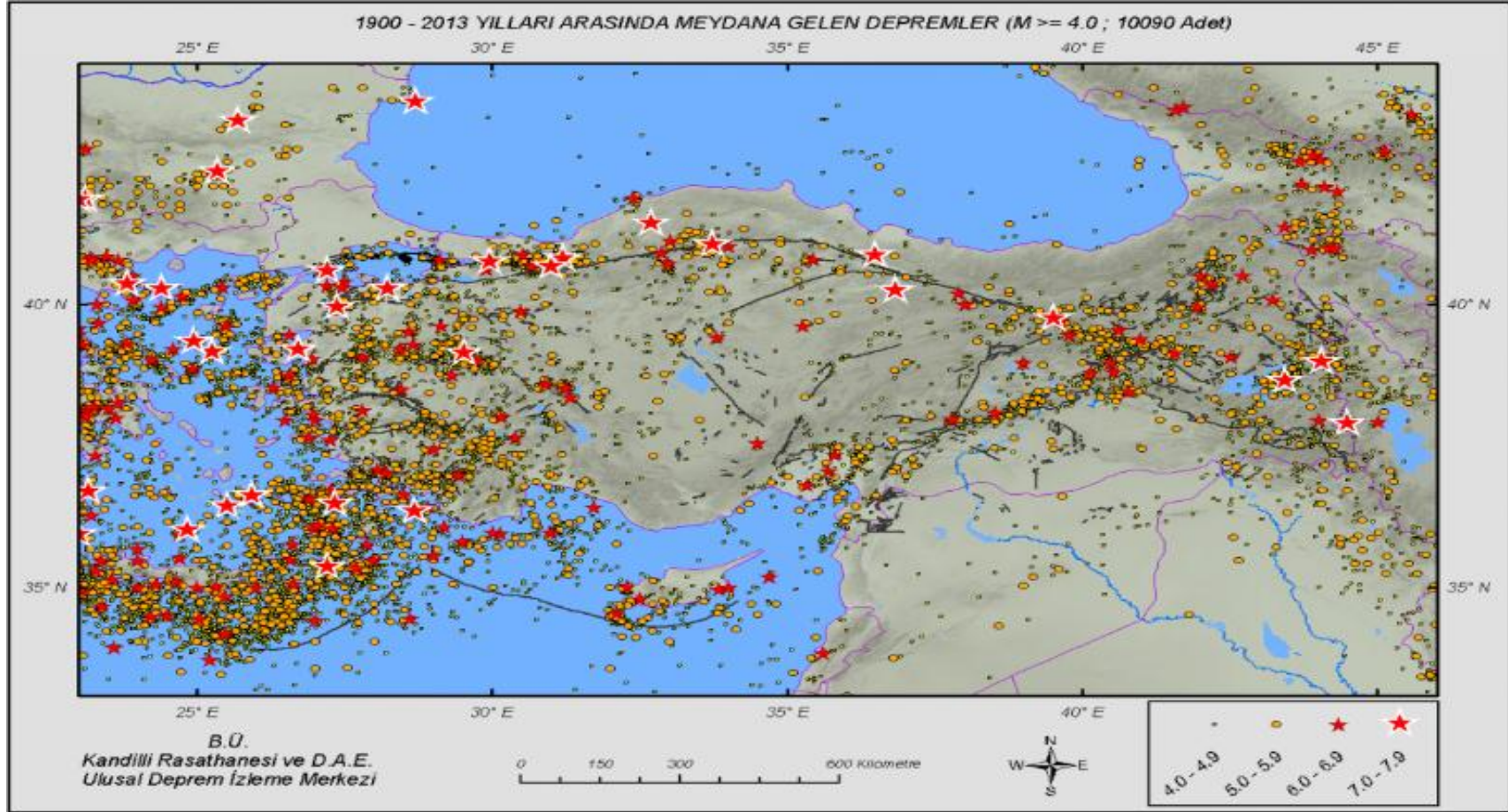
süreklilik izlemektedir. Fay zonunun bu segmentin karakteristik özellikleri ise, deformasyona uğramış akarsu vadilerinden, çökme göllerden, travertenler ile ilişkili kaynaklardan ve fay dikliklerinden oluşmasıdır. Niksar havzası, Taşova-Erbaa havzası, Erzincan havzası çek-ayır havza özelliği göstermektedir. Fay zonu devam eden bölgede, Reşadiye ve Erbaa arasında sürekliliğini tekrar kaybetmiştir.

Erzincan bölgesinden gelen kol Amasya güneyinde D-B yönüne doğru dönmektedir. Ayrıca fay zonu Reşadiye'nin kuzeyinde yeni bir kol oluşturmaktadır. Fay bu bölgede güney ve kuzey kollar arasında kalan üçüncü bir kol daha oluşturmaktadır. Amasya'dan Eskipazar doğusuna kadar olan alanda fay zonunun sürekliliği tekrar gözlenmektedir. Eskipazar'dan batıya doğru fay çatallanır (Ketin ve Roesli, 1953). Bu çatallanma fay zonunun daha batıda, kuzey ve güney kollara bölünmesine neden olmaktadır.

KAFZ Mudurnu'nun batısından sonra iki ana kola ayrılmaktadır. Fayın kuzey kolu, İzmit-Sapanca gölü grabeni içine girer ve Ganos dağı güneyinde Marmara denizini batı kıyısında kaybolur. Ganos dağı-Saros arasında kuzeydeki kol sürekli bir doğrultu atımlı fay şeklinde gözlenmektedir. Fay Batı Anadolu'da Mudurnu batısında graben ve horst morfolojisi göstermektedir. KAFZ, Dokurcun civarında iki kola ayrılmaktadır. Kuzeydeki kol Marmara denizinden geçmektedir ve aynı zaman KAFZ'nun en aktif bölümünü oluşturmaktadır. 17 Ağustos 1999 depremi bu kol üzerinde meydana gelmiştir. Canitez'in (1962) sismik ve gravite çalışmaları fay zonunun altındaki kabuğun normalden daha ince olduğunu göstermiştir. Fay zonundaki kayaçlar oldukça ezilmiş ve kırıklar oluşmuştur. Bu kayaçların kolay erozyona uğraması sonucunda fay boyunca bir rift morfolojisi meydana gelmektedir. Bu rift morfolojisi Karlıova'dan Mudurnu'ya kadar olan bölgeyi içermektedir. Sadece Erzincan ve Reşadiye civarında görülmemektedir. Fayın güney kolu ise Marmara Denizi'nin güney sınırını oluşturmaktadır. Daha sonra fay güneybatı doğrultusunda bükülerek ve Ege denizi içinde güneybatı yönünde devam etmektedir. Marmara denizi içinde ise, deniz tabanından birkaç yüz metre yüksekliğe erişen sırtlarla birbirinden ayrılmış Çınarcık Merkezi, Tekirdağ havzası gibi KD yönelimli, asimetric doğrultu atımlı derin deniz fay havzalarından oluşmuştur. Ayrıca Marmara denizini hem kuzeyden hem güneyden sınırlayan oldukça dik yamaçlardan oluşan iki batimetrik yapı bulunmuştur. Bu dik yamaçlar kuzey ve güney sınır fayları olarak tanımlanmıştır. Bu sınır faylardan kuzeyde olan kısım Marmara denizine İzmit

Körfezi ekseninden girer ve batıda Trakya'da yüzeye çıkarak Ganos Fayını oluşturmaktadır. Fay daha sonra Gelibolu yarım adasının kenarını sınırlayarak Ege denizine doğru uzanmaktadır. Ege denizi içinde fayın daha batı yönünde uzanmasını Ege çukurluğu sınırlamıştır. Güney sınır fayı ise, D-B yönünde uzanır ve İzmit körfezinin güney kenarını sınırlar (Gölcük-Yalova bölümü). KAFZ'nun kara üzerindeki çoğu bölümü ayrıntılı olarak tanımlanmıştır, ancak Marmara Denizi altındaki kısımları ile ilgili çalışmalar devam etmekte ve tanımlanmaya çalışılmaktadır.

KAFZ depremsellik yönünden oldukça aktif bir özellik göstermektedir. Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsünün hazırlamış olduğu 1900-2013 yılları arasındaki $M \geq 4.0$ olan depremleri içeren Türkiye geneli depremsellik haritasında KAFZ üzerinde oldukça fazla sayıda depremin kümелendiği açıkça görülmektedir (Şekil 2.4).



Şekil 2. 4. 1900-2013 yılları arasındaki $M \geq 4.0$ olan depremleri içeren Türkiye geneli depremsellik haritası (URL-1).

KAFZ üzerinde can ve mal kaybına yol açan magnitüd değeri $M \geq 7.0$ olan pek çok deprem meydana gelmiştir. Bu büyük depremler doğudan batıya doğru incelenirse;

26.12.1939'da 23:57:21'da $M=7.9$ Erzincan depremi meydana gelen en büyük deprem olarak bilinmektedir. Erzincan depremi 350 km'lik yüzey kırığı oluşturmuştur.

20.12.1942'de 14:03:07'de $M=7.0$ Tokat/Erbaa depremi,

24.01.1916'da 06:55:15'te $M=7.1$ Niksar yakınlarında meydana gelen deprem,

26.11.1943'te 22:20:41'da meydana gelen $M=7.4$ büyüklüğündeki Samsun/ Ladik depremi,

01.02.1944'te 03:22:40'da meydana gelen $M=7,2$ olan Karabük/Safranbolu depremi,

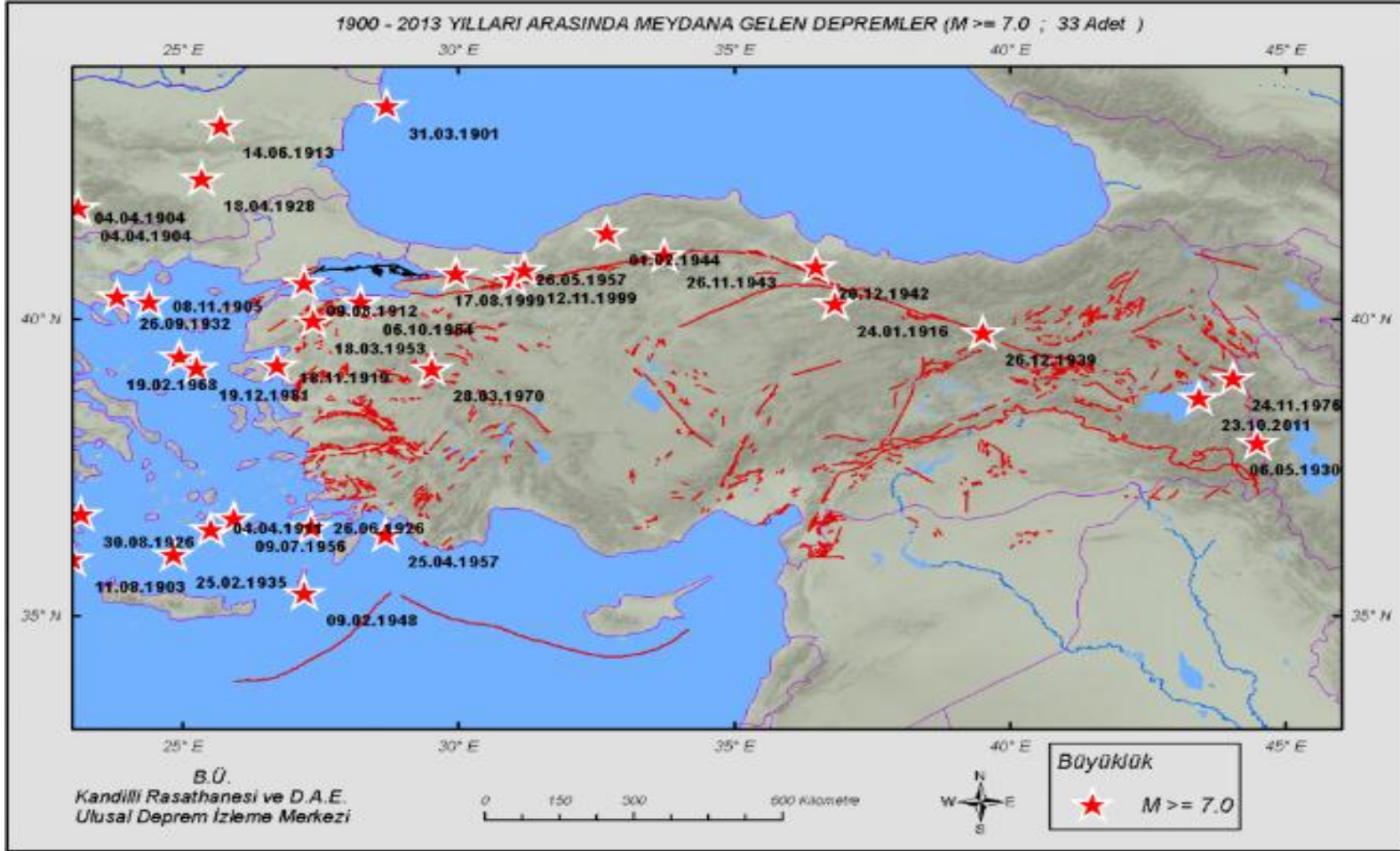
26.05.1957'de 06:33:35'de meydana gelen $M=7,1$ olan Düzce/Gölyaka depremi,

12.11.1999'da 18:57:00'da meydana gelen Düzce/Kaynaşlı depremi,

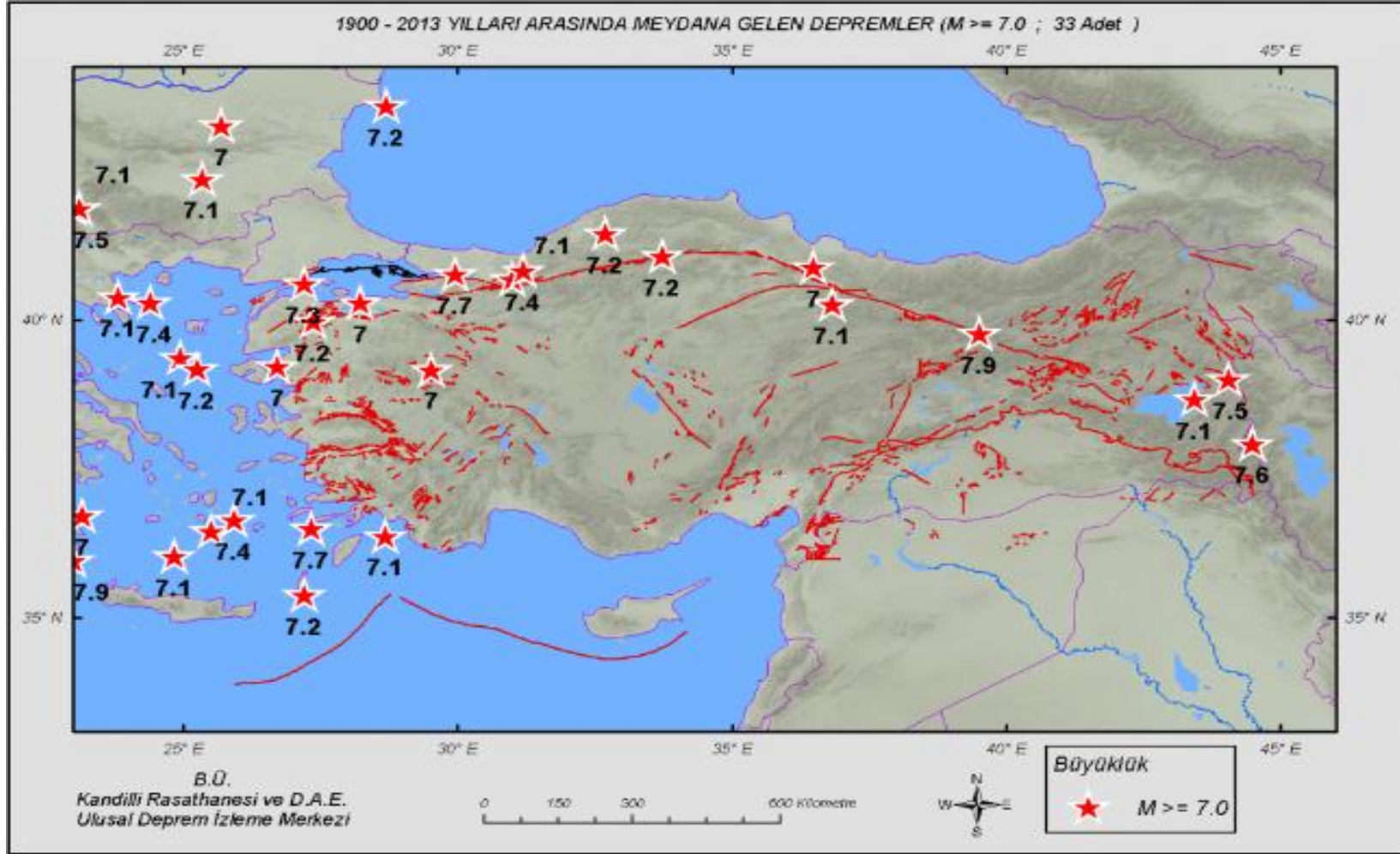
17.08.1999 03:02:00 $M=7.4$ Gölcük (Kocaeli) depremi,

09.08.1912'de 01:29:00.00 meydana gelen $M=7.3$ Tekirdağ Şarköy açıkları meydana gelen deprem,

KAFZ üzerinde meydana gelen başlıca büyük depremlerdir. Bu depremlerin büyüklükleri, zamanları ve konumlar Şekil 2.5 ve Şekil 2.6'da detaylı olarak verilmiştir.

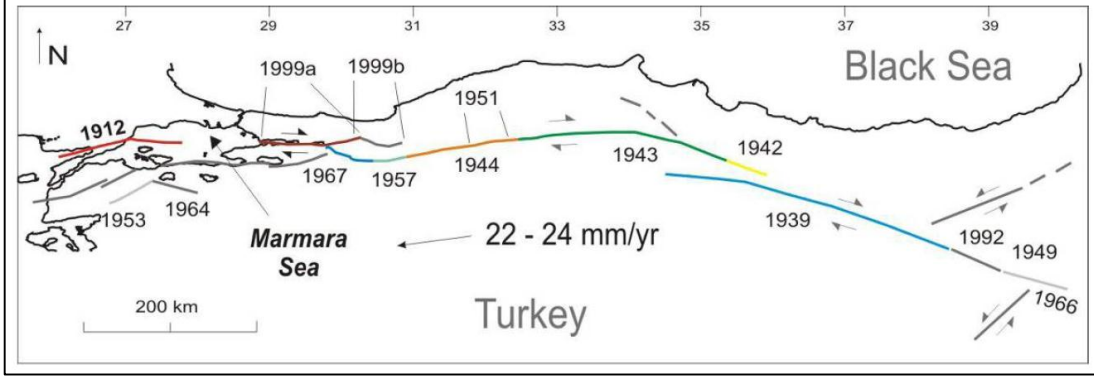


Şekil 2. 5. 1900-2013 yılları arasındaki Türkiye genelinde meydana gelen $M \geq 7.0$ depremlerin zamanları haritası (URL-1)



Şekil 2. 6. 1900-2013 yılları arasındaki Türkiye genelinde meydana gelen $M \geq 7.0$ depremlerin haritası (URL-1).

Meydana gelen bu $M \geq 7.0$ depremler sonucu oluşan tahmini ve jeolojik gözlemlere dayanan yüzey kırıkları haritası Şekil 2.7’de gösterilmiştir.

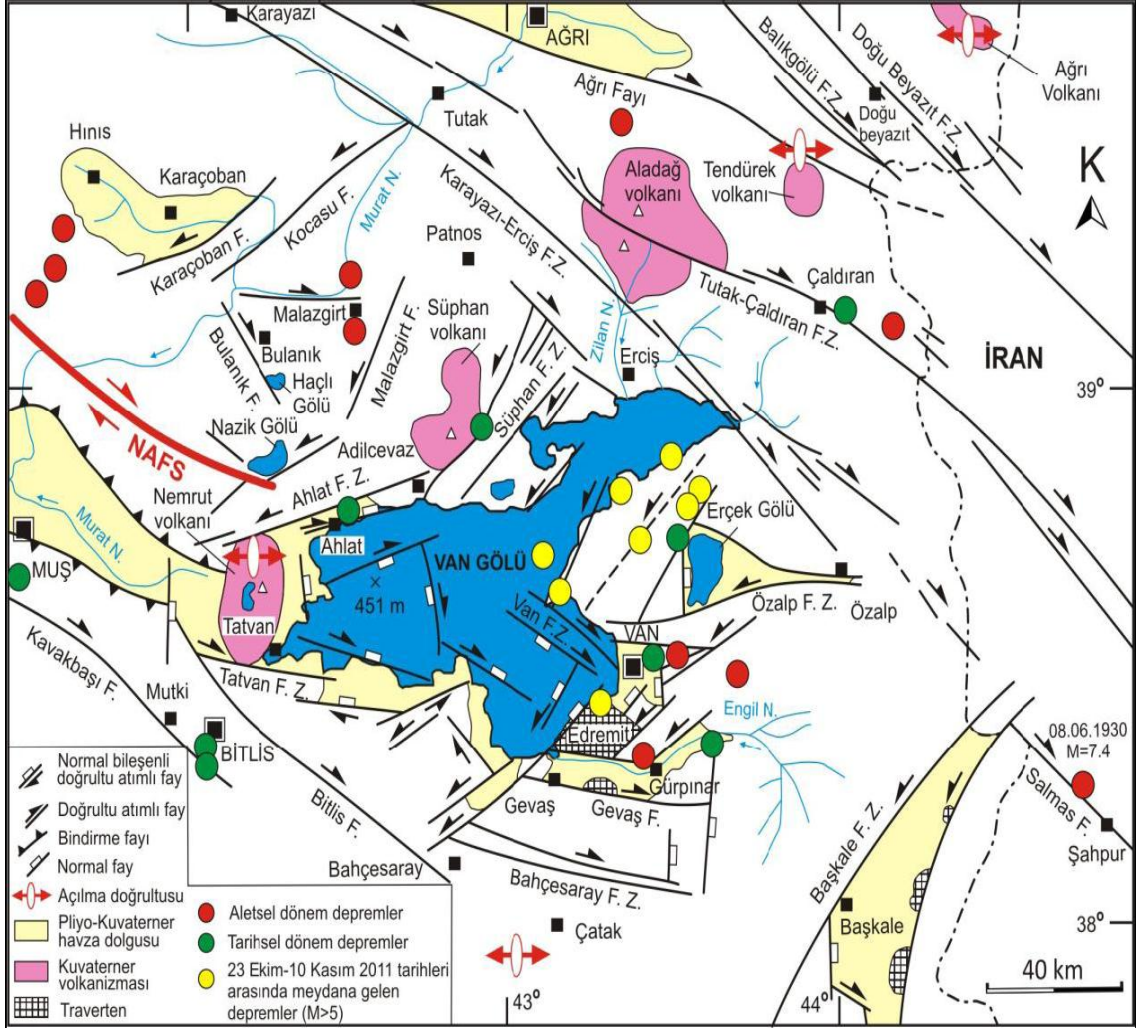


Şekil 2. 7. 1900-1999 yılları arasındaki KAFZ’da meydana gelen $M \geq 7.0$ depremlerin yüzey kırıkları haritası (Aksoy,2009).

2.3. Van Gölü Çevresi Tektoniği ve Depremselliği

Doğu–Güneydoğu Anadolu tektonik kuvvetlerin etkisi altında kalarak Van Gölü havzası oluşmuştur. Permo–Triyas döneminde Anadolu Levhası ile Arap levhası arasında yer alan okyanus, kalın karbonat serilerinin çökmesini sağlamıştır. Ancak, Paleo–Tetis’in Orta Jura’da kapanması ve levha yaklaşmalarının devam etmesi nedeniyle Doğu Pontidler’in doğu kesiminde ve Kafkasya’da kabuk kalınlaşması ve Tibet tipi volkanizma başlamıştır. Bu sırada Doğu Pontidler’de Üst Jura–Alt Kretase boyunca karbonat şelf tortuları birikmiş, kara yükselmesi hızlanmış ve resifler arasında çökeller oluşmuştur (Işık ve Çiftçi, 2002).

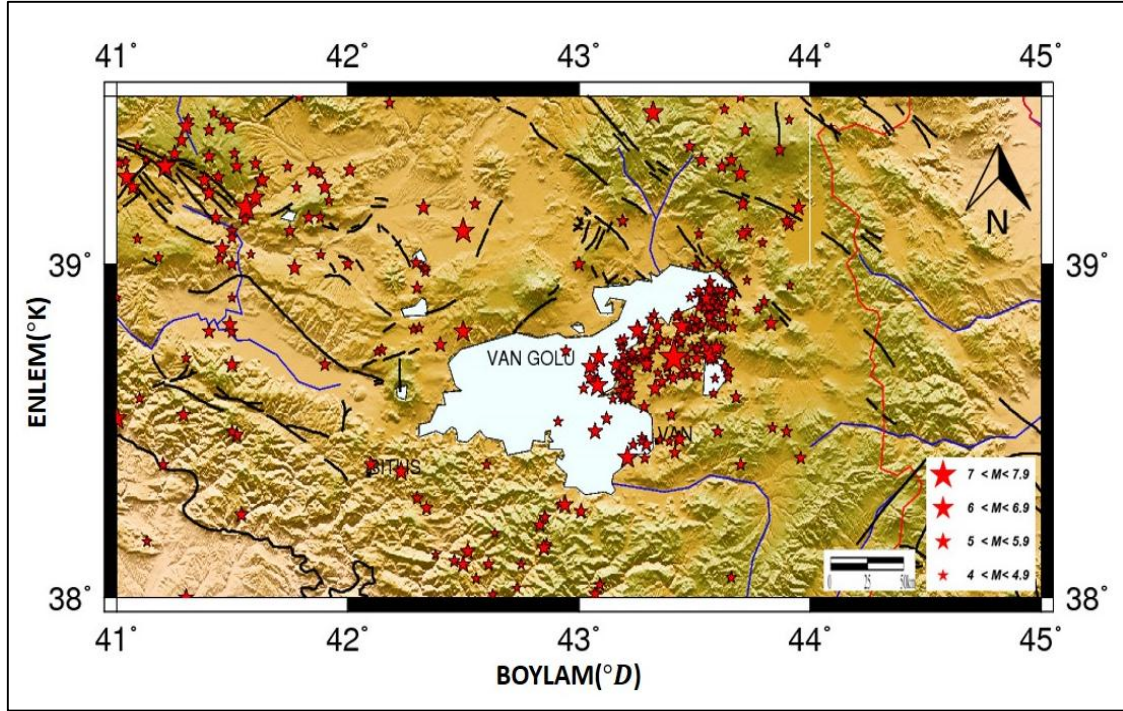
Alt–Orta Miyosen’de Bitlis Sutür Zonu boyunca Arap levhası ile Avrasya levhası çarpışması başlamıştır. KAFZ, Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ) ve Anadolu levhasının oluşumu da bu zaman aralığında gerçekleşmiştir. Üst Kretase’de bölgede tektonik sıkışma rejimi Pliyosen boyunca hakim olmuş ve günümüzde de devam etmektedir. Bu tektonik hareket sonucunda Türkiye–İran yüksek platosu sıkışarak kalınlaşmış ve aynı zamanda plato üzerinde Tibet tipi yaygın bir volkanizma faaliyete geçmiştir. Ayrıca Arabistan Platformu üzerinde kıvrımlı–bindirmeli, kenar kıvrımları meydana gelmiştir (Şengör ve Yılmaz, 1983).



Şekil 2. 8. Van Gölü ve çevresinin Sismotektonik haritası (Koçyiğit ve diğ., 2001).

Van Gölünün oluşması Türkiye'nin genç tektonik evrimi sırasında meydana gelmiştir. K-G yönlü sıkışmalar etkisiyle D-B uzanımlı kıvrımlar ve bindirmeler, K-G doğrultulu normal faylar veya açılma çatlakları, KD-GB doğrultulu sol yönlü doğrultu atımlı faylar ve KB-GD doğrultulu sağ yönlü doğrultu atımlı faylar gelişmiştir (Işık ve Çiftçi, 2002).

Bölgede 24.11.1976 'da 12:22:16'da büyüklüğü M=7.5 (Mw) olan Yenyaka-Çaldıran (Van) civarlarında meydana gelen deprem ile 23.10.2011'de 10:41:21'de büyüklüğü M=7.2 (Mw) Yemlice (Van) civarında meydana gelen depremler can ve mal kaybına yol açmış bölgenin en büyük depremleri olarak bilinmektedir.



Şekil 2. 9. Van Gölü ve çevresinde 1900-2015 yılları arasında meydana gelen $M \geq 4.0$ depremlerin episantr dağılımları.

3.YÖNTEM

3.1. Stokastik Süreçler

Zaman içerisinde önceden kestirilemeyecek şekilde gelişen süreçlere stokastik süreçler denir. Stokastik süreçler, rasgele sonuçlar doğuran olaylar serisidir. Stokastik süreçler olayların zamana göre değerlendirilebileceği süreçler olarak bilinirler. Bir stokastik süreç, zaman boyunca devam eden ve olasılığın kurallarına uyan bir olasılık sürecidir (Doob, 1953). Stokastik süreç teoremi fiziksel olayların zaman içerisinde değişen rassal olaylar olarak tanımlanması ile başlamıştır (Medhi, 2003).

T kümesinin bir parametresi olarak t varsayılırsa, X_t her $t \in T$ için rassal veya stokastik değişkeni ifade eder. $\{X(t), t \in T\}$ rassal değişkenler ailesine stokastik süreç denir (Medhi, 2003). Süreç zaman parametrelili rassal değişkenlerden oluşur $\{X_t, t \in T\}$. X_t, t zamanındaki sonuçtur. T ise zaman aralığıdır (Doob, 1953). Bu bilgiler ışığında stokastik süreçler şu şekilde oluşabilmektedir (Medhi, 2003);

- Kesikli-zaman, kesikli-durum uzayı
- Kesikli-zaman, sürekli-durum uzayı
- Sürekli-zaman, kesikli-durum uzayı
- Sürekli-zaman, sürekli-durum uzayı

Stokastik süreçlerde parametre zaman olarak ifade edildiğinde; T , eğer sıralı değerler olarak tanımlanırsa kesikli-zaman süreci, bir aralık olarak tanımlanırsa sürekli-zaman sürecini oluşturur. Durum uzayı S , bir aralık değerlerinden oluşuyorsa sürekli durumlu stokastik süreç, sıralı değerlerden oluşuyorsa kesikli durumlu stokastik süreci oluşturur. Ayrıca kesikli durum süreçleri zincir olarak adlandırılır. Yukarıda sıralanan dört stokastik süreçten, birincisi kesikli-zaman zinciri, üçüncüsü de sürekli-zaman zinciri şeklinde ifade edilir.

3.1.1. Markov Zincir Modeli

Olasılık teorisinin temeli, birbirinden bağımsız olarak yapılan deneylerden oluşmuş süreçlere dayanmaktadır. Böyle deneylerde mümkün tüm çıktılar ve bunlara ait olasılıklar eşittir. Bununla birlikte geçmiş deneylerin sonuçlarının da gelecekteki deneyin sonucunu etkilemediği görülmektedir. Böylece bağımsız deneylere ilişkin olasılıklar bulunabilir ve hesaplanabilir.

Modern olasılık teorisi çalışmaları ise geçmişte yapılan deneylerin sonuçlarının, gelecekteki deneyleri etkilediği rassal süreçler üzerine yapılmıştır. Geçmişten veri olarak alınan sonuçlar gelecekteki sonuçları etkilemektedir. Böyle bir durumda geleceğe ilişkin olasılık tahmini yapmak hayli zor olacaktır (Gringstead ve Snell, 1997).

Bu gelişmeler ışığında; 1907 yılında A. A. Markov kendi adıyla anılan yeni bir stokastik süreç üzerine çalışmaya başlamıştır. Çalışmaları; gelecekteki sonuçların yalnızca şu andaki sonuçtan etkilenmesi üzerine kurulmuştur. Daha sonra Markov süreci olarak tanınan bu yöntemi ilerleyen yıllarda birçok alanda uygulamış ve etkili sonuçlar elde etmiştir.

Markov zincirleri, sürece ilişkin değerler bilindiğinde, sürecin gelecekteki değerlerinin geçmişten koşullu olarak bağımsız olduğu süreçlerdir (Çınlar, 1997). Markov zincirlerinin sistemin belli bir anda bulunacağı durumu tahmin etmesinin yanında, sistemin uzun dönemde denge durumu bulunacağı durumu tahmin etme yeteneği de vardır. Bu yönüyle Markov Zincirleri bir en uygun şekle sokma aracından çok, simülasyon modelleri gibi bir açıklama ve tahmin aracıdır. Ancak günümüzde Markov zincirleri de simülasyon ve optimizasyon amaçlı olarak sıkça kullanılmaktadır.

S örnek uzaya ait rassal değişkenlerden oluşan; stokastik süreç $X(t)$ veya $X(n)$ olarak tanımlanmış olan $\{n = t = 0, 1, 2, \dots\}$ kümesinin durumları sonlu ve sayılabilir olarak ifade edilebilirse, bu süreçler kesikli-durum süreçleri olarak adlandırılır. Aynı zamanda bahsedilen süreçler zincir terimi kullanılarak ifade edilebilir. Bu durumlar sayılamaz olarak ifade edilirse, sürekli-durum süreci olarak adlandırılır.

Stokastik süreç $\{x(t), t \in T\}$, $s > t$ olduğunda, X_s değeri, verilen X_t değerinden etkileniyor, $u < t$ şartını sağlayan X_u değerinden etkilenmiyorsa Markov süreci olarak ifade edilir. Sürecin gelecekteki durumuna ilişkin olasılığın değeri, bilinen mevcut duruma bağlı ve önceki durumların bilinmesini gerektirmeden bulunabiliyorsa bu sürece Markov süreci

denir (Taylor ve Karlin, 1984). Markov süreci bir stokastik süreçtir ve sürecin gelecekteki davranışı yalnızca şimdiki durumdan etkilenir, önceki durumlara bağlı değildir (Saldana ve Changho, 2000).

N sayıdaki zaman noktası içerisinde herhangi bir $t_1, t_2, t_3, \dots, t_n$ kümesi için X_{t_n} 'in koşullu olasılığı; $X_{t_1}, X_{t_2}, X_{t_3}, \dots, X_{t_{n-1}}$ 'in verilen değerlerinden yalnızca $X_{t_{n-1}}$ 'in değerine bağlıysa, X_t , Stokastik süreci Markov süreci olarak tanımlanır ve Markov özelliği olarak da ifade edilebilir (Cinemre, 1997).

Markov süreci, stokastik süreçlere benzer şekilde, kesikli-durum, kesikli-zaman; kesikli-durum, sürekli-zaman; sürekli-durum, kesikli-zaman; sürekli-durum, sürekli zaman olarak dört şekilde sınıflandırılarak tanımlanabilir.

Bir stokastik kesikli-durum süreci; süreç içerisinde bir sonraki durum yalnızca mevcut duruma bağlıysa, önceki durumlarla ilişkisi mevcut değilse Markov Zinciri olarak isimlendirilir. Bu zincir; 2 ardışık durum arasındaki zaman; üssel dağılmışsa Sürekli-Zaman Markov Zinciri, geometrik dağılmışsa Kesikli-Zaman Markov Zinciri olarak adlandırılır (Dayar, 1994).

Markov özelliği gösteren bir stokastik süreçteki rassal değişkenlere ait değerlere **durum** denmektedir. Bunun sebebi ise şartlı olasılığın sadece bir önceki zamana bağlı olmasıdır (Leon-Garcia, 1994).

Süreç içinde oluşabilecek tüm uygun şartlar durum olarak ifade edilir. Örnek olarak bir makine herhangi bir zaman noktasında düzgün veya hatalı olarak çalışabileceğinden bu süreç içerisinde oluşabilecek iki durum bulunmaktadır. Burada olayların birbirinden ayrık olarak değerlendirilmesi gerekir. Özetle durumlardan biri olduğu anda diğer durum oluşamaz, makine aynı anda hem düzgün hem de hatalı çalışamaz (Render ve Stair, 1997).

Süreç zincire ait durumlardan herhangi birinden başlayarak ardışık olarak tekrar aynı veya diğer durumlardan birine hareket eder. Her bir harekete **adım** olarak ifade edilir (Gringstead ve Snell, 1997).

$\pi(t)$, t zamanındaki durumların olasılıkları göstermek üzere, n adet durum söz konusu olduğunda $\pi(t) = \pi_1, \pi_2, \pi_3, \dots, \pi_n$ şeklinde ifade edilen t zamanındaki 1'den n 'ye kadar tüm durumların olasılık dağılımıdır.

Sürecin veya zincirin tüm gerçekleşebilecek değerleri negatif olmayan tamsayılarla sembolize edilmiştir. Burada $X_t = i_t$ ise:

$$P\{X_{t+1}=i_{t+1} \mid X_t = i_1, \dots, X_0 = i_0\} = P\{X_{t+1}=i_{t+1} \mid X_t = i_t \quad (3.1)$$

şeklinde ifade edilen denklem Markov zinciri olarak tanımlanır. Burada, bir sonraki zamanda oluşacak durum, yalnızca şimdiki zamandan yani X_t durumundan etkilenecektir, geçmiş zamanlardaki durumlardan tamamen bağımsız olacaktır (Ross, 2003).

X_n 'in i durumunda olduğu bilindiğinde; X_{n+1} 'inde j durumunda olma olasılığı tek-adımlı geçiş olasılığı olarak adlandırılır (Taylor ve Karlın, 1984) ve aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır:

$$P^{n,n+1}_{ij} = P \{X_{n+1}=j \mid X_n = i\} \quad (3.2)$$

Tek-adımlı geçiş olasılığı zaman parametresinden bağımsız olduğundan, Markov zincirinin durağan geçiş olasılığına sahip olduğu söylenebilir ve aşağıdaki gibi tanımlanabilir:

$$P \{X_n=j \mid X_{n-1} = i\} = p_{ij} \quad \forall i, j \in S, n \geq 1 \quad (3.3)$$

Hangi rotasyonun kullanıldığı önemli olmaksızın, t zamanı bağımsızken tüm durumları i ve j harfleri ile ifade ettiğimizde $P \{X_{t+1}=j \mid X_t = i\}$ varsayımı doğru olacaktır. Bu varsayımdan $P \{X_{t+1}=j \mid X_t = i\} = p_{ij}$ olarak tanımlandığında; sistemin t zamanındaki i durumundan, $t+1$ zamanındaki j durumuna geçişinin olasılığı p_{ij} olarak ifade edilmektedir. Bundan dolayı p_{ij} 'ler Markov zincirinde geçiş olasılıkları olarak tanımlanır. p_{ij} geçiş olasılığı tek-adımlı geçiş olasılığı olarak ifade edilerek açıklanır.

Buradan çıkan diğer bir varsayım ise geçiş olasılığının zamandan etkilenmeden durağan olduğudur ki böylece p_{ij} 'ler sabittir ve bunlar kesin olasılıklar olarak açıklanmaktadır. Aşağıdaki varsayımlar da kabul edilerek olasılıklar tanımlanır:

$$p_{ij} \geq 0 \quad i, j \geq 0 \quad \sum_{j=0}^n p_{ij} = 1 \quad i = 0, 1, \dots \quad (3.4)$$

Bütün geçiş olasılıklarının ifade edildiği $s \times s$ boyutlu matrise ise P geçiş matrisi olarak adlandırılır.

$$P = \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & \cdots & p_{1s} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{s1} & p_{s2} & \cdots & p_{ss} \end{bmatrix} \quad (3.5)$$

Bu matris sabit ve zamandan bağımsız p_{ij} geçiş olasılıklarını içerdiğinden, P matrisi homojen geçiş matrisi veya stokastik matris adı ile tanımlanır.

Markov süreci, X_n rassal değişkeninin şartlı olasılığı; $X_{n-1}, X_{n-2}, X_{n-3}, \dots$, rassal değişkenlerinin içinden yalnızca X_{n-1} ile sağlanıyorsa oluşmaktadır. Sadece bir önceki zamandaki rassal değişkenle koşullu olasılığı olan rassal değişkenin varlığında oluşan bir stokastik süreçtir. Süreç bu şekilde Markov özelliği göstermektedir. Markov sürecinin durum uzayı kesikli olduğunda bu ifade Markov zinciri olarak adlandırılmaktadır. Markov zinciri de zaman parametresine göre kesikli ve sürekli durumlar alabilmektedir.

3.1.1.1. Markov Zincileri ile İlgili Örnekler

Markov zinciri, tek-adımlı geçiş olasılıklarını veren geçiş matrisi belirlenmesi ve '0' zaman noktasındaki sürece ait durumun olasılık dağılımının bilinmesiyle meydana getirilmektedir (Taylor ve Karlin, 1984). Aşağıda Markov zincirlerinin daha iyi bir şekilde anlaşılması için literatürde kullanılan basit ve açıklayıcı örneklere yer verilmektedir.

Örnek 3.1: Yürüyüş Modeli

Bir Markov zincirinin durum uzayı; $i = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$ gibi tamsayılar ile gösterilip, olasılıkları ise $P_{i,i+1} = p = 1 - P_{i,i-1}$, $0 < p < 1$ şeklinde ifade edilirse bu Markov zincirine rassal yürüyüş modeli olarak ifade edilir. Bir sonraki periyod durumun bir önceki periyoda bağlı olduğu açıktır, bu sebeple Markov özelliği gösterir.

Burada bir bireyin düz bir çizgi üzerinde sürekli sağa ve sola adım attığı düşünülebilir. Sağa adım atma olasılığı p ile tanımlanırsa, sola adım atma olasılığı da $1-p$ veya q ile tanımlanır. Denklemden $i+1$ sağa adım, $i-1$ de sola adım olarak gösterilmiştir.

Örnek 3.2: İskambil Kağıdı Oyunları Modeli

Bir iskambil kağıdı oyuncusu her oyunda bir para birimi kazanma olasılığı p , bir para birimi kaybetme olasılığı da $1 - p$ olarak tanımlanmıştır. Oyuncu, oyunu ancak iki şartla bitirebilir; ya elindeki para sifıra düşecektir yada N para birimine ulaşacaktır. Markov zincirinin geçiş olasılığı şu şekilde olacaktır:

$$P_{i,i+1} = p = 1 - P_{i,i-1}, \quad i = 1, 2, 3, \dots, N - 1 \quad (3.6)$$

$$P_{00} = P_{nn} = 1$$

Denklemler incelendiğinde, rassal yürüyüş modeliyle 0 ve N durumları haricinde uyuşmakta, fakat oyun N veya 0 durumuna girdiğinde bir daha buradan çıkamamaktadır, bu iki duruma yutucu durum denir.

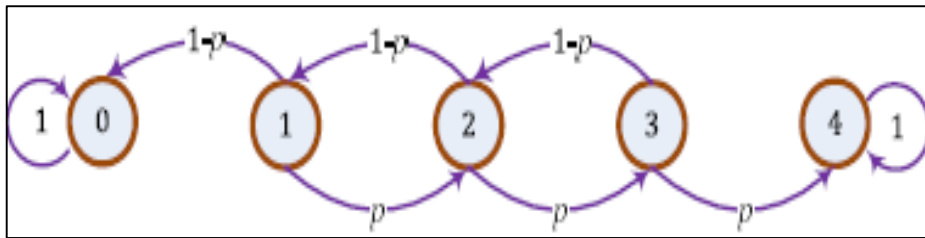
Örneğin; bir oyuncu elinde 0 zamanında 2 Türk Lirası (TL) kadar para vardır. Her seferinde 1 TL yatırabilecek bir oyun oynandığında, kazanılırsa yatırılan 1 TL ve bir o kadar para daha alınıyor, kaybedilmesi durumunda ise yatırılan para veriliyor. Oyun, 4 TL ulaşıldığında veya para bitince, sona eriyor. Kazanma olasılığı p , kaybetme olasılığı $1-p$ ile gösterilmiştir.

Dikkat edilecek olursa $t + 1$ oyun sonra elde olan para miktarı, t oyunundan sonraki elde kalan para miktarına bağlıdır. Bu da bu durumun bir Markov zinciri olduğunu belirtmektedir. Oyunun kuralları da zaman içinde değişmediğinden durağan Markov zinciridir. Bu örnekte elde 2 TL ile başlanıyor, eğer kazanılırsa 3 TL, kaybedilirse 1 TL ile oyuna devam edilir. Ta ki 0 veya 4 TL kalana kadar oyun devam etmektedir. Aşağıda gösterilen geçiş matrisinde P , durum olarak tanımlanan elde kalan parayı ifade etmektedir.

$$P = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1-p & 0 & p & 0 & 0 \\ 0 & 1-p & 0 & p & 0 \\ 0 & 0 & 1-p & 0 & p \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.7)$$

Geçiş matrisinde, $P_{00} = P_{44} = 1$ olduğu görülmektedir, yani 0 veya 4 TL para birimine ulaşıldığı anda oyun bitmektedir, durum değişmemektedir. Diğer durumlarda ise kaybetmenin olasılığı $1 - p$ kazanmanın olasılığı ise p olarak gösterilmektedir.

Geçiş matrisinin şematik açıklaması Şekil 3.1'de görülmektedir, soldan sağa doğru $0,1,2,3$ ve 4 durumlarının geçişler ayrıntılı şekilde açıklanmaktadır.



Şekil 3. 1. İskambil kağıt oyunları modeline ait geçiş olasılıkları şeması

Yukarıdaki örneklerde i durumundan j durumuna bir adımda geçiş olasılıkları üzerinde durulmuştur. Bu durum geçişlerin yanı sıra, m zamanında i durumunda olan bir zincirin, n zaman sonra j durumunda bulunma olasılığı belirlenmek istenmektedir (Cinemre, 1997). Bu durumla ilişkin bir tanım yapıldıktan sonra istenen sonuca ulaşmak için gerekli denklemler elde edilecektir.

Markov zinciri m zamanında i durumundayken, n periyot sonra j durumunda olma olasılığını açıklamak için n -adımlı geçiş olasılıklarının hesaplanması gerekmektedir (Winston, 2004). Bu hesaplamalar için Chapman-Kolmogorov denklemi olarak adlandırılan bir metot geliştirilmiştir (Ross, 2003).

$$P_{ij}^{n+m} = \sum_{k=0}^{\infty} P_{ik}^n P_{kj}^m \quad (3.8)$$

Durağan bir Markov zinciri olduğundan yani geçiş olasılıkları zamanla değişmediğinden söz konusu olasılık m zamanından bağımsız olacağı için denklem aşağıdaki gibi yazılabilir (Winston, 2004).

$$P\{X_{m+n} = j \mid X_m = i\} = P\{X_n = j \mid X_0 = i\} = P_{ij}(n) = P_{ij}^n \quad (3.9)$$

Herhangi bir m zamanından n zaman sonra sistemin i durumundan j durumuna geçme olasılığını hesaplayabilmek için m zamanı 0 zaman noktası kabul edilerek, n zaman sonra j durumuna geçiş ise $P_{ij}(n)$ olarak gösterilir. Buradaki $P_{ij}(n)$, i durumundan j durumuna n -adımda geçiş olasılığı olarak belirtilir.

$P^{(n)}$, n -adımlı geçiş olasılıkları matrisi olan P_{ij}^n olarak gösterilirse, (3.8) denklemini aşağıdaki gibi düzenlenebilir:

$$P^{(n+m)} = P^n P^m \quad (3.10)$$

$P_{ij}(1) = P_{ij}$ olduğu görülmektedir. $P_{ij}(2)$ ise sistemin şu anda veya herhangi bir zaman noktasında i durumunda olduğu ve 2 periyot sonunda j durumunda olma olasılığını belirtmektedir. Öncelikle i durumundan bir periyot sonra k gibi durumlara geçiş yapılacak, k durumundan ise j durumuna geçilecektir. Bu aşağıdaki eşitlikle ifade edilebilir:

$$P_{ij}(2) = \sum_{k=1}^{k=s} (i \text{ durumundan } k \text{ durumlarına geçiş olasılığı}) \times (k \text{ durumundan } j \text{ durumuna geçiş olasılığı}) \quad (3.11)$$

Formülde gerekli düzenlemeler yapılırsa (3.12) bağıntısı elde edilir.

$$P_{ij}(2) = \sum_{k=1}^{k=s} p_{ik} \times P_{kj} \quad (3.12)$$

Burada önemli nokta k 'nın birden fazla durumu içerebileceğidir, çünkü her k durumundan ayrı ayrı j durumuna geçiş olasılıklarının da hesaplanması gerekmektedir. Yukarıdaki eşitliğin sağ tarafı P matrisinin i satırı ile j sütununun skaler çarpımıdır. Buradan $P_{ij}(2)$, P^2 matrisinin ij elemanıdır, yani $P_{ij}(2)$, P^2 matrisinin i satırıyla j sütununun kesiştiği yerdir. Bu aşağıdaki ifade ile açıklanmaktadır (Winston, 2004).

$$P_{ij}(n) = P^n \text{ matrisin } ij \text{ elemanı} \quad (3.13)$$

$$P_{ij}(0) = \begin{cases} 1; & j = i \\ 0; & j \neq i \end{cases}$$

Örnek 3.3: Kola Satış Problemi

Kola piyasasında 2 adet değişik marka ürünün var olduğunu düşünelim. En son 1. kolayı alan bir müşterinin tekrar 1. kolayı alma olasılığı 0.90, en son 2. koladan alan bir müşterinin yine 2. kolayı tercih etme olasılığı ise 0.80'dir (Winston, 2004).

Bu durumun P geçiş matrisi aşağıdaki kurulabilir;

	1.Kola	2.Kola
1.Kola	0.90	0.10
2.Kola	0.20	0.80

(3.14)

a) Eğer bir müşterinin en son 2. kola markasını aldığını düşünürsek, 2 alış sonra 1. kola markasını alma olasılığı nedir?

Bulunmak istenen olasılık: $P\{x_2 = 1, X_0 = 2\} = P_{21}(2)$

Kısacası P^2 matrisinin 2. durum satırıyla 1. durum satırının bileşkesidir.

$$P^2 = \begin{pmatrix} 0.90 & 0.10 \\ 0.20 & 0.80 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0.90 & 0.10 \\ 0.20 & 0.80 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.83 & 0.17 \\ 0.34 & 0.66 \end{pmatrix} \quad (3.15)$$

Buradan $P_{21}(2) = 0.34$ olduğu hesaplanacaktır, kısacası şu anda 2. marka kolayı almış olan bir müşterinin 2 alım sonrasında 1. marka kolayı alma olasılığı 0.34 olacaktır. Bu işlem; olasılığın çarpma ve toplama kuralı kullanılarak da yapıp ispatlanabilir ve (3.16) formülünden bulunabilir.

$$P_{21}(2) = P_{21}^2 = P_{22}P_{21} + P_{21}P_{11} \quad (3.16)$$

Eşitliğin sağ tarafı; 2. durumdan bir geçiş sonra tekrar 2. duruma, ardından 2. durumda bulunan sistemin tekrar bir geçiş sonra 1. duruma gelişi ile 2. durumdaki sistemin 1. duruma oradan da tekrar 1. duruma geçiş olasılıkları toplanarak bulunmuştur. Durum uzayında iki adet rassal değişken bulunduğundan zincir ya birinci ya da ikinci duruma girebilir. Örnekteki ilgili olasılıklar bir adımlı geçiş matrisi olarak ifade edilirse (3.17) bağıntısı ile verilen şekilde problem çözülmektedir;

$$P_{21}(2) = P_{21}^2 = (0.8 \times 0.2) + (0.2 \times 0.9) = 0.16 + 0.18 = 0.34 \quad (3.17)$$

b) Şimdi 1. marka kolayı alan bir müşterinin 3 alım sonrasında yine 1. marka kolayı alma olasılığını hesaplayalım.

Burada da bulmak istediğimiz olasılık $P_{11}(3)$ tür. Yani P^3 matrisinin 11 elemanı hesaplanmak istenmektedir. (3.18) bağıntısındaki gerekli geçişler yapılarak $P_{11}(3) = 0.781$ olarak hesaplandığı görülmektedir.

$$P^3 = P(P^2) = \begin{pmatrix} 0.90 & 0.10 \\ 0.20 & 0.80 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0.83 & 0.17 \\ 0.34 & 0.66 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.781 & 0.219 \\ 0.438 & 0.562 \end{pmatrix} \quad (3.18)$$

Örnek 3.4: Hava Durumu Örneği

Hava durumunun yarın güneşli olma ihtimalinin hangi durumda olasılıklarının ne kadar olduğu gösterilmektedir:

Durumlar:

Durum1: Bugün ve dün hava güneşli

Güneşli Olma İhtimali:

0.7

Durum2: Bugün güneşli dün güneşli değil	0.5
Durum3: Dün güneşli bugün güneşli değil	0.4
Durum4: Dün ya da bugün güneşli değil	0.2

Yukarıdaki verilere dayanarak aşağıdaki P olasılık geçiş matrisi oluşturulmuştur:

$$P = \begin{bmatrix} 0.7 & 0 & 0.3 & 0 \\ 0.5 & 0 & 0.5 & 0 \\ 0 & 0.4 & 0 & 0.6 \\ 0 & 0.2 & 0 & 0.8 \end{bmatrix} \quad (3.19)$$

P matrisi oluşturduktan sonra havanın, dün ve bugün güneşli olması durumunda iki gün sonra güneşli olma ihtimali ne olur sorusuna cevap verelim:

Bulduğumuz durumdan iki ileriki zaman periyodu sorduğumuz için olasılık matrisinin karesini almamız gerekiyor.

$$P^2 = \begin{bmatrix} 0.7 & 0 & 0.3 & 0 \\ 0.5 & 0 & 0.5 & 0 \\ 0 & 0.4 & 0 & 0.6 \\ 0 & 0.2 & 0 & 0.8 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 0.7 & 0 & 0.3 & 0 \\ 0.5 & 0 & 0.5 & 0 \\ 0 & 0.4 & 0 & 0.6 \\ 0 & 0.2 & 0 & 0.8 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.49 & 0.12 & 0.21 & 0.18 \\ 0.35 & 0.20 & 0.15 & 0.30 \\ 0.20 & 0.12 & 0.20 & 0.48 \\ 0.10 & 0.16 & 0.10 & 0.64 \end{bmatrix} \quad (3.20)$$

İki gün sonra güneşli olma ihtimali durum 1 veya durum 2'deki olaylarla söz konusu olacağından olasılık değeri (3.21) bağıntısı ile hesaplanır.

$$P_{00}^2 + P_{01}^2 = 0.49 + 0.12 = 0.61 \quad (3.21)$$

Örnek 3.5: İş Makinesi Çalışma Problemi

İş makinesinin son 10 günde çalışması (1) veya arızalı olması (0) durumuna göre aldığı değerler $X_t = \{0,0,0,1,0,0,1,1,1,0\}$ olarak verilmiştir, durumlar arasındaki geçiş adetleri aşağıdaki bağıntıda gösterilmiştir.

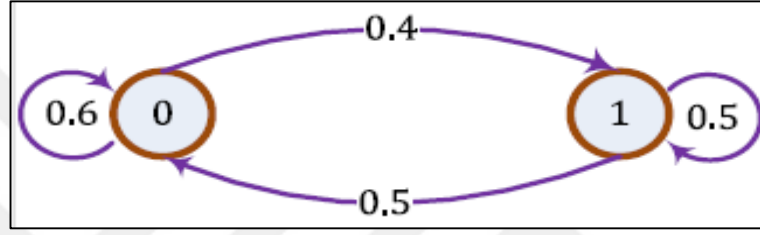
$$X_t = \begin{bmatrix} \text{Durumlar} & \text{Arızalı}(0) & \text{Çalışıyor}(1) \\ \text{Arızalı}(0) & 3 & 2 \\ \text{Çalışıyor}(1) & 2 & 2 \end{bmatrix} \quad (3.22)$$

P_{00} : Herhangi bir günün sonunda makine arızalı iken bir sonraki günün sonunda da arızalı olma olasılığını; P_{11} ise her iki günde de çalışıyor olma olasılığını ifade eder; P_{01} :

önceki gün arızalı, sonraki gün çalışıyor olma olasılığı; P_{10} ise bunun tam tersi olasılığı tanımlamaktadır. Durumlar arasındaki geçişlere göre olasılıklar şöyledir; $P_{00} = 3/5$; $P_{01} = 2/5$; $P_{10} = 2/4$; $P_{11} = 2/4$.

Geçiş matrisi P , (3.23) bağıntısında verilmiştir. Geçiş matrisi geçiş diyagramı Şekil 3.2'de gösterilmektedir. Döğümler (0 ve 1) durumları, oklar geçişleri, oklara ait rakamlar ise geçiş olasılıklarını göstermektedir.

$$P = \begin{bmatrix} 0.6 & 0.4 \\ 0.5 & 0.5 \end{bmatrix} \quad (3.23)$$



Şekil 3. 2. İş makinesi problemine ait geçiş olasılıkları şeması

3.1.2. Semi - Markov Modeli

Semi-Markov modeli, Markov modeline benzer, dinamik sistemlerin incelenmesinde kullanılmak üzere oluşturulmuş bir model olarak tasarlanmıştır (Howard, 1971). Markov Modelinin özelliklerinden biride zaman ve uzay boyutuna bağlı olmasıdır. Buna karşın Semi- Markov modelinde ise sadece uzay boyutuna bağlı olma özelliği vardır. Markov modelinin diğer bir özelliği ise olayların kendinden önce gerçekleşen olaylara bağlı olmalarından dolayı tek-adım bellek özelliği göstermesidir. Semi-Markov modeli ise ardışık olaylar arasında geçen zamanın bir önceki ve gelecekte olacak olaylara bağlı olmasından dolayı çok-adım bellek özelliği göstermektedir.

Semi-Markov modeli durum ve geçiş olmak üzere iki temel kavram içermektedir. Fiziksel olarak bir sistemde, o sisteme ait değişkenlerin sayısal ifadesi sistemi tanımlar. Buradaki değişkenlerin her biri birer 'durum' belirtmektedir. Deprem sayısı, enlem, boylam, derinlik, enerji gibi parametreler meydana gelen depremin uzay durumlarını belirtmektedir. Sistemin zaman içerisindeki, durumdan duruma geçişleri dinamik bir davranış özelliği göstermektedir. Meydana gelen depremlerin büyüklüklerine bakılarak, belirli bir bölgede M_1

büyükliğünde bir deprem olduktan sonra aynı bölgede M_2 büyüklüğünde bir depremin olması, bölgede M_1 durumundan M_2 durumuna geçiş olduğunu ifade etmektedir. Bu geçiş ‘durumdan duruma geçiş’ olarak tanımlanmaktadır.

Semi-Markov modelinde olayların uzay durumu kendinden önceki durumlara bağlı olarak seçilmelidir. Her bir durum i ve j olarak ifade edilsin ve bu durumlar için n tane geçiş varsa, $n+1$ ’inci geçiş için D , durum olmak üzere olasılık (3.24) bağıntısındaki gibi ifade edilir;

$$Prob \{D(n+1)=j \mid D(n)=i\} \quad (3.24)$$

Bu Markov modelinin bilinen tek adım bellek özelliğidir. Modelin diğer özellikleri aşağıdaki şekilde açıklanmaktadır:

Geçiş matrisi, eğer sistemde i durumundan j durumuna geçiş olmuşsa, bu geçişin olasılığı G_{ij} , i ’den j ’ye geçiş olasılığını ifade etmektedir. N adet durum için G_{ij} olasılığı (3.25) bağıntısındaki özellikleri içerir.

$$\begin{aligned} 0 \leq G_{ij} \leq 1; \quad 1 \leq i; \quad j \leq N \\ \sum_{j=1}^N G_{ij} = 1; \quad i = 1, 2, 3, \dots, \dots, \dots, N \end{aligned} \quad (3.25)$$

G_{ij} matrisi stokastik bir matris özelliği göstermekle birlikte bir kare matris olup her satır bir olasılık vektörünü belirtmektedir.

$$G = \{G_{ij}\} = \begin{bmatrix} G_{11} & \cdots & G_{1N} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ G_{N1} & \cdots & G_{NN} \end{bmatrix} \quad (3.26)$$

Geçiş zamanı, olayların zaman boyutunda incelenmesi sonucunda, i durumundan j durumuna geçiş zamanı t_{ij} olarak tanımlanırsa, t_{ij} ’nin sayısal değeri pozitif, tam ve rastlantısaldır. u , birim zaman olmak üzere t_{ij} , (3.27) bağıntısı ile ifade edilir.

$$t_{ij} = mu; \quad m=1, 2, 3, \dots, \dots, n \quad (3.27)$$

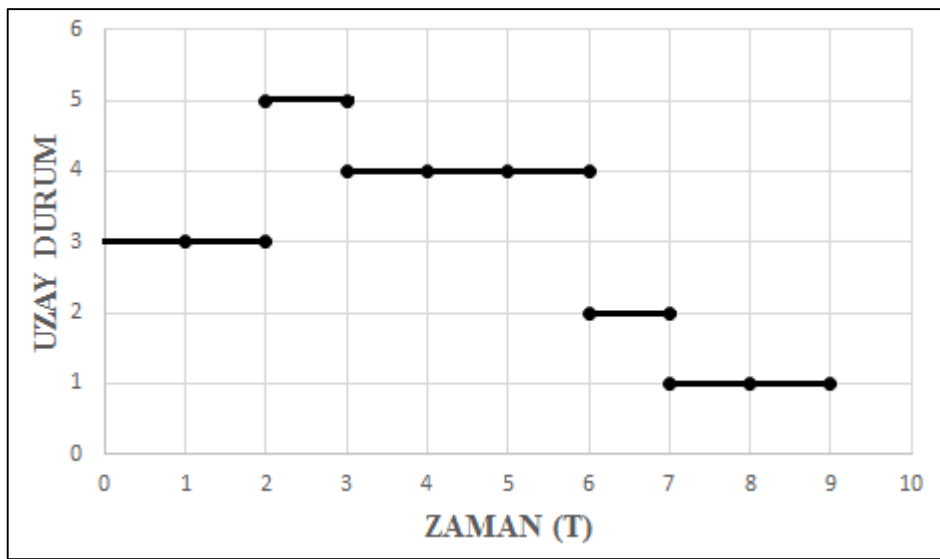
Sonlu bir değeri olabileceği gibi en az bir birim uzunluğunda olabilmektedir. t_{ij} 'nin olasılık değerlerini oluşturan T_{ij} matrisi (3.28) bağıntısı ile ifade edilir.

$$\text{Prob} \{t_{ij}=m\} = T_{ij}(m); \quad m=1, 2, 3, \dots, n \quad (3.28)$$

Olasılık kütle fonksiyonu ise aşağıdaki şekilde ifade edilir;

$$T(m) = \sum_{i=1}^n T_{ij}(m) = 1 \quad (3.29)$$

Modelin diğer özelliklerinden biri de başlangıç şartlarının belirlenmesidir. Dinamik bir sistem özelliği gösteren modelde, olayın hangi durumda ve hangi t_0 başlangıç zamanında başladığını belirtmekle başlangıç koşulları oluşturulmuş olur. Modelin ayrık ve sürekli özelliğe sahip olduğu şekilleri vardır. Deprem olaylarında, olasılıkları daha iyi açıklayacağı düşünülen Ayrık Semi-Markov modelinin kullanılması uygun olacaktır. Ayrık Semi-Markov modeli daha iyi anlaşılması için şekil 3.3'te model şema olarak tanımlanmıştır. şekil incelendiğinde, olay 3.nolu uzay durumundan sıfır zaman konumunda başlamış ve bu konumda 2 birim zaman kaldıktan sonra diğer durumlara geçmiştir. Değişik durumlarda farklı zaman birimlerinde kalıp 4 dinamik geçiş davranışı göstermiştir.



şekil 3. 3. Ayrık zaman Semi-Markov modeli şeması

Bir sonraki adımda Çekirdek Matrisi oluşturulur. Çekirdek matris, G geçiş matrisi elemanlarıyla $T(m)$ geçiş zamanı olasılık kütle fonksiyonu elemanlarının çarpımıyla oluşturulmaktadır. Bağlantılı olaylarda olay, t_0 başlangıç zamanında i durumundan başlar ve m zamanında j durumuna geçerse, çekirdek matrisi oluşturan $c_{ij}(m)$ elemanları (3.30) bağıntısındaki gibi ifade edilebilir.

$$\begin{aligned} c_{ij}(m) &= G_{ij}T_{ij}(m); \quad i=1, 2, \dots, N \\ &\quad j=1, 2, \dots, N \\ &\quad m=1, 2, \dots, N \end{aligned} \quad (3.30)$$

Çekirdek matris (c_{ij}) oluşturulurken, elemanların elde edilmesi sırasında yapılan çarpma işlemi (Δ) simgesi ile tanımlanır. Böylece çekirdek matris (3.31) bağıntısı olarak tanımlanır.

$$C(m) = G\Delta T(m) \quad (3.31)$$

Burada (Δ) simgesi, boyutları aynı olan iki matrisin karşılıklı elemanlarının çarpımını gösteren bir operatörü temsil etmektedir. (Δ) ile çarpımda dağılma, değişme ve birleşme özelliği vardır. $C(m)$ matrislerinin oluşturulmasıyla olasılıklar elde edilmektedir.

Çekirdek matrislerinin oluşturulmasıyla Semi-Markov modelin diğer elemanlarından $w(m)$, bekleme zamanı kütle fonksiyonu matrisleri ve $> w(n)$, tümleyici bekleme zamanı matrislerini oluşturmaktadır.

Bekleme zamanı, i durumunda başlayan olayın hangi duruma geçeceği tahmin edilmeksizin bu durumda geçireceği süre (t_i) olarak ifade edilir. t_i 'nin olasılığı w_i ve olasılık kütle fonksiyonu $w_i(m)$;

$$w_i(m) = \sum_{j=i}^N G_{ij} T_{ij}(m) = \sum_{j=i}^N c_{ij}(m); \quad m = 1, 2, 3, \dots \dots \dots \quad (3.32)$$

olarak ifade edilir. Kısaca açıklayacak olursak yukardaki ifade çekirdek matrisin satır elemanlarının toplamı olacaktır. $w_i(m)$ elemanları aynı zamanda, köşegen bir özelliğe sahip olan $w(m)$ bekleme zamanı kütle fonksiyonu matrisini oluşturur.

Tümleyici bekleme zamanı, i durumundaki olayın, n zaman için i durumunda bulunmama süresi t_i olarak tanımlanır. N zaman için olayın i durumunda bulunma olasılıkları $w_i(n)$;

$$w_i(n) = \sum_{m=1}^n w_i(m) ; \quad n = 0, 1, 2, \dots \dots \dots \quad (3.33)$$

ve bulunmama olasılıkları $> w_i(n)$ ise;

$$> w_i(n) = \sum_{m=n+1}^{\infty} w_i(m) ; \quad n = 0, 1, 2, \dots \dots \dots \quad (3.34)$$

olarak ifade edilir. $> w_i(n)$ olasılıkları tümleyici bekleme zamanı matrisini meydana getirir.

Aralık geçiş olasılıkları olarak tanımlanan $F(n)$ matrisi, $m=0$ zamanında i durumunda başlayan olayın $m = n$ zamanında j durumuna bir kere geçiş olasılığını ifade etmektedir. Olay i 'den başlamak üzere $(0, n)$ aralığında j 'ye doğrudan geçmeli veya m zamanlarda ($0 < m < n$) olmak üzere başka durumlara geçmeli ve n zamanda j 'de son bulmalıdır. Eğer, $(0, n)$ bir geçiş olursa, olay $m=n$ anında j 'ye geçmek zorundadır.

Aralık geçiş olasılığı $F(n)$, tümleyici bekleme zamanı $> w(n)$, geçiş matrisi G , geçiş zaman kütle fonksiyonu $T(m)$ ve $(n-m)$ için aralık geçiş olasılıkları $F(n-m)$ olmak üzere (3.35) bağıntısıyla ifade edilir.

$$F(n) => w(n) + \sum_{m=0}^n G \Delta T(m) F(n-m) ; \quad n = 0, 1, 2, \dots \quad (3.35)$$

$F(n)$ olasılığı, $m = 0$ 'da $T(m) = 0$ aralık oluşmadığından dolayı $1 \leq m \leq n$ aralığında saptanır. $n = 0$ için $F(n)$ matrisi;

$$F(0) = \begin{cases} 1 & i = j \\ 0 & i \neq j \end{cases} \quad (3.36)$$

şeklinde ifade edilir. n 'nin büyük değerleri için $F(n)$, limit matrisine yaklaşır.

Deprem olaylarında, $F(n)$ matrisini oluşturmak, yenilemeli olasılık değerleri yardımıyla deprem riskinin olasılıklarının hesaplanması yapılabilir.

3.2. Weibull Dağılım Modeli

Weibull dağılımı, 1951 yılında Waloddi Weibull tarafından makinelerin yaşam sürelerini tahmin etmek amacıyla kendi adıyla ortaya koymuş olduğu bir dağılım şeklidir. Sürekli bir dağılım olan Weibull dağılımı kuvvet karakteristiği eğrisinin tüm bölgelerini karakterize edebilme yeteneğine sahip olduğundan güvenilirlik analizlerinde en yaygın olarak kullanılan dağılımlardan biri olarak bilinmektedir. Weibull dağılımı kullanım alanlarına göre bir parametrelili, iki parametrelili ve üç parametrelili olmak üzere çok yönlü kullanılabilen bir dağılım şeklidir.

Bir parametrelili Weibull olasılık dağılım fonksiyonu, yer parametresi $\gamma = 0$ olmak koşuluyla, şekil parametresi $\beta = C$ durumunda sabit olarak alınarak (3.37) bağıntısı ile ifade edilir. Burada bilinmeyen parametre ölçek parametresi η 'dur.

$$f(t) = \frac{c}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{c-1} e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^c} \quad (3.37)$$

İki parametrelili Weibull dağılımı özellikle malzeme biliminde, rüzgâr dağılımı ve değişimi hesaplamalarında yoğun bir şekilde tercih edilen yöntemlerden biridir. İki parametrelili Weibull dağılımı olasılık yoğunluk eğrisi simetrik değildir ve dağılım şekil ve ölçek parametreleri tarafından kontrol edilir. Bu dağılımın altında kalan alanın toplam olabilirliği '1' dir. İki parametrelili Weibull dağılımı için olasılık yoğunluk fonksiyonu, yer parametresi $\gamma = 0$ olmak koşuluyla (3.38) bağıntısı ile gösterilir.

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} \quad (3.38)$$

İki parametrelili Weibull kümülatif dağılım fonksiyonu ise (3.39) bağıntısıyla ifade edilmektedir.

$$F(t) = 1 - \exp \left[- \left(\frac{T}{\eta} \right)^\beta \right] \quad (3.39)$$

Üç parametrelili Weibull dağılımı için olasılık yoğunluk fonksiyonu aşağıdaki şekilde (3.40) bağıntısıyla tanımlanmıştır.

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad (3.40)$$

Burada $f(t) \geq 0$, $t \geq 0$, $\beta \geq 0$, $\eta \geq 0$, $-\infty < \gamma < +\infty$ ve η = ölçek parametresi; β = şekil parametresi ; γ = yer parametresidir.

Üç parametrelili Weibull kümülatif dağılım fonksiyonu ise (3.41) bağıntısıyla, Weibull dağılımının ortalaması (3.42) bağıntısıyla ifade edilmektedir.

$$F(t) = 1 - \exp \left[- \left(\frac{x-a}{\eta} \right)^\beta \right] \quad (3.41)$$

$$\bar{T} = \eta \cdot \Gamma \left(\frac{1}{\beta} + 1 \right) \quad (3.42)$$

Weibull dağılımının medyanı (3.43), Weibull dağılımının modu (3.44), Weibull dağılımının standart sapması ise (3.45) bağıntıları ile tanımlanmaktadır.

$$\check{T} = \gamma + \eta (\ln 2)^{\frac{1}{\beta}} \quad (3.43)$$

$$\tilde{T} = \gamma + \eta \left(1 - \frac{1}{\beta} \right)^{\frac{1}{\beta}} \quad (3.44)$$

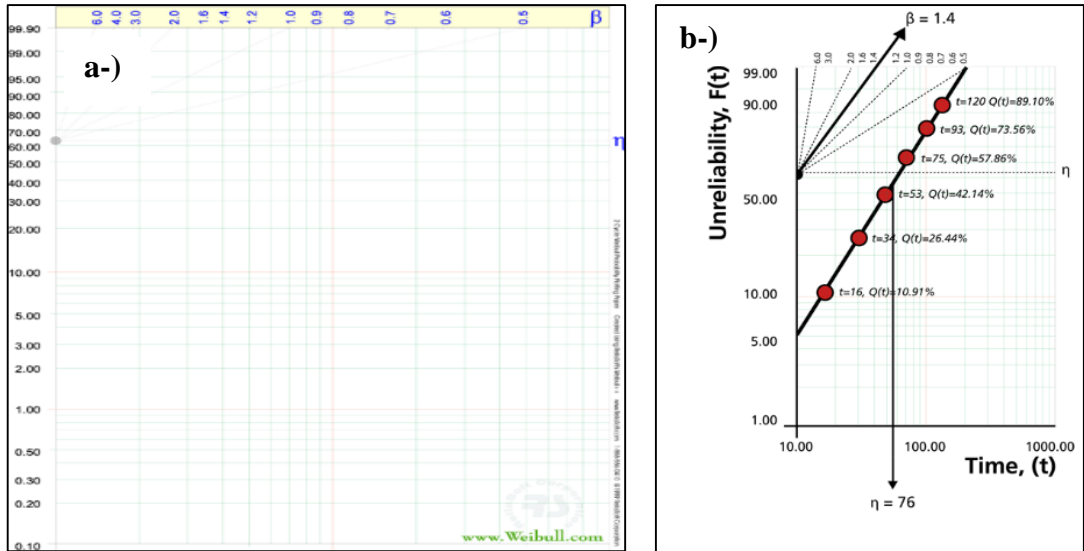
$$\sigma_T = \eta \cdot \sqrt{\Gamma \left(\frac{2}{\beta} + 1 \right) - \Gamma \left(\frac{2}{\beta} + 1 \right)^2} \quad (3.45)$$

3.2.1. Weibull Dağılımı Parametrelerini Hesaplama Yöntemleri

Weibull dağılımının uygulamada başarılı olması için, parametrelerinin hesaplanmasının iyi yapılmasına gerekmektedir. Weibull dağılımının parametrelerinin hesaplanması için birçok yöntem ortaya atılmıştır (Elitok, 2006). Bunlardan bazıları ve en çok kullanılan yöntemler Grafik yöntem, En Küçük Kareler yöntemi, Maksimum Benzerlik yöntemi ve Moment tahmini yöntemleridir (Zeytinoğlu, 2009).

3.2.1.1. Grafik Yöntem

Örnek olarak alınan verilerin iki parametrelili Weibull dağılımına uyumunun grafiksel olarak hesaplanmasına yarayan bir yöntemdir. Grafik yöntemde geleneksel olarak Weibull olasılık yoğunluk fonksiyonuna özgü özel olarak hazırlanmış olasılık kâğıtlarından yararlanılmaktadır. Her örnek noktası için birikimli olasılıklar hesaplanarak bu özel kâğıtlara işlenir ve Weibull dağılımı parametrelerin tahmini yapılır. Özel olarak hazırlanmış olasılık hesaplama kâğıtlarının (Şekil 3.4) yatay eksenini verilerin doğal logaritmik değerleri, dikey eksenini ise verilerin birikimli Weibull olasılıklarını ifade etmektedir.



Şekil 3. 4. a-) Weibull parametreleri hesaplamak için hazırlanmış özel olasılık kağıdı, b-) Grafik yöntem için uygulama örneği (URL-2)

Grafik yönteminde öncelikle veriler küçükten büyüğe doğru sıralanarak başlar ve her bir gözlem değeri için sıra medyanı değeri hesaplanır. Sıra medyan değerlerinin hesaplanmasında yaygın olarak aşağıdaki eşitlikler kullanılmaktadır.

$$\check{F}(X_i) = \frac{(i - 0.5)}{n} \quad (3.46)$$

$$\check{F}(X_i) = \frac{(i - 0.3)}{(n + 0.4)} \quad (3.47)$$

$$\check{F}(X_i) = \frac{i}{(n + 1)} \quad (3.48)$$

Yapılan araştırmalara göre en doğru sonucu üreten ve en yaygın olarak Bernard eşitliği (3.46) kullanılmaktadır (Bernard ve Bosi-Levenbach,1953) . Burada i , veri sıra sayısı, n ise toplam veri sayısını ifade etmektedir. Verilerin sıra meydan değerleri belirlendikten sonra, grafik üzerinde veri ve sıra medyan değerleri çizilir. Grafiğin yatay ekseninde zaman verileri, dikey ekseninde ise kümülatif yüzdeler gösterilmektedir. Sonraki adımda bu noktaları en iyi temsil edecek doğru elde edilmektedir. Bu doğrudan elde edilecek değer, biçim parametresinin tahmini değerini ifade etmektedir. Daha sonra yatay eksene paralel çizilen doğrunun üzerinde yer alan değerden dikey bir doğru çizildiğinde, doğrunun yatay eksenini kestiği nokta ise ölçek parametresinin değerini ifade etmektedir. Parametreler hesaplandıktan sonra, Weibull fonksiyonları yardımıyla, belli zaman değerleri için tahmin yapılabilmektedir.

3.2.1.2. En Küçük Kareler Yöntemi

İki parametrelili Weibull kümülatif dağılım fonksiyonunu ifade eden (3.39) bağıntısının her iki tarafının iki kere doğal logaritması alınarak (3.49) ve (3.50) bağıntıları elde edilir.

$$\ln[1 - F(T)] = -\left(\frac{T}{\eta}\right)^\beta \quad (3.49)$$

$$\ln\{-\ln[1 - F(T)]\} = -\beta \ln(\eta) + \beta \ln(T) \quad (3.50)$$

(3.51), (3.52) ve (3.53) bağıntılarından yararlanarak $y = ax + b$ şeklinde bir doğru denklemi elde edilir.

$$y = \ln\{-\ln[1 - F(T)]\} \quad (3.51)$$

$$a = -\beta \ln(\eta) \quad (3.52)$$

$$b = \beta \quad (3.53)$$

Üç parametrelili Weibull dağılımında ise bir eğri oluşturulur. Daha sonra bağıntılar şu şekilde düzenlenir;

$$\hat{a} = \frac{\sum_{i=1}^N y_i}{N} - \hat{b} \frac{\sum_{i=1}^N X_i}{N} = \bar{y} - \hat{b}\hat{x} \quad (3.54)$$

$$\hat{b} = \frac{\sum_{i=1}^N x_i y_i - \frac{\sum_{i=1}^N x_i \sum_{i=1}^N y_i}{N}}{\sum_{i=1}^N X_i^2 - \frac{(\sum_{i=1}^N x_i)^2}{N}} \quad (3.55)$$

$$y_i = \ln\{-\ln[1 - F(t_i)]\} \quad (3.56)$$

$$x_i = \ln(t_i) \quad (3.57)$$

\hat{a} ve \hat{b} değerleri bulunduktan sonra, $\hat{\beta}$ ve $\hat{\eta}$ değerleri yukarıdaki bağıntılar yardımıyla hesaplanmaktadır. Aşağıda Weibull biçim parametresi ($\hat{\beta}$) ve ölçek parametresinin ($\hat{\eta}$) en küçük kareler yöntemiyle hesaplanmasını anlatmak için bir örnek verilmiştir.

Örnek 3.6. Makine Arıza Örneği

Belirli zamanlarda arıza veren bir makinenin arıza raporları Tablo 3.1'de gösterilmektedir. Bu arıza zamanlarına göre En Küçük Kareler yöntemi yardımıyla Weibull biçim $\hat{\beta}$ ve ölçek $\hat{\eta}$ parametrelerinin nasıl hesaplanacağı anlatılmaktadır.

Tablo 3. 1. Makine arıza raporları

Makine Arıza Zamanları	Arıza Rapor No
16	1
34	2
53	3
75	4
93	5
120	6

Tablo 3.1'deki değerlerden (3.47) bağıntısı yardımıyla medyan değerleri hesaplanmıştır. Daha sonra En küçük Kareler yöntemi için gerekli olan hesaplamalar yapılmış ve bulunan değerler Tablo 3.2'de detaylı olarak verilmiştir.

Tablo 3. 2. En küçük Kareler yöntemi için gerekli olan hesaplamalar.

En Küçük Kareler Yöntemi							
N	T_i	$\ln(T_i)$	$F(T_i)$	y_i	$(\ln T_i)^2$	y_i^2	$(\ln T_i)y_i$
1	16	2.7726	0.1091	-2.1583	7.6873	4.6582	-5.9840
2	34	3.5264	0.2645	-1.1802	12.4352	1.393	-4.1620
3	53	3.9703	0.4214	-0.6030	15.7632	0.3637	-2.3943
4	75	4.3175	0.5786	-0.146	18.6407	0.0213	-0.6303
5	93	4.5326	0.7355	0.2851	20.5445	0.0813	1.2923
6	120	4.7875	0.8909	0.7955	22.9201	0.6328	3.8083
Σ		23.9068		-3.007	97.9909	7.1502	-8.0699

Tablo 3.2'deki değerler (3.54) ve (3.55) bağıntılarında kullanılarak aşağıda gösterildiği gibi Weibull biçim $\hat{\beta}$ ve ölçek $\hat{\eta}$ parametreleri hesaplanır.

$$\hat{b} = \frac{\sum_{i=1}^6 (\ln t_i) y_i - (\sum_{i=1}^6 (\ln t_i)) \frac{(\sum_{i=1}^6 y_i)}{6}}{\sum_{i=1}^6 (\ln t_i)^2 - \frac{(\sum_{i=1}^6 (\ln t_i))^2}{6}} \quad (3.58)$$

$$\hat{b} = \frac{-8.0699 - (23.9068) - (-3.0070)/6}{97.9909 - (23.9068)^2/6} \quad (3.59)$$

$$\hat{b} = 1.4301 \quad (3.60)$$

$$\hat{a} = \bar{y} - \hat{b} \bar{T} = \frac{\sum_{i=1}^N y_i}{N} - \hat{b} \frac{\sum_{i=1}^N \ln t_i}{N} \quad (3.61)$$

$$\hat{a} = \frac{-3.0070}{6} - (1.4301) \frac{23.9068}{6} = -6.19935 \quad (3.62)$$

$$\hat{\beta} = \hat{b} = 1.4301 \quad (3.63)$$

$$\hat{\eta} = e^{-\frac{\hat{a}}{\hat{b}}} = e^{-\frac{-(-6.19935)}{1.4301}} \quad (3.64)$$

$$\hat{\eta} = 76.318 \text{ saat} \quad (3.65)$$

3.3. Poisson Dağılım Modeli

Poisson dağılım modeli, incelenmek istenen zaman periyodunda meydana gelmiş olan olaylarda açıklayıcı değişkenlerdeki problemlerde uygulanan bir yöntemdir. Model; süreksiz ve negatif olmayan, sayılabilir verileri içermelerinden dolayı, beklenen sayıların logaritmasının açıklayıcı değişkenlerin doğrusal bir fonksiyonu olduğu varsayımına dayanarak ifade edilir.

Poisson dağılım modeli; sayılabilir verilerin ortalamasını içeren çarpıma dayalı modellerde, açıklayıcı değişkenler arasında şartlı veya marjinal bir bağımlılık olduğu zamanlarda esnek bir model olmasından dolayı bir çok araştırmacı tarafından tercih edilen bir uygulama yöntemidir (Lloyd, 1999).

Poisson dağılım modeli, genelleştirilmiş doğrusal bir model olarak tanımlanmaktadır. Bağımlı değişkenin oluş sayısı ile belirtilen bir veri olduğunda, yani belirli bir zaman ya da bir yerde olan olayların sayısı hesaplanmasında Poisson modeli kullanılmaktadır. Buradan k_i olayların meydana gelme sayısının Poisson dağılımın parametresi λ_i ilişkilendirildiği

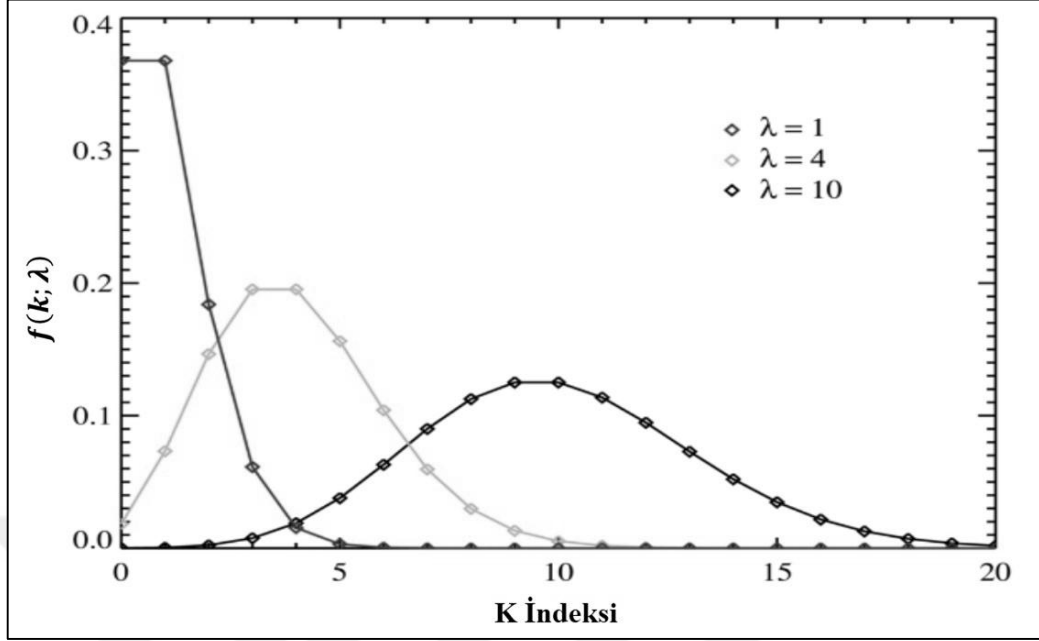
$$k_i \sim \text{Poisson}(\lambda_i) \quad i = 1, 2, \dots, \dots, N \quad (3.66)$$

varsayılmakta ve açıklayıcı değişkenlerin bir vektörü ile ortalama μ_i arasında bir ilişki kurulmaya çalışılmaktadır. Buradaki amaç, Poisson dağılım modelinin şeklini ve modelin çeşitli özelliklerini tanıtmaktır.

Poisson dağılım modelinde, bağımlı değişken y 'nin Poisson dağılımı gösterdiğini varsaymaktadır. λ parametresi ile Poisson olasılık dağılımı aşağıdaki bağıntıda tanımlanmaktadır.

$$f(k; \lambda) = \frac{\lambda^k e^{-\lambda}}{k!}, \quad k = 0, 1, \dots, \dots, \infty \quad (3.67)$$

Bu bağıntıda, k_i istenen olayların meydana gelme sayısıdır. Poisson dağılımı tek parametrelili bir dağılım olarak bilinmektedir ve dağılımın parametresi λ_i 'dir. Farklı λ değerleri için Poisson olasılık kütle fonksiyonu Şekil 3.5'te verilmiştir.



Şekil 3. 5. Farklı λ değerleri için Poisson olasılık kütle fonksiyonu (URL-3).

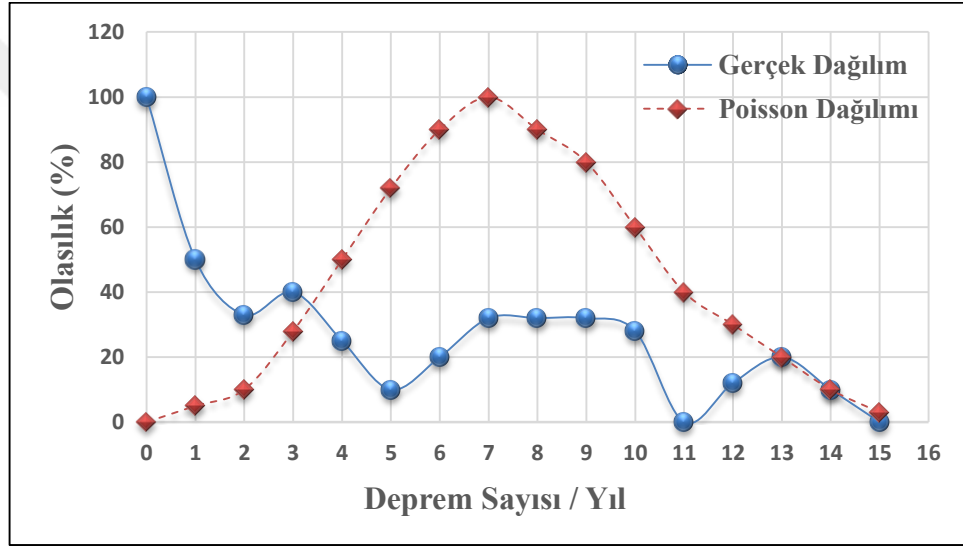
Teorik olarak, bir Poisson rastlantısal değişkeni herhangi bir negatif olmayan tamsayı değeri alabilmektedir. Olasılıkların, μ değerinin bir fonksiyonu olarak değiştiği gözlemlenmiştir. Poisson dağılımı çoğunlukla nadir olayların oluş sayısını modellemek için kullanılan bir yöntemdir. Örnek olarak bir toplum içindeki kesin bir zaman aralığında belirlenen bir hastalığa yakalanan insanların sayısının hesaplanmasında veya her yıl belirli bir yerde olan trafik kazalarının sayısını hesaplanmak için kullanılabilir.

Gelecekteki depremlerin konum, büyüklük ve oluş zamanlarında belirsizlikler mevcuttur. Deprem oluşumlarını modellemede kullanılan stokastik modeller bu belirsizliği yansıtır. Deprem tehlikesi hesaplarında kullanılan deprem oluşum modelleri: probabilistik (hafızalı veya hafızasız), deterministik ve prediktif olma üzere üç grupta toplanabilir. En yaygın olarak kullanılan deprem oluşum modeli Poisson dağılım modelidir.

Bu modelde deprem oluşumunun bir Poisson süreci olduğu ve M_i magnitüdlerinin birbirinden bağımsız ve eşit olarak dağıldığı varsayılır. Bu varsayımlar altında, δt zaman aralığında magnitüdü M 'den büyük N depremin meydana gelmesi olasılığı (3.68) bağıntısı ile tanımlanmaktadır. Burada λ , birim zamandaki deprem sayısıdır.

$$P(N; \delta t) = \frac{\lambda t^N e^{-\lambda \delta t}}{N!}, \quad (3.68)$$

Gerçek dağılım maksimum değeri çevresinde Poisson dağılımının altında uzanmakta ve eğrinin uç kısımlarında ise onu kesmektedir. Bundan dolayı, gerçek dağılımın Poisson dağılımından saptması veya her iki dağılım arasındaki farklılık ortalama değer çevresinde pozitif ve her iki uca negatif olmaktadır. Böylece, bir deprem olduğunda başka depremlerin olma olasılığı artmakta veya bazı bilinmeyen nedenlerle depremlerin bir grup veya deprem fırtınası şeklinde olma olasılıkları ortaya çıkmaktadır.



Şekil 3. 6. Depremlerin gerçek ve Poisson dağılım grafiği (Sayıl, 2015)

Poisson dağılım modelinde yığımsal frekans dağılımı; yani δt zaman aralığında N veya daha az deprem bulunması olasılığı (3.69) bağıntısı ile ifade edilir;

$$F(n; \delta t) = \sum_{k=0}^N \frac{(\lambda \delta t)^k}{k!} e^{-\lambda \delta t} \quad (3.69)$$

Poisson sürecinde deprem oluşları arasındaki zamanlar negatif üssel dağılım gösterirler:

$$P(t) = -\lambda e^{-\lambda t} dt \quad (3.70)$$

P parametresi, iki deprem arasındaki verilen bir zaman aralığının, $(t, t + dt)$ zaman aralığı içerisine düşme olasılığıdır. Buna karşılık gelen yığınsal dağılım fonksiyonu (3.71) bağıntısı ile tanımlanmaktadır. $F(t)$, iki deprem arasındaki verilen bir zaman aralığının t veya daha az olma olasılığıdır.

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda t} \quad (3.71)$$

Poisson dağılım modeline göre bir sonraki depremin oluşması için geçen birikme zamanının dağılımı, bir önceki depremin oluşundan itibaren geçen zamandan etkilenmez ve istatistik çalışmalar Poisson modelinin magnitudü büyük depremler için geçerli olduğunu göstermektedir.

3.3.1. Magnitud – Frekans İlişkisi

Magnitudün bir fonksiyonu olarak depremlerin oluş frekanslarını belirlemekte yaygın olarak Gutenberg ve Richter (1954) tarafından geliştirilen (3.72) bağıntısı kullanılmaktadır.

$$\text{Log } N(M) = a - bM \quad (3.72)$$

Burada $N(M)$ kümülatif frekansları, M magnitudü ifade etmektedir. Gutenberg ve Richter (1954) tarafından geliştirilen bağıntı her magnitud aralığı için lineer özellik göstermemektedir. Bundan dolayı $\text{Log } N(M)$ 'nin hangi magnitud (M_1, M_2) aralığında lineer özellik gösterdiğinin bilinmesi gerekmektedir.

Bağıntıda ifade edilen a ve b parametrelerinin hesaplanmasında genel olarak En Küçük Kareler yöntemi kullanılmaktadır. Bu yonteme göre a ve b parametreleri (3.73) ve (3.74) bağıntıları yardımıyla hesaplanır.

$$\sum_{i=1}^n \text{Log } N_i = an - b \sum_{i=1}^n M_i \quad (3.73)$$

$$\sum_{i=1}^n M_i \cdot \text{Log } N_i = a \sum_{i=1}^n M_i - b \sum_{i=1}^n M_i^2 \quad (3.74)$$

Burada n grup sayılarını ifade etmektedir. Normal ve kümülatif frekans değerlerinden (3.75) bağıntısı elde edilir. Magnitüd ve frekans arasındaki ilişkinin belirli bir T_1 zaman periyoduna bölünmesinden (3.76) bağıntısı oluşturulur. Bu bağıntının her iki tarafının logaritması alınarak (3.77) ve (3.78) bağıntıları elde edilir (Sayıl ve Osmanşahin, 2008).

$$a' = a - \text{Log}(b \ln 10) \quad (3.75)$$

$$\frac{N(M)}{T_1} = \frac{10^{a-bM}}{T_1} \quad (3.76)$$

$$\text{Log}(N(M)T_1) = a - bM - \text{Log}T_1 \quad (3.77)$$

$$N(M > M_1) = 10^{a-bM-\text{Log}T_1} \quad (3.78)$$

$$a'_1 = a' - \text{Log}T_1 \quad (3.79)$$

$$n(M) = 10^{10^{a'_1-bM}} \quad (3.80)$$

(3.78) bağıntısında gerekli düzenlemeler yapılarak (3.79) ve (3.80) bağıntıları oluşturulur. Elde edilen (3.80) bağıntısı belirli bir dönem içinde verilen bir M magnitüdüne eşit veya büyük olan depremlerin yıllık ortalama oluş sayılarını ifade etmek için kullanılır.

Bir bölgedeki T_1 zaman periyodunda herhangi bir M magnitüde sahip bir depremin oluşturacağı sismik riski belirlemek için (3.81) bağıntısı kullanılmaktadır. O bölgedeki meydana gelecek depremlerin tekrarlanma periyotları ise (3.82) bağıntısı ile hesaplanmaktadır (Tabban ve Gencoğlu, 1975).

$$R(M) = 1 - e^{-n(M)T} \quad (3.81)$$

$$Q = \frac{1}{n(M)} \quad (3.82)$$

3.4. Üstel Dağılım Modeli

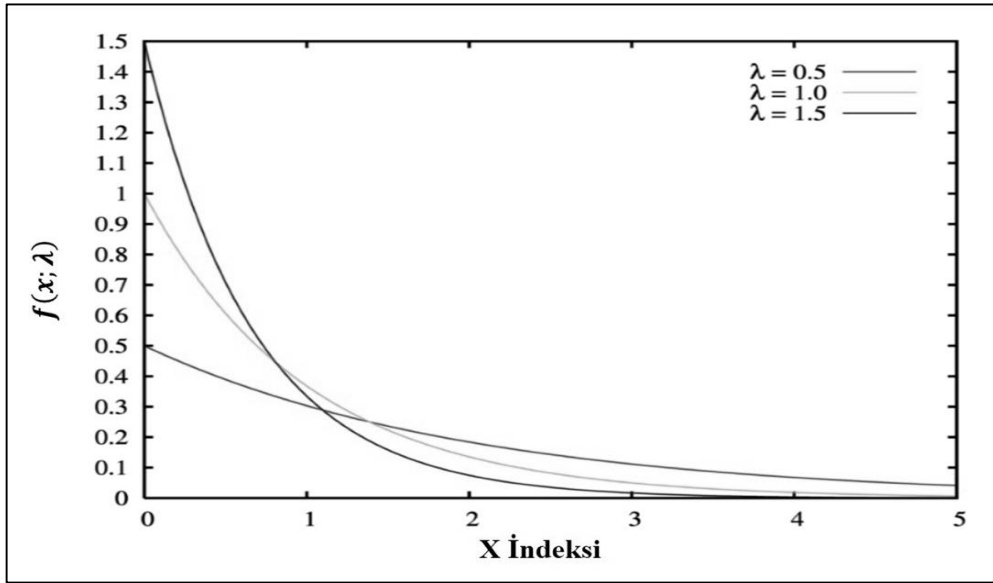
$X > 0$ olmak üzere sürekli bir rastgele değişken olsun. Eğer $\lambda > 0$ için X rassal değişkeni aşağıdaki gibi bir dağılıma sahip olursa, X rastgele değişkenine üstel dağılmış rassal değişken ve $f(x)$ fonksiyonuna da Üstel dağılım denir.

$$f(x; \lambda) = \begin{cases} \lambda e^{-\lambda x}, & x \geq 0, \\ 0 & , x < 0. \end{cases} \quad (3.83)$$

Burada $\lambda > 0$ dağılım için tek parametre olarak ifade edilir ve oran parametresi olarak adlandırılmaktadır. Eğer X rassal değişkeni bu Üstel dağılımı tanımlarsa (3.84) bağıntısı ile ifade edilir (URL-4).

$$X \sim \text{Üstel}(\lambda) \quad (3.84)$$

Farklı λ değerleri için Üstel dağılım olasılık yoğun fonksiyonu grafiği Şekil 3.7'de ayrıntılı olarak verilmiştir.



Şekil 3. 7. Farklı λ değerleri için Üstel dağılım olasılık yoğun fonksiyonu (URL-5)

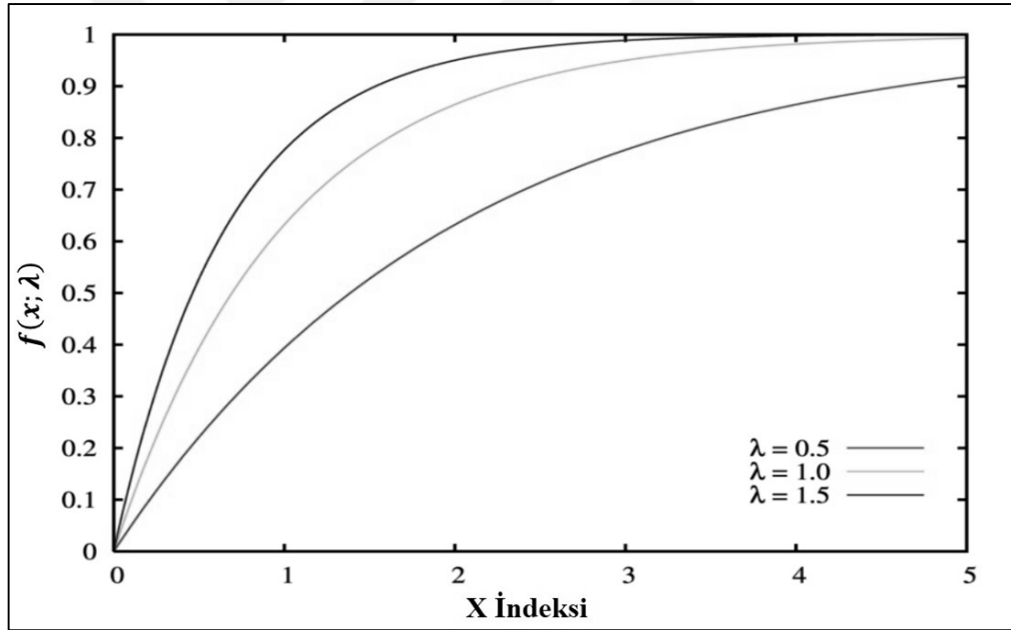
Farklı parametreler için Üstel dağılım olasılık yoğunluk fonksiyonu şöyle tanımlanır;

$$f(x; \beta) = \begin{cases} \frac{1}{\beta} e^{-x/\beta} , & x \geq 0 \\ 0 , & x < 0 \end{cases} \quad (3.85)$$

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

$$F(x; \lambda) = \begin{cases} 1 - e^{-\lambda x} , & x \geq 0 \\ 0 , & x < 0 \end{cases} \quad (3.86)$$

Farklı λ değerleri için Üstel birikimli dağılım fonksiyonu ise Şekil 3.8'de ayrıntılı olarak verilmiştir.



Şekil 3. 8. Farklı λ değerleri için Üstel birikimli dağılım fonksiyonu (URL-5).

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.

$$f_m(x) = \lambda e^{-\lambda(x-\theta)} \quad \lambda > 0 \quad \theta \leq X < +\infty \quad (3.87)$$

Üstel yoğunluk dağılım fonksiyonundaki λ parametresinin değeri (3.88) bağıntısı ile tanımlanmaktadır:

$$\lambda = (\bar{x} - \theta)^{-1} \quad (3.88)$$

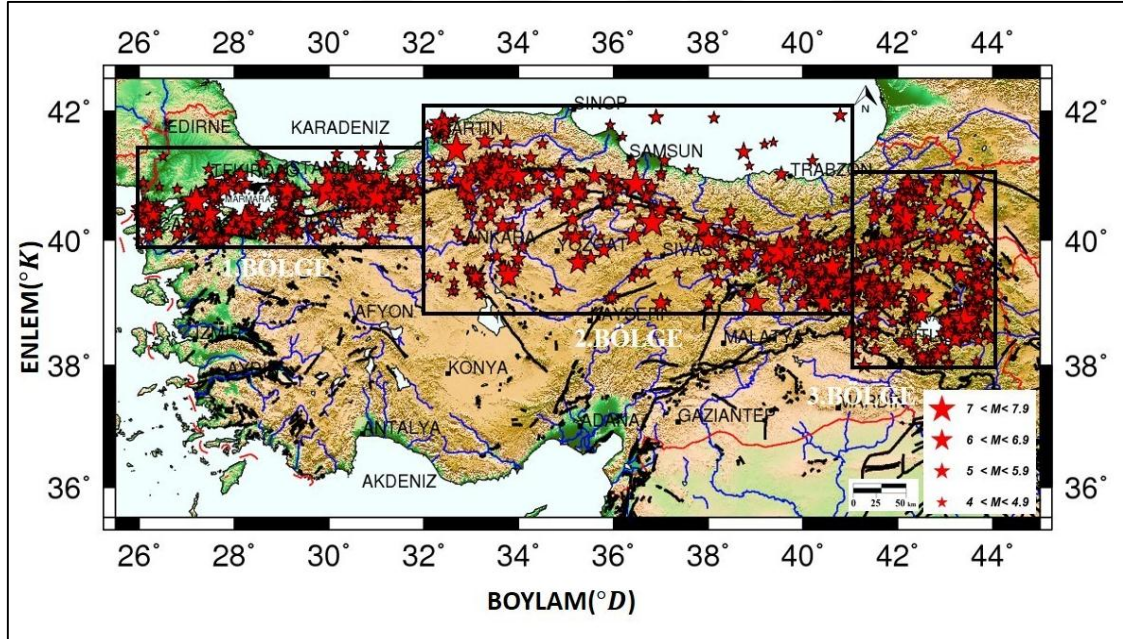
Burada \bar{x} ; birçok deprem verisinden elde edilen ortalama magnitüd ve θ ; en küçük magnitüd değerini göstermektedir. Üstel olasılık yoğunluk fonksiyonunun kullanılmasıyla X rastgele değişkeninin dağılım fonksiyonu aşağıdaki gibi ifade edilir (Sayıl, 2015).

$$F_M(x) = \int_{\theta}^x \lambda e^{-\lambda(U-\theta)} dU = 1 - e^{-\lambda(x-\theta)} \quad \theta \leq X < +\infty \quad (3.89)$$

4.YAPILAN ÇALIŞMALAR

4.1. İnceleme Alanının Belirlenmesi ve Verilerin Özellikleri

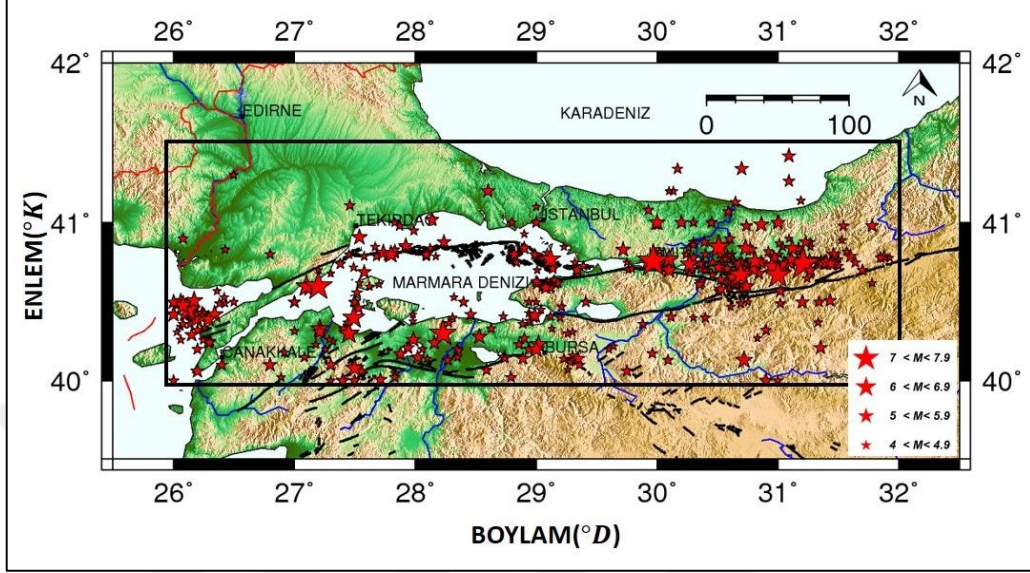
Tez kapsamında uygulanacak farklı istatistiksel yöntemler için 3 farklı bölge inceleme alanı olarak seçilmiştir. Bu bölgeler oluşturulurken depremsellik, episantr dağılımı, faylanma tipi ve jeomorfolojik değişimler göz önüne alınmıştır. Bu bölgelerden 2 tanesi Türkiye'nin en aktif fay zonu olan Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) üzerinde seçilmiştir. KAFZ uzun olması ve jeolojik yapısında değişimler göstermesinden dolayı 2 bölgeye ayrılmıştır. Seçilen 3. bölge ise Van gölü ve civarını içerecek şekilde belirlenmiştir. İnceleme alanında 1900 – 2015 yılları arasında meydana gelen $M_s \geq 4.0$ olan depremler kullanılmıştır. Kullanılan depremler ve seçilen bölgeleri gösteren harita Şekil 4.1'de GMT (Generic Mapping Tool) programı yardımıyla oluşturulmuştur(Wessel ve diğ., 1995,1998)



Şekil 4. 1. $M_s \geq 4.0$ depremleri (★) içeren inceleme alanında oluşturulan bölgeler dikdörtgenlerle gösterilmiştir

1.bölge olarak seçilen Marmara bölgesi depremselliğin yanı sıra nüfus yoğunluğu ve sanayileşmenin yüksek olduğu bir bölgedir. Bölgenin genel özellikleri ve depremselliği Bölüm 2'de detaylı olarak açıklanmıştır. $40.0^\circ - 41.5^\circ$ K enlemleri ile $26.0^\circ - 32.0^\circ$ D

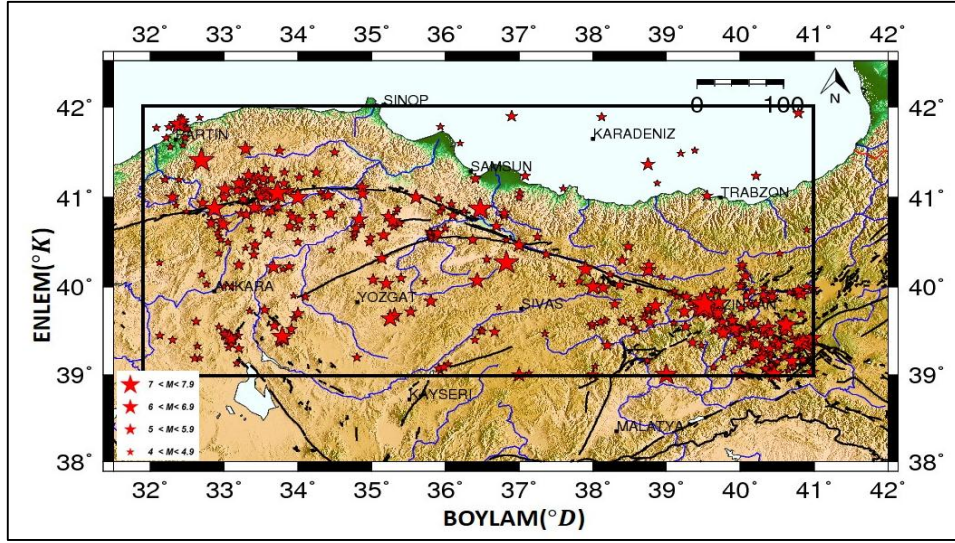
boylamları arasında yer alan bölgedeki depremlerin episantr dağılımları Şekil 4.2’de detaylı olarak haritalanmıştır.



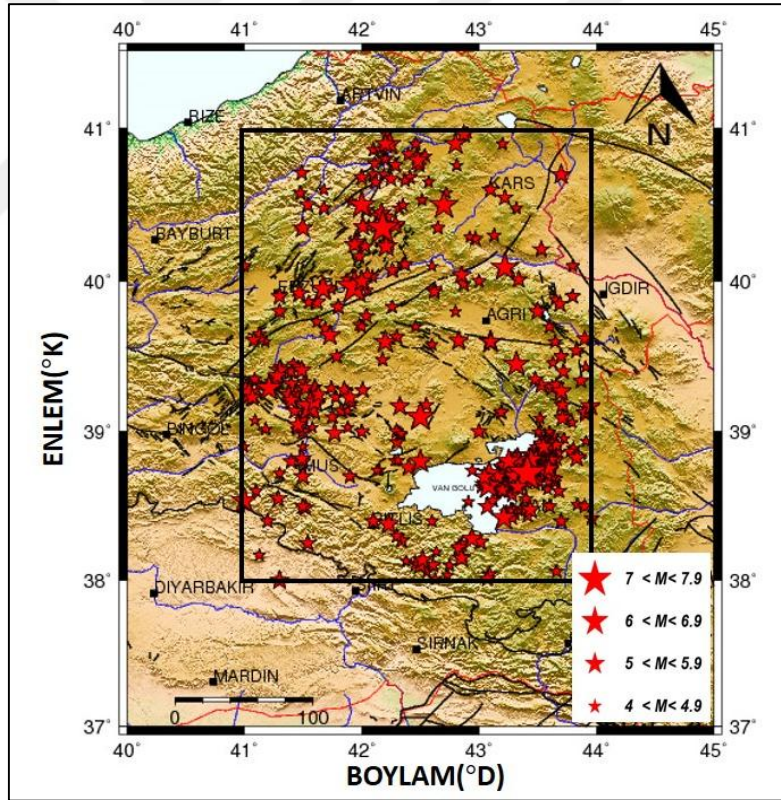
Şekil 4. 2. 1. bölgede $M_s \geq 4.0$ olan depremlerin episantr dağılımları

2.bölge olarak öncelikli olarak depremsellik göz önünde tutularak. Türkiye'nin başkenti Ankara'yı ve bu civardaki nüfus yoğunluğu dikkate alınarak KAFZ boyunca batıda Bolu ili civarlarından başlayarak doğuda Bingöl ili Karlıova ilçesi dolaylarına kadar uzanan alan seçilmiştir. Bölgeyle ilgili temel özellikler, sismotektoniği ve depremselliğine Bölüm 2’de detaylı olarak değinilmiştir. $39.0^\circ - 42.0^\circ K$ enlemleri ile $32.0^\circ - 41.0^\circ D$ boylamları arasında yer alan bölgedeki depremlerin episantr dağılımları Şekil 4.3’de detaylı olarak haritalanmıştır.

3. bölge olarak büyük depremlerin meydana geldiği ve gelecekte deprem tehlikesi içeren Van gölü ve civarını içeren bölge seçilmiştir. Bölgeyle ilgili temel özellikler Bölüm 2’de verilmiştir. $38.0^\circ - 41.0^\circ K$ enlemleri ile $41.0^\circ - 44.0^\circ D$ boylamları arasında yer alan bölgedeki depremlerin episantr dağılımları Şekil 4.4’de detaylı olarak haritalanmıştır.



Şekil 4. 3. 2. bölgede $M_s \geq 4.0$ olan depremlerin episantır dağılımları



Şekil 4. 4. 3. bölgede $M_s \geq 4.0$ depremlerin episantır dağılımları

4.1.1. Kullanılan Depremlerin Magnitüdlerinin Homojen Hale Getirilmesi

Oluşturulan deprem kataloglarının içerdiği depremler Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü Bölgesel Deprem-Tsunami izleme ve değerlendirme merkezinin işlettiği deprem istasyonlarından alınmıştır (URL-6). Alınan veriler Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü çalışanları tarafından çeşitli magnitüd büyüklükleri için hesaplanmıştır. Bu tez kapsamında literatür de istatistiksel çalışmalarda tercih edilen yüzey dalgası magnitüdü (M_s) kullanılmıştır. Bundan dolayı kullanılan deprem verilerinin magnitüdüleri homojen bir hale getirmek için magnitüd dönüşümleri yapılmıştır. Bu dönüşümler yapılırken Aydın (2016) tarafından Türkiye’de oluşmuş tüm aletsel dönem verilerinden hesaplanan ve aşağıda gösterilen dönüşüm bağıntıları kullanılmıştır.

$$M_s = 1.32(\pm 0.01)m_b - 1.59(\pm 0.05) \quad (4.1)$$

$$M_s = 1.26(\pm 0.003)M_d - 1.28(\pm 0.014) \quad (4.2)$$

$$M_s = 1.26(\pm 0.008)M_L - 1.22(\pm 0.036) \quad (4.3)$$

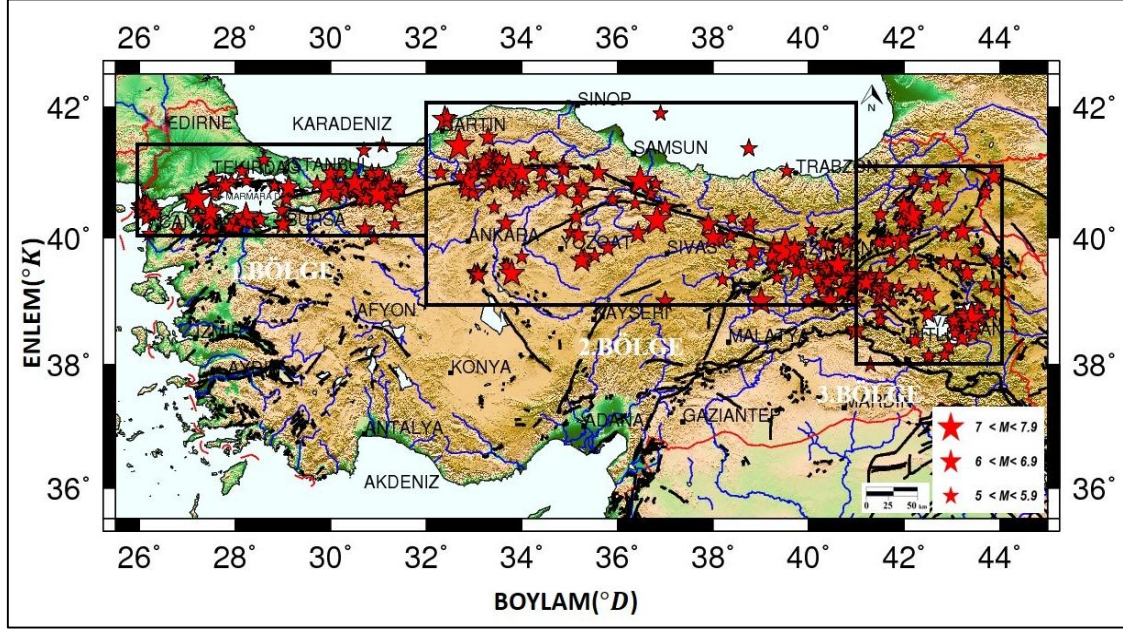
$$M_s = 1.21(\pm 0.006)M_W - 1.27(\pm 0.029) \quad (4.4)$$

4.2. Markov Modelin Uygulanması

Markov model ile ilgili genel özellikleri ve uygulama örnekleri ‘Yöntem’ kısmında detaylı olarak verilmiştir. Bu tez kapsamında oluşturulan 3 bölgede Markov model, hem bölgeler arasında meydana gelen depremlere göre hem de bölgelerde meydana gelmiş deprem büyüklüklerine göre iki farklı olasılık hesaplaması için kullanılmıştır. Markov modele göre meydana gelecek olayların kendinden bir önce meydana gelmiş olaylara bağlı olduğu varsayıldığından bunlar olaylar arası geçiş olarak adlandırılır. Bundan dolayı Markov model, 3 bölge arasındaki deprem geçişleri için ve bölgelerde meydana gelmiş depremlerin magnitüdüleri arasındaki geçişleri için kullanılmıştır. Aşağıda iki şekilde yapılan uygulama detaylı olarak açıklanmıştır.

4.2.1. Bölgeler Arası Deprem Geçişleri İçin Markov Modelin Uygulaması

Markov modelin uygulanması için oluşturulan bölgeler ve kullanılan deprem verilerinin ($M_s \geq 5.0$) bölgelere göre dağılımı haritası Şekil 4.5'de gösterilmiştir.



Şekil 4. 5. Oluşturan tüm bölgelere göre $M_s \geq 5.0$ olan depremlerin episantr dağılımları

Magnitüdüleri homojen hale getirilmiş her bölgeye ait depremler oluş tarihlerine göre $\Delta t = 1$ yıl aralıklarla sıralanmıştır. Sıralanan depremler Markov Zincir model ve Semi-Markov modelle değerlendirilmiştir.

4.2.1.1. Bölgeler Arası Deprem Geçişlerin Markov Zincir Modeline Göre Değerlendirilmesi

İnceleme alanı olarak seçilen 3 bölge için $\Delta t = 1$ yıllık aralıklarla deprem olma ve deprem olmama koşullarına göre öncelikle $2^3=8$ durum oluşturulmuştur. Bu durumlarda '0' deprem olmamasını ve '1' deprem olmasını ifade etmektedir. Oluşturulan 8 durum için bölgelerde deprem olma ve olmama koşulları Tablo 4.1'de verilmiştir.

Tablo 4. 1. Bölgelere göre oluşturulan deprem olma ve olmama durumları (0; deprem olmama. 1; deprem olma)

DURUMLAR	1.BÖLGE	2.BÖLGE	3.BÖLGE
0	0	0	0
1	1	0	0
2	0	1	0
3	0	0	1
4	1	1	0
5	1	0	1
6	0	1	1
7	1	1	1

Her bölge için $\Delta t = 1$ yıl aralıklarla durumlara göre meydana gelen depremlerin ($M_s \geq 5.0$) sayıları hesaplanmıştır. Elde edilen deprem sayılarını içeren veriler Tablo 4.2’de verilmiştir.

Tablo 4. 2. Bölgelerde $\Delta t = 1$ yıl aralıklarla durumlara göre $M_s \geq 5.0$ olan deprem frekansları (sayıları)

DURUMLAR	0	1	2	3	4	5	6	7
0	8	3	2	5	2	1	0	0
1	1	0	2	3	0	0	1	1
2	5	3	10	2	3	2	2	0
3	2	0	6	3	2	1	1	3
4	1	1	1	1	2	1	1	3
5	1	0	3	1	1	0	0	1
6	2	1	3	1	0	1	1	1
7	1	0	1	1	1	1	4	1

Hesaplanan deprem frekanslarından geçiş matrisi olan P . durumlar arasındaki geçiş olasılıkları ile birlikte (4.5) bağıntısında tanımlanmıştır.

$$P = \begin{bmatrix} 0.38 & 0.14 & 0.10 & 0.24 & 0.10 & 0.05 & 0 & 0 \\ 0.13 & 0 & 0.25 & 0.38 & 0 & 0 & 0.13 & 0.13 \\ 0.19 & 0.11 & 0.37 & 0.07 & 0.11 & 0.07 & 0.07 & 0 \\ 0.11 & 0 & 0.33 & 0.17 & 0.11 & 0.06 & 0.06 & 0.17 \\ 0.09 & 0.09 & 0.09 & 0.09 & 0.18 & 0.09 & 0.09 & 0.27 \\ 0.14 & 0 & 0.43 & 0.14 & 0.14 & 0 & 0 & 0.14 \\ 0.20 & 0.10 & 0.30 & 0.10 & 0 & 0.10 & 0.10 & 0.10 \\ 0.10 & 0 & 0.10 & 0.10 & 0.10 & 0.10 & 0.40 & 0.10 \end{bmatrix} \quad (4.5)$$

Bir adım geçiş matrisi olan P incelendiğinde, yutucu ve kapalı küme oluşturan durumlar yoktur. Bu nedenle Markov zincirinin bir limit dağılımı olduğu söylenebilir. Markov zincirinin gelecek dönemde göstereceği limit durumunu elde etmek için başlangıç dağılımı (4.6) bağıntısı ile verilmektedir.

$$\pi_0 = [0.125 \ 0.125 \ 0.125 \ 0.125 \ 0.125 \ 0.125 \ 0.125 \ 0.125] \quad (4.6)$$

Son aşamada Bölüm 3.1.1.1 de anlatılan basit kola örneğindeki gibi sistemin gelecekteki durumu (4.7) bağıntısı ile tahmin edilmeye çalışılmıştır.

$$F_n = \pi_0 * P^n \quad n = 1, 2, \dots \quad (4.7)$$

Bölgelere göre gelecek 5 yıllık periyot içerisinde tahmin edilen değerler Tablo 4.3 verilmiştir.

Tablo 4. 3. Gelecek 5 yıllık periyot için durumlara göre geçiş olasılıkları

	0	1	2	3	4	5	6	7
F(1)	0.168	0.055	0.246	0.161	0.093	0.059	0.106	0.114
F(2)	0.185	0.069	0.252	0.144	0.098	0.066	0.099	0.090
F(3)	0.190	0.072	0.252	0.150	0.098	0.063	0.090	0.088
F(4)	0.190	0.072	0.251	0.151	0.098	0.063	0.089	0.088
F(5)	0.190	0.072	0.251	0.152	0.099	0.063	0.089	0.088

4.2.1.2. Bölgeler Arası Deprem Geçişlerin Semi-Markov Modeline Göre Değerlendirilmesi

Bölgeler arası deprem geçişleri ($M_s \geq 5.0$) aynı zamanda Semi-Markov modele göre değerlendirilmiş ve gelecek 5 yıllık periyot için deprem geçiş olasılıkları hesaplanmıştır. Modelin uygulanması için deprem verileri $\Delta t = 1$ yıl aralıklarla sıralanmıştır. Daha sonra bölgeler arasındaki geçişleri için 3×3 durum oluşturulmuş ve Tablo 4.4'te gösterilmiştir. Burada geçişlerin daha iyi ifade edilebilmesi için geçişler numaralandırılmıştır.

Tablo 4. 4. Bölgeler arası geçiş durumları

BÖLGELER	1	2	3
1	1-1	1-2	1-3
2	2-1	2-2	2-3
3	3-1	3-2	3-3

Tabloda gösterilen '1-1' durumu 1.bölgede meydana gelen deprem sonrası tekrar 1.bölgede deprem olmasını ifade etmektedir. Oluşturulan durumlara göre bölgelerarası deprem geçiş sayılarını gösteren frekans değerleri hesaplanmış ve Tablo 4.5 verilmiştir.

Tablo 4. 5. Durumlara göre meydana gelen deprem sayıları

BÖLGELER	1	2	3
1	20	29	14
2	28	27	25
3	17	28	21

Tabloda görülen '20' değeri 1.bölgede meydana gelen deprem sonrasında tekrar 1. bölgede olan 20 tane depremi ifade etmektedir. Elde edilen frekans değerlerinden P geçiş matrisi değerler hesaplanmış ve (4.8) bağıntısında verilmiştir.

$$P = \begin{bmatrix} 0.32 & 0.46 & 0.22 \\ 0.35 & 0.34 & 0.31 \\ 0.26 & 0.42 & 0.32 \end{bmatrix} \quad (4.8)$$

Diğer aşamada olayların zaman boyutunda durumları incelenerek i durumundan j durumuna geçen sistemin 5 yıllık periyot için T_{ij} matrisleri (3.27) bağıntısına göre

hesaplanmıştır. Belirlenen $T(n)$ frekans değerleri Tablo 4.6'da detaylı olarak verilmiştir. Frekans değerlerinden oluşturulan $T(n)$ olasılık matrisleri Tablo 4.7'de gösterilmiştir.

Tablo 4. 6. 5 yıllık periyot için hesaplanan $T(n)$ frekans değerleri (n . yıl)

T(1)				T(2)				T(3)				T(4)				T(5)			
	1	2	3		1	2	3		1	2	3		1	2	3		1	2	3
1	14	27	16	1	3	1	0	1	1	1	0	1	0	0	0	1	1	1	0
2	22	33	20	2	3	3	1	2	2	3	1	2	0	0	0	2	1	1	0
3	13	21	20	3	2	2	0	3	2	1	1	3	0	0	0	3	0	0	0

Tablo 4. 7. 5 yıllık periyot için oluşturulan T olasılık matrisleri

$T(1) = \begin{bmatrix} 0.74 & 0.90 & 1.00 \\ 0.79 & 0.83 & 0.91 \\ 0.76 & 0.88 & 0.95 \end{bmatrix}$	$T(2) = \begin{bmatrix} 0.16 & 0.03 & 0.00 \\ 0.11 & 0.08 & 0.05 \\ 0.12 & 0.08 & 0.00 \end{bmatrix}$
$T(3) = \begin{bmatrix} 0.05 & 0.03 & 0.00 \\ 0.07 & 0.08 & 0.05 \\ 0.12 & 0.04 & 0.05 \end{bmatrix}$	$T(4) = \begin{bmatrix} 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 \end{bmatrix}$
$T(5) = \begin{bmatrix} 0.05 & 0.03 & 0.00 \\ 0.04 & 0.03 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 \end{bmatrix}$	

Elde edilen T matrislerinden sonraki aşamada (3.29) bağıntısı yardımıyla çekirdek matrisleri C_{ij} oluşturulur. Çekirdek matrisler Tablo 4.8'de verilmiştir.

Tablo 4. 8. 5 yıllık periyot için oluşturulan çekirdek $c(n)$ matrisleri

$c(1) = \begin{bmatrix} 0.24 & 0.41 & 0.22 \\ 0.28 & 0.28 & 0.28 \\ 0.20 & 0.37 & 0.30 \end{bmatrix}$	$c(2) = \begin{bmatrix} 0.05 & 0.01 & 0.00 \\ 0.04 & 0.03 & 0.02 \\ 0.03 & 0.03 & 0.00 \end{bmatrix}$
$c(3) = \begin{bmatrix} 0.02 & 0.01 & 0.00 \\ 0.03 & 0.03 & 0.02 \\ 0.03 & 0.02 & 0.02 \end{bmatrix}$	$c(4) = \begin{bmatrix} 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 \end{bmatrix}$
$c(5) = \begin{bmatrix} 0.02 & 0.01 & 0.00 \\ 0.01 & 0.01 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 \end{bmatrix}$	

Çekirdek matrislerden faydalanılarak $W(m)$ bekleme zamanı matrisleri (3.30) bağıntısına göre oluşturulmuştur. Oluşturulan $W(m)$ detaylı olarak Tablo 4.9'da verilmiştir.

Tablo 4. 9. 5 yıllık periyot için oluşturulan $W(m)$ bekleme zamanı matrisleri

$W(1) = \begin{bmatrix} 0.12 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.17 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.13 \end{bmatrix}$	$W(2) = \begin{bmatrix} 0.06 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.09 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.07 \end{bmatrix}$
$W(3) = \begin{bmatrix} 0.03 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.02 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 \end{bmatrix}$	$W(4) = \begin{bmatrix} 0.03 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.02 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 \end{bmatrix}$
$W(5) = \begin{bmatrix} 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 \end{bmatrix}$	

Son aşamada elde edilen matrislerden $F(n)$ aralık geçiş olasılıkları (3.32) bağıntısı yardımlarıyla elde edilir ve deprem olasılıkları tahmin edilmeye çalışılır. Elde edilen 5 yıllık periyot içerisindeki deprem olasılıkları Tablo 4.10'da verilmiştir.

Tablo 4. 10. 5 yıllık periyot için oluşturulan aralık geçiş olasılıkları $F(n)$ matrisleri

$F(1) = \begin{bmatrix} 0.355 & 0.414 & 0.222 \\ 0.276 & 0.450 & 0.284 \\ 0.195 & 0.373 & 0.432 \end{bmatrix}$	$F(2) = \begin{bmatrix} 0.352 & 0.380 & 0.266 \\ 0.270 & 0.464 & 0.280 \\ 0.263 & 0.396 & 0.350 \end{bmatrix}$
$F(3) = \begin{bmatrix} 0.309 & 0.406 & 0.284 \\ 0.281 & 0.427 & 0.303 \\ 0.283 & 0.407 & 0.314 \end{bmatrix}$	$F(4) = \begin{bmatrix} 0.302 & 0.405 & 0.292 \\ 0.276 & 0.428 & 0.307 \\ 0.271 & 0.416 & 0.317 \end{bmatrix}$
$F(5) = \begin{bmatrix} 0.288 & 0.419 & 0.292 \\ 0.290 & 0.418 & 0.307 \\ 0.271 & 0.416 & 0.317 \end{bmatrix}$	

4.2.2. Bölgelere Göre Deprem Magnitüd Geçişlerinin Semi-Markov Model Uygulaması

Oluşturulan bölgelerde meydana gelen depremlerin büyüklükleri arasındaki geçişler Semi-Markov modeline göre değerlendirilmiş ve gelecek 10 yıldaki olasılıkları tahmin edilmeye çalışılmıştır. Magnitüd geçişleri için deprem magnitüdüleri farklı aralıklardan oluşan 3 durum (M_1 , M_2 ve M_3) belirlenmiş ve (4.9) bağıntısında gösterilmiştir

$$\begin{aligned}
5.0 \leq M < 5.5 & M_1 \\
5.5 \leq M < 6.0 & M_2 \\
6.0 \leq M & M_3
\end{aligned} \tag{4.9}$$

Bu bağlamda her bölge için öncelikle $\Delta t = 1$ yıla göre sıralanan depremlerden durumlara göre meydana gelen deprem frekans değerleri oluşturulmuştur (Tablo 4.11).

Tablo 4. 11. Durumlara göre bölgelerde meydana gelen deprem frekans değerleri

1. BÖLGE				2. BÖLGE				3. BÖLGE			
	1	2	3		1	2	3		1	2	3
1	40	14	6	1	40	22	12	1	34	12	6
2	14	3	5	2	23	8	9	2	11	3	2
3	8	3	2	3	12	9	3	3	8	1	2

Tablo 4.11’de görülen 1.bölge için ‘40’ değeri o bölgede M_1 büyüklüğünde bir deprem olduktan sonra tekrar M_1 büyüklüğünde 40 tane deprem olduğunu ifade etmektedir. Bulunan frekans değerlerine göre bölgeler için P olasılık geçiş matrisleri oluşturulmuştur. Bölgelere göre oluşturulan matrisler Tablo 4.12’de verilmiştir.

Tablo 4. 12. Bölgelere göre P olasılık geçiş matrisleri

1. BÖLGE			2. BÖLGE			3. BÖLGE		
$P(1) = \begin{bmatrix} 0.67 & 0.23 & 0.10 \\ 0.64 & 0.14 & 0.22 \\ 0.62 & 0.23 & 0.15 \end{bmatrix}$			$P(2) = \begin{bmatrix} 0.54 & 0.30 & 0.16 \\ 0.57 & 0.20 & 0.23 \\ 0.50 & 0.37 & 0.13 \end{bmatrix}$			$P(3) = \begin{bmatrix} 0.65 & 0.23 & 0.12 \\ 0.69 & 0.19 & 0.12 \\ 0.73 & 0.09 & 0.18 \end{bmatrix}$		

Sonraki aşamada olayların zaman boyutunda durumları incelenerek T_{ij} matrisleri (3.27) bağıntısına göre hesaplanmıştır. 1. Bölge için oluşturulan T_{ij} matrisi deprem sayıları ve olasılık değerleri Tablo 4.13 ve Tablo 4.14’de verilmiştir.

2. Bölge için hesaplanan T_{ij} matrisi deprem sayıları ve olasılık değerleri Tablo 4.15 ve Tablo 4.16’de gösterilmiştir.

Tablo 4. 13. 1.bölgede 10 yıllık periyot için oluşturulan $T(n)$ deprem sayıları

1. BÖLGE																			
T(1)	1	2	3	T(2)	1	2	3	T(3)	1	2	3	T(4)	1	2	3	T(5)	1	2	3
1	30	6	4	1	3	3	0	1	4	2	0	1	1	2	0	1	2	0	0
2	11	2	3	2	1	0	1	2	1	1	0	2	0	0	0	2	1	0	1
3	8	3	2	3	0	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0
T(6)	1	2	3	T(7)	1	2	3	T(8)	1	2	3	T(9)	1	2	3	T(10)	1	2	3
1	0	0	0	1	0	0	1	1	0	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0
2	0	0	0	2	0	0	0	2	0	0	0	2	0	0	0	2	0	0	0
3	0	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0

Tablo 4. 14. 1.bölgede 10 yıllık periyot için oluşturulan T olasılık matrisleri

1. BÖLGE					
$T(1) =$	$\begin{bmatrix} 0.75 & 0.43 & 0.66 \\ 0.79 & 0.67 & 0.60 \\ 1.00 & 1.00 & 1.00 \end{bmatrix}$	$T(2) =$	$\begin{bmatrix} 0.07 & 0.21 & 0.00 \\ 0.07 & 0.00 & 0.20 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 \end{bmatrix}$		
$T(3) =$	$\begin{bmatrix} 0.10 & 0.14 & 0.00 \\ 0.07 & 0.33 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 \end{bmatrix}$	$T(4) =$	$\begin{bmatrix} 0.03 & 0.14 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 \end{bmatrix}$		
$T(5) =$	$\begin{bmatrix} 0.05 & 0.00 & 0.00 \\ 0.07 & 0.00 & 0.20 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 \end{bmatrix}$	$T(6) =$	$\begin{bmatrix} 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 \end{bmatrix}$		
$T(7) =$	$\begin{bmatrix} 0.00 & 0.00 & 0.17 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 \end{bmatrix}$	$T(8) =$	$\begin{bmatrix} 0.00 & 0.08 & 0.17 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 \end{bmatrix}$		
$T(9) =$	$\begin{bmatrix} 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 \end{bmatrix}$	$T(10) =$	$\begin{bmatrix} 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 \end{bmatrix}$		

Tablo 4. 15. 2.bölgede 10 yıllık periyot için oluşturulan $T(n)$ deprem sayıları

2. BÖLGE																			
T(1)	1	2	3	T(2)	1	2	3	T(3)	1	2	3	T(4)	1	2	3	T(5)	1	2	3
1	31	18	8	1	3	3	4	1	2	1	0	1	1	0	0	1	2	0	0
2	19	7	7	2	1	0	1	2	2	0	1	2	1	1	0	2	0	0	0
3	11	8	3	3	0	1	0	3	0	0	0	3	1	0	0	3	0	0	0
T(6)	1	2	3	T(7)	1	2	3	T(8)	1	2	3	T(9)	1	2	3	T(10)	1	2	3
1	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0
2	0	0	0	2	0	0	0	2	0	0	0	2	0	0	0	2	0	0	0
3	0	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0

Tablo 4. 16. 2.bölgede 10 yıllık periyot için oluşturulan T olasılık matrisleri

2. BÖLGE					
$T(1) = \begin{bmatrix} 0.77 & 0.83 & 0.92 \\ 0.82 & 0.87 & 0.89 \\ 0.67 & 0.78 & 1.00 \end{bmatrix}$			$T(2) = \begin{bmatrix} 0.07 & 0.04 & 0.00 \\ 0.14 & 0.00 & 0.11 \\ 0.33 & 0.11 & 0.00 \end{bmatrix}$		
$T(3) = \begin{bmatrix} 0.05 & 0.04 & 0.00 \\ 0.09 & 0.00 & 0.11 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 \end{bmatrix}$			$T(4) = \begin{bmatrix} 0.03 & 0.00 & 0.00 \\ 0.04 & 0.13 & 0.00 \\ 0.08 & 0.00 & 0.00 \end{bmatrix}$		
$T(5) = \begin{bmatrix} 0.05 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 \end{bmatrix}$			$T(6) = \begin{bmatrix} 0.03 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 \end{bmatrix}$		
$T(7) = \begin{bmatrix} 0.00 & 0.00 & 0.17 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 \end{bmatrix}$			$T(8) = \begin{bmatrix} 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 \end{bmatrix}$		
$T(9) = \begin{bmatrix} 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 \end{bmatrix}$			$T(10) = \begin{bmatrix} 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 \end{bmatrix}$		

3. Bölge için elde edilen T_{ij} matrisi deprem sayıları ve olasılık değerleri Tablo 4.17 ve Tablo 4.18’de belirtilmiştir.

Tablo 4. 17. 3.bölgede 10 yıllık periyot için oluşturulan $T(n)$ deprem sayıları

3. BÖLGE																			
T(1)	1	2	3	T(2)	1	2	3	T(3)	1	2	3	T(4)	1	2	3	T(5)	1	2	3
1	23	10	5	1	0	1	0	1	3	0	1	1	1	0	0	1	2	0	0
2	9	2	1	2	0	0	0	2	0	0	0	2	2	0	1	2	0	0	0
3	8	0	2	3	0	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0
T(6)	1	2	3	T(7)	1	2	3	T(8)	1	2	3	T(9)	1	2	3	T(10)	1	2	3
1	3	0	0	1	2	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0
2	0	1	0	2	0	0	0	2	0	0	0	2	0	0	0	2	0	0	0
3	0	0	0	3	0	0	0	3	0	1	0	3	0	0	0	3	0	0	0

Tablo 4. 18. 3.bölgede 10 yıllık periyot için oluşturulan T olasılık matrisleri

3. BÖLGE					
$T(1) = \begin{bmatrix} 0.68 & 0.91 & 0.83 \\ 0.82 & 0.67 & 0.50 \\ 1.00 & 0.00 & 1.00 \end{bmatrix}$	$T(2) = \begin{bmatrix} 0.00 & 0.09 & 0.00 \\ 0.07 & 0.00 & 0.20 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 \end{bmatrix}$				
$T(3) = \begin{bmatrix} 0.09 & 0.00 & 0.17 \\ 0.18 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 \end{bmatrix}$	$T(4) = \begin{bmatrix} 0.02 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.50 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 \end{bmatrix}$				
$T(5) = \begin{bmatrix} 0.06 & 0.00 & 0.00 \\ 0.07 & 0.00 & 0.20 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 \end{bmatrix}$	$T(6) = \begin{bmatrix} 0.09 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.33 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 \end{bmatrix}$				
$T(7) = \begin{bmatrix} 0.06 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 \end{bmatrix}$	$T(8) = \begin{bmatrix} 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 1.00 & 0.00 \end{bmatrix}$				
$T(9) = \begin{bmatrix} 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 \end{bmatrix}$	$T(10) = \begin{bmatrix} 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 \end{bmatrix}$				

Elde edilen T matrislerinden sonraki aşamada (3.29) bağıntısı yardımıyla çekirdek matrisleri (C_{ij}) oluşturulur. Bölgelere göre oluşturulan çekirdek matrisler Tablo 4.19. Tablo 4.20 ve Tablo 4.21’de gösterilmiştir.

Tablo 4. 19. 1.bölgede 10 yıllık periyot için tanımlanan olasılık C_{ij} matrisleri

1. BÖLGE					
$c(1) = \begin{bmatrix} 0.50 & 0.10 & 0.07 \\ 0.51 & 0.09 & 0.13 \\ 0.62 & 0.23 & 0.15 \end{bmatrix}$	$c(2) = \begin{bmatrix} 0.05 & 0.05 & 0.00 \\ 0.05 & 0.00 & 0.04 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 \end{bmatrix}$				
$c(3) = \begin{bmatrix} 0.07 & 0.03 & 0.00 \\ 0.05 & 0.05 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 \end{bmatrix}$	$c(4) = \begin{bmatrix} 0.02 & 0.03 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 \end{bmatrix}$				
$c(5) = \begin{bmatrix} 0.03 & 0.00 & 0.00 \\ 0.05 & 0.00 & 0.04 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 \end{bmatrix}$	$c(6) = \begin{bmatrix} 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 \end{bmatrix}$				
$c(7) = \begin{bmatrix} 0.00 & 0.00 & 0.17 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 \end{bmatrix}$	$c(8) = \begin{bmatrix} 0.00 & 0.02 & 0.02 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 \end{bmatrix}$				
$c(9) = \begin{bmatrix} 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 \end{bmatrix}$	$c(10) = \begin{bmatrix} 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 \end{bmatrix}$				

Tablo 4. 20. 2.bölgede 10 yıllık periyot için tanımlanan olasılık C_{ij} matrisleri

2. BÖLGE	
$c(1) = \begin{bmatrix} 0.42 & 0.25 & 0.15 \\ 0.47 & 0.17 & 0.21 \\ 0.34 & 0.29 & 0.13 \end{bmatrix}$	$c(2) = \begin{bmatrix} 0.04 & 0.01 & 0.00 \\ 0.08 & 0.00 & 0.03 \\ 0.17 & 0.04 & 0.00 \end{bmatrix}$
$c(3) = \begin{bmatrix} 0.03 & 0.01 & 0.00 \\ 0.05 & 0.0 & 0.03 \\ 0.17 & 0.04 & 0.00 \end{bmatrix}$	$c(4) = \begin{bmatrix} 0.02 & 0.00 & 0.00 \\ 0.03 & 0.03 & 0.00 \\ 0.04 & 0.00 & 0.00 \end{bmatrix}$
$c(5) = \begin{bmatrix} 0.03 & 0.00 & 0.00 \\ 0.05 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 \end{bmatrix}$	$c(6) = \begin{bmatrix} 0.02 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 \end{bmatrix}$
$c(7) = \begin{bmatrix} 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 \end{bmatrix}$	$c(8) = \begin{bmatrix} 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 \end{bmatrix}$
$c(9) = \begin{bmatrix} 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 \end{bmatrix}$	$c(10) = \begin{bmatrix} 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 \end{bmatrix}$

Tablo 4. 21. 3.bölgede 10 yıllık periyot için tanımlanan olasılık C_{ij} matrisleri

3. BÖLGE	
$c(1) = \begin{bmatrix} 0.44 & 0.21 & 0.10 \\ 0.57 & 0.13 & 0.06 \\ 0.73 & 0.00 & 0.18 \end{bmatrix}$	$c(2) = \begin{bmatrix} 0.00 & 0.02 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 \end{bmatrix}$
$c(3) = \begin{bmatrix} 0.06 & 0.00 & 0.02 \\ 0.12 & 0.0 & 0.03 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 \end{bmatrix}$	$c(4) = \begin{bmatrix} 0.01 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.60 \\ 0.04 & 0.00 & 0.00 \end{bmatrix}$
$c(5) = \begin{bmatrix} 0.04 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 \end{bmatrix}$	$c(6) = \begin{bmatrix} 0.06 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.06 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 \end{bmatrix}$
$c(7) = \begin{bmatrix} 0.04 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 \end{bmatrix}$	$c(8) = \begin{bmatrix} 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.09 & 0.00 \end{bmatrix}$
$c(9) = \begin{bmatrix} 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 \end{bmatrix}$	$c(10) = \begin{bmatrix} 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 \end{bmatrix}$

Tanımlanan çekirdek matrislerinden faydalanılarak $W(m)$ bekleme zamanı matrisleri (3.30) bağıntısına göre hesaplanmıştır. Bölgelere göre hesaplanan $W(m)$ matrisleri detaylı olarak Tablo 4.22. Tablo 4.23 ve Tablo 4.24'de verilmiştir.

Tablo 4. 22. 1.bölge için tanımlanan $W(m)$ matrisleri

1. BÖLGE	
$W(1) = \begin{bmatrix} 0.33 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.28 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 \end{bmatrix}$	$W(2) = \begin{bmatrix} 0.24 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.19 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 \end{bmatrix}$
$W(3) = \begin{bmatrix} 0.14 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.01 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 \end{bmatrix}$	$W(4) = \begin{bmatrix} 0.09 & 0.03 & 0.00 \\ 0.00 & 0.10 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 \end{bmatrix}$
$W(5) = \begin{bmatrix} 0.05 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 \end{bmatrix}$	$W(6) = \begin{bmatrix} 0.05 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 \end{bmatrix}$
$W(7) = \begin{bmatrix} 0.04 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 \end{bmatrix}$	$W(8) = \begin{bmatrix} 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 \end{bmatrix}$
$W(9) = \begin{bmatrix} 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 \end{bmatrix}$	$W(10) = \begin{bmatrix} 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 \end{bmatrix}$

Tablo 4. 23. 2.bölge için tanımlanan $W(m)$ matrisleri

2. BÖLGE	
$W(1) = \begin{bmatrix} 0.15 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.24 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.25 \end{bmatrix}$	$W(2) = \begin{bmatrix} 0.10 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.13 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.04 \end{bmatrix}$
$W(3) = \begin{bmatrix} 0.06 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.06 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.04 \end{bmatrix}$	$W(4) = \begin{bmatrix} 0.04 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 \end{bmatrix}$
$W(5) = \begin{bmatrix} 0.02 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 \end{bmatrix}$	$W(6) = \begin{bmatrix} 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 \end{bmatrix}$
$W(7) = \begin{bmatrix} 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 \end{bmatrix}$	$W(8) = \begin{bmatrix} 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 \end{bmatrix}$
$W(9) = \begin{bmatrix} 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 \end{bmatrix}$	$W(10) = \begin{bmatrix} 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 \end{bmatrix}$

Tablo 4. 24. 3.bölge için tanımlanan $W(m)$ matrisleri

3. BÖLGE	
$W(1) = \begin{bmatrix} 0.25 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.14 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.09 \end{bmatrix}$	$W(2) = \begin{bmatrix} 0.23 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.14 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.09 \end{bmatrix}$
$W(3) = \begin{bmatrix} 0.15 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.13 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.09 \end{bmatrix}$	$W(4) = \begin{bmatrix} 0.14 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.07 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.90 \end{bmatrix}$
$W(5) = \begin{bmatrix} 0.10 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.07 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.09 \end{bmatrix}$	$W(6) = \begin{bmatrix} 0.04 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.09 \end{bmatrix}$
$W(7) = \begin{bmatrix} 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.09 \end{bmatrix}$	$W(8) = \begin{bmatrix} 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 \end{bmatrix}$
$W(9) = \begin{bmatrix} 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 \end{bmatrix}$	$W(10) = \begin{bmatrix} 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 \end{bmatrix}$

Bulunan T ve çekirdek matrislerinden $F(n)$ aralık geçiş olasılıkları (3.32) bağıntısı yardımlarıyla elde edilir ve deprem olasılıkları tahmin edilmeye çalışılır. Elde edilen 10 yıllık periyot içerisindeki bölgelere göre deprem olasılıkları Tablo 4.25, Tablo 4.26 ve Tablo 4.27’de verilmiştir.

Tablo 4. 25. 1.bölge için gelecek 10 yıllık periyot için elde edilen $F(n)$ olasılık matrisleri

1. BÖLGE	
$F(1) = \begin{bmatrix} 0.83 & 0.10 & 0.07 \\ 0.50 & 0.37 & 0.13 \\ 0.62 & 0.23 & 0.15 \end{bmatrix}$	$F(2) = \begin{bmatrix} 0.79 & 0.15 & 0.06 \\ 0.59 & 0.30 & 0.11 \\ 0.73 & 0.18 & 0.09 \end{bmatrix}$
$F(3) = \begin{bmatrix} 0.78 & 0.16 & 0.06 \\ 0.66 & 0.27 & 0.07 \\ 0.73 & 0.18 & 0.09 \end{bmatrix}$	$F(4) = \begin{bmatrix} 0.75 & 0.18 & 0.07 \\ 0.68 & 0.25 & 0.07 \\ 0.73 & 0.18 & 0.09 \end{bmatrix}$
$F(5) = \begin{bmatrix} 0.77 & 0.16 & 0.07 \\ 0.73 & 0.15 & 0.12 \\ 0.73 & 0.18 & 0.09 \end{bmatrix}$	$F(6) = \begin{bmatrix} 0.76 & 0.16 & 0.08 \\ 0.75 & 0.16 & 0.09 \\ 0.73 & 0.18 & 0.09 \end{bmatrix}$
$F(7) = \begin{bmatrix} 0.75 & 0.16 & 0.09 \\ 0.75 & 0.16 & 0.09 \\ 0.73 & 0.18 & 0.09 \end{bmatrix}$	$F(8) = \begin{bmatrix} 0.72 & 0.18 & 0.10 \\ 0.75 & 0.16 & 0.09 \\ 0.73 & 0.18 & 0.09 \end{bmatrix}$
$F(9) = \begin{bmatrix} 0.75 & 0.17 & 0.08 \\ 0.75 & 0.17 & 0.09 \\ 0.73 & 0.18 & 0.09 \end{bmatrix}$	$F(10) = \begin{bmatrix} 0.75 & 0.17 & 0.08 \\ 0.75 & 0.17 & 0.09 \\ 0.73 & 0.18 & 0.09 \end{bmatrix}$

Tablo 4. 26. 2.bölge için gelecek 10 yıllık periyot için elde edilen $F(n)$ olasılık matrisleri

2. BÖLGE	
$F(1) = \begin{bmatrix} 0.65 & 0.25 & 0.10 \\ 0.47 & 0.35 & 0.18 \\ 0.46 & 0.33 & 0.21 \end{bmatrix}$	$F(2) = \begin{bmatrix} 0.57 & 0.27 & 0.16 \\ 0.49 & 0.36 & 0.15 \\ 0.51 & 0.31 & 0.18 \end{bmatrix}$
$F(3) = \begin{bmatrix} 0.59 & 0.28 & 0.13 \\ 0.55 & 0.30 & 0.15 \\ 0.53 & 0.29 & 0.18 \end{bmatrix}$	$F(4) = \begin{bmatrix} 0.58 & 0.28 & 0.14 \\ 0.56 & 0.30 & 0.14 \\ 0.57 & 0.29 & 0.14 \end{bmatrix}$
$F(5) = \begin{bmatrix} 0.58 & 0.28 & 0.14 \\ 0.57 & 0.28 & 0.15 \\ 0.55 & 0.30 & 0.15 \end{bmatrix}$	$F(6) = \begin{bmatrix} 0.57 & 0.29 & 0.14 \\ 0.57 & 0.29 & 0.14 \\ 0.56 & 0.30 & 0.14 \end{bmatrix}$
$F(7) = \begin{bmatrix} 0.56 & 0.29 & 0.15 \\ 0.57 & 0.29 & 0.14 \\ 0.56 & 0.30 & 0.14 \end{bmatrix}$	$F(8) = \begin{bmatrix} 0.56 & 0.29 & 0.15 \\ 0.57 & 0.29 & 0.14 \\ 0.56 & 0.30 & 0.14 \end{bmatrix}$
$F(9) = \begin{bmatrix} 0.56 & 0.29 & 0.15 \\ 0.57 & 0.29 & 0.14 \\ 0.56 & 0.30 & 0.14 \end{bmatrix}$	$F(10) = \begin{bmatrix} 0.56 & 0.29 & 0.15 \\ 0.57 & 0.29 & 0.14 \\ 0.56 & 0.30 & 0.14 \end{bmatrix}$

Tablo 4. 27. 3.bölge için gelecek 10 yıllık periyot için elde edilen $F(n)$ olasılık matrisleri

3. BÖLGE	
$F(1) = \begin{bmatrix} 0.69 & 0.21 & 0.10 \\ 0.57 & 0.37 & 0.06 \\ 0.73 & 0.0 & 0.27 \end{bmatrix}$	$F(2) = \begin{bmatrix} 0.72 & 0.19 & 0.09 \\ 0.51 & 0.41 & 0.08 \\ 0.64 & 0.15 & 0.21 \end{bmatrix}$
$F(3) = \begin{bmatrix} 0.71 & 0.19 & 0.10 \\ 0.63 & 0.29 & 0.08 \\ 0.64 & 0.15 & 0.21 \end{bmatrix}$	$F(4) = \begin{bmatrix} 0.71 & 0.19 & 0.10 \\ 0.60 & 0.25 & 0.15 \\ 0.64 & 0.15 & 0.21 \end{bmatrix}$
$F(5) = \begin{bmatrix} 0.71 & 0.19 & 0.10 \\ 0.63 & 0.26 & 0.11 \\ 0.64 & 0.15 & 0.21 \end{bmatrix}$	$F(6) = \begin{bmatrix} 0.70 & 0.20 & 0.10 \\ 0.63 & 0.26 & 0.11 \\ 0.64 & 0.15 & 0.21 \end{bmatrix}$
$F(7) = \begin{bmatrix} 0.68 & 0.21 & 0.11 \\ 0.67 & 0.22 & 0.11 \\ 0.64 & 0.15 & 0.21 \end{bmatrix}$	$F(8) = \begin{bmatrix} 0.67 & 0.22 & 0.11 \\ 0.67 & 0.22 & 0.11 \\ 0.64 & 0.24 & 0.12 \end{bmatrix}$
$F(9) = \begin{bmatrix} 0.67 & 0.22 & 0.11 \\ 0.67 & 0.22 & 0.11 \\ 0.70 & 0.17 & 0.13 \end{bmatrix}$	$F(10) = \begin{bmatrix} 0.67 & 0.22 & 0.11 \\ 0.67 & 0.22 & 0.11 \\ 0.70 & 0.17 & 0.13 \end{bmatrix}$

4.3. Weibull Dağılım Modelinin Uygulanması

Oluşturulan tüm bölgelere Weibull dağılım modeli uygulanarak gelecek 10 yıllık periyot için deprem olma olasılıkları hesaplanmaya çalışılmıştır. Weibull dağılım modelinin uygulanması için her bölgede meydana gelmiş $M_s \geq 5.0$ olan depremler (Şekil 4.5) öncelikle tarih sırasına konulmuştur. Daha sonra sıralanan depremlerin oluş zaman aralıkları belirlenmiştir. Belirlenen aralık değerlerine göre deprem verileri küçük zaman aralığından büyüğe doğru sıralanarak, modelin uygulaması için hazırlanmıştır. Hazırlanan verilere Weibull dağılım modelinin katsayı hesaplama yöntemlerinden biri olan en küçük kareler yaklaşımı uygulanarak Weibull katsayıları hesaplanmıştır. Yöntemin uygulama aşamaları Bölüm 3.2’de örnek olarak verilen bir çalışma üzerinde detaylı anlatılmıştır. Deprem verilerine yöntem uygulanırken hesaplanan parametreler bölge sırasına göre Tablo 4.28, Tablo 4.29 ve Tablo 4.30 detaylı bir şekilde verilmiştir.

Tablo 4. 28. 1. bölgede Weibull Dağılım modeli uygulama parametreleri

1. BÖLGE								
NO	YIL	SIRA MEDYAN	$\ln(T_i)$	$F(T_i)$	y_i	$(\ln T_i)^2$	y_i^2	$(\ln T_i)y_i$
1	1	0.007	0.000	0.007	-4.911	0.000	24.119	0.000
2	1	0.018	0.000	0.018	-4.018	0.000	16.148	0.000
3	1	0.028	0.000	0.028	-3.551	0.000	12.606	0.000
4	1	0.039	0.000	0.039	-3.230	0.000	10.433	0.000
5	1	0.049	0.000	0.049	-2.985	0.000	8.912	0.000
6	1	0.060	0.000	0.060	-2.787	0.000	7.767	0.000
7	1	0.070	0.000	0.070	-2.620	0.000	6.863	0.000
8	1	0.081	0.000	0.081	-2.475	0.000	6.126	0.000
9	1	0.091	0.000	0.091	-2.347	0.000	5.510	0.000
10	1	0.102	0.000	0.102	-2.233	0.000	4.985	0.000
11	1	0.112	0.000	0.112	-2.129	0.000	4.532	0.000
12	1	0.123	0.000	0.123	-2.034	0.000	4.136	0.000
13	1	0.133	0.000	0.133	-1.946	0.000	3.787	0.000
14	1	0.144	0.000	0.144	-1.864	0.000	3.475	0.000
15	1	0.154	0.000	0.154	-1.788	0.000	3.196	0.000
16	1	0.165	0.000	0.165	-1.716	0.000	2.944	0.000
17	1	0.175	0.000	0.175	-1.648	0.000	2.716	0.000
18	1	0.186	0.000	0.186	-1.584	0.000	2.508	0.000
19	1	0.196	0.000	0.196	-1.522	0.000	2.318	0.000
20	1	0.206	0.000	0.206	-1.464	0.000	2.143	0.000
21	1	0.217	0.000	0.217	-1.408	0.000	1.983	0.000

Tablo 4. 28 'in devamı

<i>NO</i>	<i>YIL</i>	<i>SIRA MEDYAN</i>	$\ln(T_i)$	$F(T_i)$	y_i	$(\ln T_i)^2$	y_i^2	$(\ln T_i)y_i$
22	1	0.227	0.000	0.227	-1.355	0.000	1.835	0.000
23	1	0.238	0.000	0.238	-1.303	0.000	1.698	0.000
24	1	0.248	0.000	0.248	-1.253	0.000	1.571	0.000
25	1	0.259	0.000	0.259	-1.205	0.000	1.452	0.000
26	1	0.269	0.000	0.269	-1.159	0.000	1.343	0.000
27	1	0.280	0.000	0.280	-1.114	0.000	1.240	0.000
28	1	0.290	0.000	0.290	-1.070	0.000	1.145	0.000
29	1	0.301	0.000	0.301	-1.028	0.000	1.056	0.000
30	1	0.311	0.000	0.311	-0.986	0.000	0.973	0.000
31	1	0.322	0.000	0.322	-0.946	0.000	0.895	0.000
32	1	0.332	0.000	0.332	-0.907	0.000	0.822	0.000
33	1	0.343	0.000	0.343	-0.868	0.000	0.754	0.000
34	1	0.353	0.000	0.353	-0.831	0.000	0.690	0.000
35	1	0.364	0.000	0.364	-0.794	0.000	0.630	0.000
36	1	0.374	0.000	0.374	-0.758	0.000	0.574	0.000
37	1	0.385	0.000	0.385	-0.722	0.000	0.522	0.000
38	1	0.395	0.000	0.395	-0.688	0.000	0.473	0.000
39	1	0.406	0.000	0.406	-0.653	0.000	0.427	0.000
40	1	0.416	0.000	0.416	-0.620	0.000	0.384	0.000
41	1	0.427	0.000	0.427	-0.587	0.000	0.344	0.000
42	1	0.437	0.000	0.437	-0.554	0.000	0.307	0.000
43	1	0.448	0.000	0.448	-0.522	0.000	0.272	0.000
44	1	0.458	0.000	0.458	-0.490	0.000	0.240	0.000
45	1	0.469	0.000	0.469	-0.459	0.000	0.210	0.000
46	1	0.479	0.000	0.479	-0.428	0.000	0.183	0.000
47	1	0.490	0.000	0.490	-0.397	0.000	0.158	0.000
48	1	0.500	0.000	0.500	-0.367	0.000	0.134	0.000
49	1	0.510	0.000	0.510	-0.336	0.000	0.113	0.000
50	1	0.521	0.000	0.521	-0.307	0.000	0.094	0.000
51	1	0.531	0.000	0.531	-0.277	0.000	0.077	0.000
52	1	0.542	0.000	0.542	-0.248	0.000	0.061	0.000
53	1	0.552	0.000	0.552	-0.218	0.000	0.048	0.000
54	1	0.563	0.000	0.563	-0.189	0.000	0.036	0.000
55	1	0.573	0.000	0.573	-0.160	0.000	0.026	0.000
56	1	0.584	0.000	0.584	-0.132	0.000	0.017	0.000
57	1	0.594	0.000	0.594	-0.103	0.000	0.011	0.000
58	1	0.605	0.000	0.605	-0.074	0.000	0.006	0.000
59	1	0.615	0.000	0.615	-0.046	0.000	0.002	0.000
60	1	0.626	0.000	0.626	-0.017	0.000	0.000	0.000
61	1	0.636	0.000	0.636	0.011	0.000	0.000	0.000
62	1	0.647	0.000	0.647	0.040	0.000	0.002	0.000
63	1	0.657	0.000	0.657	0.068	0.000	0.005	0.000
64	1	0.668	0.000	0.668	0.097	0.000	0.009	0.000
65	1	0.678	0.000	0.678	0.126	0.000	0.016	0.000
66	1	0.689	0.000	0.689	0.154	0.000	0.024	0.000

Tablo 4. 28'in devamı

NO	YIL	SIRA MEDYAN	$\ln(T_i)$	$F(T_i)$	y_i	$(\ln T_i)^2$	y_i^2	$(\ln T_i)y_i$
67	1	0.699	0.000	0.699	0.183	0.000	0.034	0.000
68	1	0.710	0.000	0.710	0.212	0.000	0.045	0.000
69	1	0.720	0.000	0.720	0.242	0.000	0.058	0.000
70	2	0.731	0.693	0.731	0.271	0.480	0.074	0.188
71	2	0.741	0.693	0.741	0.301	0.480	0.091	0.209
72	2	0.752	0.693	0.752	0.331	0.480	0.110	0.230
73	2	0.762	0.693	0.762	0.362	0.480	0.131	0.251
74	2	0.773	0.693	0.773	0.393	0.480	0.154	0.272
75	2	0.783	0.693	0.783	0.424	0.480	0.180	0.294
76	2	0.794	0.693	0.794	0.456	0.480	0.208	0.316
77	2	0.804	0.693	0.804	0.488	0.480	0.238	0.338
78	3	0.814	1.099	0.814	0.521	1.207	0.272	0.573
79	3	0.825	1.099	0.825	0.555	1.207	0.308	0.610
80	3	0.835	1.099	0.835	0.590	1.207	0.348	0.648
81	3	0.846	1.099	0.846	0.626	1.207	0.392	0.688
82	3	0.856	1.099	0.856	0.663	1.207	0.440	0.728
83	3	0.867	1.099	0.867	0.701	1.207	0.492	0.771
84	3	0.877	1.099	0.877	0.741	1.207	0.549	0.814
85	3	0.888	1.099	0.888	0.783	1.207	0.613	0.860
86	4	0.898	1.386	0.898	0.827	1.922	0.684	1.146
87	4	0.909	1.386	0.909	0.873	1.922	0.763	1.211
88	4	0.919	1.386	0.919	0.923	1.922	0.852	1.280
89	5	0.930	1.609	0.930	0.977	2.590	0.954	1.572
90	5	0.940	1.609	0.940	1.036	2.590	1.073	1.667
91	5	0.951	1.609	0.951	1.102	2.590	1.215	1.774
92	5	0.961	1.609	0.961	1.179	2.590	1.389	1.897
93	7	0.972	1.946	0.972	1.271	3.787	1.616	2.473
94	8	0.982	2.079	0.982	1.393	4.324	1.941	2.897
95	8	0.993	2.079	0.993	1.592	4.324	2.535	3.311
TOPLAM		31.04		-53.913	42.06	175.842	27.018	

Tablo 4.29. 2. bölgede Weibull Dağılım modeli uygulama parametreleri

2.BÖLGE								
NO	YIL	SIRA MEDYAN	$\ln(T_i)$	$F(T_i)$	y_i	$(\ln T_i)^2$	y_i^2	$(\ln T_i)y_i$
1	1	0.005	0.000	0.005	-5.284	0.000	27.924	0.000
2	1	0.012	0.000	0.012	-4.393	0.000	19.301	0.000
3	1	0.020	0.000	0.020	-3.927	0.000	15.422	0.000
4	1	0.027	0.000	0.027	-3.608	0.000	13.020	0.000
5	1	0.034	0.000	0.034	-3.365	0.000	11.326	0.000
6	1	0.041	0.000	0.041	-3.169	0.000	10.041	0.000
7	1	0.048	0.000	0.048	-3.003	0.000	9.020	0.000
8	1	0.056	0.000	0.056	-2.860	0.000	8.182	0.000
9	1	0.063	0.000	0.063	-2.735	0.000	7.478	0.000

Tablo 4. 29 'un devamı

<i>NO</i>	<i>YIL</i>	<i>SIRA MEDYAN</i>	$\ln(T_i)$	$F(T_i)$	y_i	$(\ln T_i)^2$	y_i^2	$(\ln T_i)y_i$
10	1	0.070	0.000	0.070	-2.622	0.000	6.874	0.000
11	1	0.077	0.000	0.077	-2.520	0.000	6.350	0.000
12	1	0.085	0.000	0.085	-2.427	0.000	5.889	0.000
13	1	0.092	0.000	0.092	-2.341	0.000	5.479	0.000
14	1	0.099	0.000	0.099	-2.261	0.000	5.113	0.000
15	1	0.106	0.000	0.106	-2.187	0.000	4.782	0.000
16	1	0.113	0.000	0.113	-2.117	0.000	4.481	0.000
17	1	0.121	0.000	0.121	-2.051	0.000	4.207	0.000
18	1	0.128	0.000	0.128	-1.989	0.000	3.956	0.000
19	1	0.135	0.000	0.135	-1.930	0.000	3.725	0.000
20	1	0.142	0.000	0.142	-1.874	0.000	3.511	0.000
21	1	0.150	0.000	0.150	-1.820	0.000	3.313	0.000
22	1	0.157	0.000	0.157	-1.769	0.000	3.129	0.000
23	1	0.164	0.000	0.164	-1.720	0.000	2.957	0.000
24	1	0.171	0.000	0.171	-1.672	0.000	2.796	0.000
25	1	0.178	0.000	0.178	-1.627	0.000	2.646	0.000
26	1	0.186	0.000	0.186	-1.583	0.000	2.505	0.000
27	1	0.193	0.000	0.193	-1.540	0.000	2.372	0.000
28	1	0.200	0.000	0.200	-1.499	0.000	2.247	0.000
29	1	0.207	0.000	0.207	-1.459	0.000	2.130	0.000
30	1	0.215	0.000	0.215	-1.421	0.000	2.018	0.000
31	1	0.222	0.000	0.222	-1.383	0.000	1.913	0.000
32	1	0.229	0.000	0.229	-1.347	0.000	1.813	0.000
33	1	0.236	0.000	0.236	-1.311	0.000	1.719	0.000
34	1	0.243	0.000	0.243	-1.276	0.000	1.629	0.000
35	1	0.251	0.000	0.251	-1.243	0.000	1.544	0.000
36	1	0.258	0.000	0.258	-1.210	0.000	1.463	0.000
37	1	0.265	0.000	0.265	-1.177	0.000	1.386	0.000
38	1	0.272	0.000	0.272	-1.146	0.000	1.313	0.000
39	1	0.280	0.000	0.280	-1.115	0.000	1.243	0.000
40	1	0.287	0.000	0.287	-1.085	0.000	1.176	0.000
41	1	0.294	0.000	0.294	-1.055	0.000	1.113	0.000
42	1	0.301	0.000	0.301	-1.026	0.000	1.052	0.000
43	1	0.309	0.000	0.309	-0.997	0.000	0.994	0.000
44	1	0.316	0.000	0.316	-0.969	0.000	0.939	0.000
45	1	0.323	0.000	0.323	-0.941	0.000	0.886	0.000
46	1	0.330	0.000	0.330	-0.914	0.000	0.836	0.000
47	1	0.337	0.000	0.337	-0.888	0.000	0.788	0.000
48	1	0.345	0.000	0.345	-0.861	0.000	0.742	0.000
49	1	0.352	0.000	0.352	-0.835	0.000	0.698	0.000
50	1	0.359	0.000	0.359	-0.810	0.000	0.656	0.000
51	1	0.366	0.000	0.366	-0.785	0.000	0.616	0.000

Tablo 4. 29 'un devamı

<i>NO</i>	<i>YIL</i>	<i>SIRA MEDYAN</i>	$\ln(T_i)$	$F(T_i)$	y_i	$(\ln T_i)^2$	y_i^2	$(\ln T_i)y_i$
52	1	0.374	0.000	0.374	-0.760	0.000	0.578	0.000
53	1	0.381	0.000	0.381	-0.735	0.000	0.541	0.000
54	1	0.388	0.000	0.388	-0.711	0.000	0.506	0.000
55	1	0.395	0.000	0.395	-0.687	0.000	0.472	0.000
56	1	0.402	0.000	0.402	-0.664	0.000	0.441	0.000
57	1	0.410	0.000	0.410	-0.640	0.000	0.410	0.000
58	1	0.417	0.000	0.417	-0.617	0.000	0.381	0.000
59	1	0.424	0.000	0.424	-0.594	0.000	0.353	0.000
60	1	0.431	0.000	0.431	-0.572	0.000	0.327	0.000
61	1	0.439	0.000	0.439	-0.549	0.000	0.302	0.000
62	1	0.446	0.000	0.446	-0.527	0.000	0.278	0.000
63	1	0.453	0.000	0.453	-0.505	0.000	0.255	0.000
64	1	0.460	0.000	0.460	-0.483	0.000	0.234	0.000
65	1	0.467	0.000	0.467	-0.462	0.000	0.213	0.000
66	1	0.475	0.000	0.475	-0.440	0.000	0.194	0.000
67	1	0.482	0.000	0.482	-0.419	0.000	0.176	0.000
68	1	0.489	0.000	0.489	-0.398	0.000	0.158	0.000
69	1	0.496	0.000	0.496	-0.377	0.000	0.142	0.000
70	1	0.504	0.000	0.504	-0.356	0.000	0.127	0.000
71	1	0.511	0.000	0.511	-0.335	0.000	0.112	0.000
72	1	0.518	0.000	0.518	-0.315	0.000	0.099	0.000
73	1	0.525	0.000	0.525	-0.294	0.000	0.087	0.000
74	1	0.533	0.000	0.533	-0.274	0.000	0.075	0.000
75	1	0.540	0.000	0.540	-0.254	0.000	0.064	0.000
76	1	0.547	0.000	0.547	-0.233	0.000	0.055	0.000
77	1	0.554	0.000	0.554	-0.213	0.000	0.046	0.000
78	1	0.561	0.000	0.561	-0.193	0.000	0.037	0.000
79	1	0.569	0.000	0.569	-0.173	0.000	0.030	0.000
80	1	0.576	0.000	0.576	-0.153	0.000	0.024	0.000
81	1	0.583	0.000	0.583	-0.134	0.000	0.018	0.000
82	1	0.590	0.000	0.590	-0.114	0.000	0.013	0.000
83	1	0.598	0.000	0.598	-0.094	0.000	0.009	0.000
84	1	0.605	0.000	0.605	-0.074	0.000	0.006	0.000
85	1	0.612	0.000	0.612	-0.055	0.000	0.003	0.000
86	1	0.619	0.000	0.619	-0.035	0.000	0.001	0.000
87	1	0.626	0.000	0.626	-0.015	0.000	0.000	0.000
88	1	0.634	0.000	0.634	0.004	0.000	0.000	0.000
89	1	0.641	0.000	0.641	0.024	0.000	0.001	0.000
90	1	0.648	0.000	0.648	0.044	0.000	0.002	0.000
91	1	0.655	0.000	0.655	0.063	0.000	0.004	0.000
92	1	0.663	0.000	0.663	0.083	0.000	0.007	0.000
93	1	0.670	0.000	0.670	0.103	0.000	0.011	0.000

Tablo 4. 29 'un devamı

<i>NO</i>	<i>YIL</i>	<i>SIRA MEDYAN</i>	$\ln(T_i)$	$F(T_i)$	y_i	$(\ln T_i)^2$	y_i^2	$(\ln T_i)y_i$
94	1	0.677	0.000	0.677	0.122	0.000	0.015	0.000
95	1	0.684	0.000	0.684	0.142	0.000	0.020	0.000
96	1	0.691	0.000	0.691	0.162	0.000	0.026	0.000
97	1	0.699	0.000	0.699	0.182	0.000	0.033	0.000
98	1	0.706	0.000	0.706	0.202	0.000	0.041	0.000
99	1	0.713	0.000	0.713	0.222	0.000	0.049	0.000
100	1	0.720	0.000	0.720	0.242	0.000	0.059	0.000
101	1	0.728	0.000	0.728	0.263	0.000	0.069	0.000
102	1	0.735	0.000	0.735	0.283	0.000	0.080	0.000
103	1	0.742	0.000	0.742	0.304	0.000	0.092	0.000
104	1	0.749	0.000	0.749	0.325	0.000	0.105	0.000
105	1	0.757	0.000	0.757	0.345	0.000	0.119	0.000
106	1	0.764	0.000	0.764	0.367	0.000	0.134	0.000
107	1	0.771	0.000	0.771	0.388	0.000	0.150	0.000
108	1	0.778	0.000	0.778	0.409	0.000	0.168	0.000
109	1	0.785	0.000	0.785	0.431	0.000	0.186	0.000
110	1	0.793	0.000	0.793	0.453	0.000	0.205	0.000
111	1	0.800	0.000	0.800	0.475	0.000	0.226	0.000
112	1	0.807	0.000	0.807	0.498	0.000	0.248	0.000
113	2	0.814	0.693	0.814	0.521	0.480	0.271	0.361
114	2	0.822	0.693	0.822	0.544	0.480	0.296	0.377
115	2	0.829	0.693	0.829	0.568	0.480	0.323	0.394
116	2	0.836	0.693	0.836	0.592	0.480	0.351	0.410
117	2	0.843	0.693	0.843	0.617	0.480	0.380	0.427
118	2	0.850	0.693	0.850	0.642	0.480	0.412	0.445
119	2	0.858	0.693	0.858	0.668	0.480	0.446	0.463
120	2	0.865	0.693	0.865	0.694	0.480	0.482	0.481
121	2	0.872	0.693	0.872	0.721	0.480	0.520	0.500
122	2	0.879	0.693	0.879	0.749	0.480	0.561	0.519
123	2	0.887	0.693	0.887	0.778	0.480	0.605	0.539
124	2	0.894	0.693	0.894	0.808	0.480	0.652	0.560
125	2	0.901	0.693	0.901	0.838	0.480	0.703	0.581
126	3	0.908	1.099	0.908	0.871	1.207	0.758	0.957
127	3	0.915	1.099	0.915	0.904	1.207	0.818	0.994
128	3	0.923	1.099	0.923	0.940	1.207	0.884	1.033
129	3	0.930	1.099	0.930	0.978	1.207	0.956	1.074
130	3	0.937	1.099	0.937	1.018	1.207	1.036	1.118
131	3	0.944	1.099	0.944	1.061	1.207	1.125	1.166
132	4	0.952	1.386	0.952	1.108	1.922	1.227	1.536
133	4	0.959	1.386	0.959	1.160	1.922	1.345	1.608
134	4	0.966	1.386	0.966	1.219	1.922	1.485	1.689
135	4	0.973	1.386	0.973	1.287	1.922	1.656	1.784

Tablo 4. 29 'un devamı

<i>NO</i>	<i>YIL</i>	<i>SIRA MEDYAN</i>	$\ln(T_i)$	$F(T_i)$	y_i	$(\ln T_i)^2$	y_i^2	$(\ln T_i)y_i$
136	5	0.980	1.609	0.980	1.370	2.590	1.878	2.206
137	5	0.988	1.609	0.988	1.481	2.590	2.195	2.384
138	6	0.995	1.792	0.995	1.665	3.210	2.773	2.984
TOPLAM			26.16		-78.667	29.57	259.667	26.589

Tablo 4. 30. 3. bölgede Weibull Dağılım modeli uygulama parametreleri

3.BÖLGE								
<i>NO</i>	<i>YIL</i>	<i>SIRA MEDYAN</i>	$\ln(T_i)$	$F(T_i)$	y_i	$(\ln T_i)^2$	y_i^2	$(\ln T_i)y_i$
1	1	0.009	0.000	0.009	-4.727	0.000	22.342	0.000
2	1	0.021	0.000	0.021	-3.833	0.000	14.692	0.000
3	1	0.034	0.000	0.034	-3.364	0.000	11.316	0.000
4	1	0.047	0.000	0.047	-3.042	0.000	9.256	0.000
5	1	0.059	0.000	0.059	-2.797	0.000	7.821	0.000
6	1	0.072	0.000	0.072	-2.597	0.000	6.744	0.000
7	1	0.084	0.000	0.084	-2.429	0.000	5.898	0.000
8	1	0.097	0.000	0.097	-2.283	0.000	5.211	0.000
9	1	0.110	0.000	0.110	-2.154	0.000	4.638	0.000
10	1	0.122	0.000	0.122	-2.038	0.000	4.153	0.000
11	1	0.135	0.000	0.135	-1.933	0.000	3.736	0.000
12	1	0.147	0.000	0.147	-1.836	0.000	3.372	0.000
13	1	0.160	0.000	0.160	-1.747	0.000	3.052	0.000
14	1	0.173	0.000	0.173	-1.664	0.000	2.769	0.000
15	1	0.185	0.000	0.185	-1.586	0.000	2.515	0.000
16	1	0.198	0.000	0.198	-1.513	0.000	2.288	0.000
17	1	0.210	0.000	0.210	-1.443	0.000	2.083	0.000
18	1	0.223	0.000	0.223	-1.377	0.000	1.897	0.000
19	1	0.236	0.000	0.236	-1.315	0.000	1.728	0.000
20	1	0.248	0.000	0.248	-1.255	0.000	1.574	0.000
21	1	0.261	0.000	0.261	-1.197	0.000	1.433	0.000
22	1	0.273	0.000	0.273	-1.142	0.000	1.304	0.000
23	1	0.286	0.000	0.286	-1.088	0.000	1.185	0.000
24	1	0.298	0.000	0.298	-1.037	0.000	1.075	0.000
25	1	0.311	0.000	0.311	-0.987	0.000	0.974	0.000
26	1	0.324	0.000	0.324	-0.939	0.000	0.881	0.000
27	1	0.336	0.000	0.336	-0.892	0.000	0.795	0.000
28	1	0.349	0.000	0.349	-0.846	0.000	0.716	0.000
29	1	0.361	0.000	0.361	-0.802	0.000	0.643	0.000
30	1	0.374	0.000	0.374	-0.758	0.000	0.575	0.000
31	1	0.387	0.000	0.387	-0.716	0.000	0.512	0.000
32	1	0.399	0.000	0.399	-0.674	0.000	0.455	0.000

Tablo 4. 30 'un devamı

NO	YIL	SIRA MEDYAN	$\ln(T_i)$	$F(T_i)$	y_i	$(\ln T_i)^2$	y_i^2	$(\ln T_i)y_i$
33	1	0.412	0.000	0.412	-0.633	0.000	0.401	0.000
34	1	0.424	0.000	0.424	-0.593	0.000	0.352	0.000
35	1	0.437	0.000	0.437	-0.554	0.000	0.307	0.000
36	1	0.450	0.000	0.450	-0.516	0.000	0.266	0.000
37	1	0.462	0.000	0.462	-0.478	0.000	0.228	0.000
38	1	0.475	0.000	0.475	-0.440	0.000	0.194	0.000
39	1	0.487	0.000	0.487	-0.403	0.000	0.162	0.000
40	1	0.500	0.000	0.500	-0.367	0.000	0.134	0.000
41	1	0.513	0.000	0.513	-0.330	0.000	0.109	0.000
42	1	0.525	0.000	0.525	-0.295	0.000	0.087	0.000
43	1	0.538	0.000	0.538	-0.259	0.000	0.067	0.000
44	1	0.550	0.000	0.550	-0.224	0.000	0.050	0.000
45	1	0.563	0.000	0.563	-0.189	0.000	0.036	0.000
46	1	0.576	0.000	0.576	-0.154	0.000	0.024	0.000
47	1	0.588	0.000	0.588	-0.120	0.000	0.014	0.000
48	1	0.601	0.000	0.601	-0.085	0.000	0.007	0.000
49	1	0.613	0.000	0.613	-0.051	0.000	0.003	0.000
50	1	0.626	0.000	0.626	-0.017	0.000	0.000	0.000
51	1	0.639	0.000	0.639	0.017	0.000	0.000	0.000
52	1	0.651	0.000	0.651	0.052	0.000	0.003	0.000
53	1	0.664	0.000	0.664	0.086	0.000	0.007	0.000
54	1	0.676	0.000	0.676	0.120	0.000	0.015	0.000
55	1	0.689	0.000	0.689	0.155	0.000	0.024	0.000
56	1	0.702	0.000	0.702	0.190	0.000	0.036	0.000
57	1	0.714	0.000	0.714	0.225	0.000	0.051	0.000
58	1	0.727	0.000	0.727	0.260	0.000	0.068	0.000
59	1	0.739	0.000	0.739	0.296	0.000	0.088	0.000
60	1	0.752	0.000	0.752	0.332	0.000	0.110	0.000
61	2	0.764	0.693	0.764	0.369	0.480	0.136	0.256
62	3	0.777	1.099	0.777	0.406	1.207	0.165	0.446
63	3	0.790	1.099	0.790	0.444	1.207	0.197	0.488
64	3	0.802	1.099	0.802	0.483	1.207	0.233	0.531
65	3	0.815	1.099	0.815	0.523	1.207	0.273	0.574
66	4	0.827	1.386	0.827	0.564	1.922	0.318	0.781
67	4	0.840	1.386	0.840	0.606	1.922	0.367	0.840
68	4	0.853	1.386	0.853	0.650	1.922	0.422	0.901
69	4	0.865	1.386	0.865	0.695	1.922	0.483	0.964
70	4	0.878	1.386	0.878	0.743	1.922	0.552	1.030
71	5	0.890	1.609	0.890	0.794	2.590	0.630	1.277
72	5	0.903	1.609	0.903	0.847	2.590	0.718	1.364
73	6	0.916	1.792	0.916	0.905	3.210	0.819	1.622
74	6	0.928	1.792	0.928	0.969	3.210	0.938	1.735

Tablo 4. 30 'un devamı

NO	YIL	SIRA MEDYAN	$\ln(T_i)$	$F(T_i)$	y_i	$(\ln T_i)^2$	y_i^2	$(\ln T_i)y_i$
75	6	0.941	1.792	0.941	1.039	3.210	1.080	1.862
76	6	0.953	1.792	0.953	1.120	3.210	1.255	2.008
77	7	0.966	1.946	0.966	1.218	3.787	1.484	2.371
78	7	0.979	1.946	0.979	1.346	3.787	1.813	2.620
79	8	0.991	2.079	0.991	1.554	4.324	2.415	3.232

Yapılan hesaplamalar sonucunda elde edilen değerlerden (3.39) bağıntısı yardımıyla Weibull dağılımı olasılık değerleri hesaplanmıştır. Bulunan değerler bölgelere göre Tablo 4.31'de verilmiştir.

Tablo 4. 31. Tüm bölgelere uygulanan Weibull dağılım modeli sonuçları

1.BÖLGE		2.BÖLGE		3.BÖLGE	
YIL	F(T)	YIL	F(T)	YIL	F(T)
1	0.3017	1	0.337	1	0.310
2	0.6118	2	0.733	2	0.569
3	0.8114	3	0.927	3	0.744
4	0.9174	4	0.986	4	0.852
5	0.9669	5	0.998	5	0.917
6	0.9877	6	1.000	6	0.954
7	0.9957	7	1.000	7	0.975
8	0.9986	8	1.000	8	0.987
9	0.9996	9	1.000	9	0.993
10	0.9999	10	1.000	10	0.996

4.4. Poisson Dağılım Modelinin Uygulanması

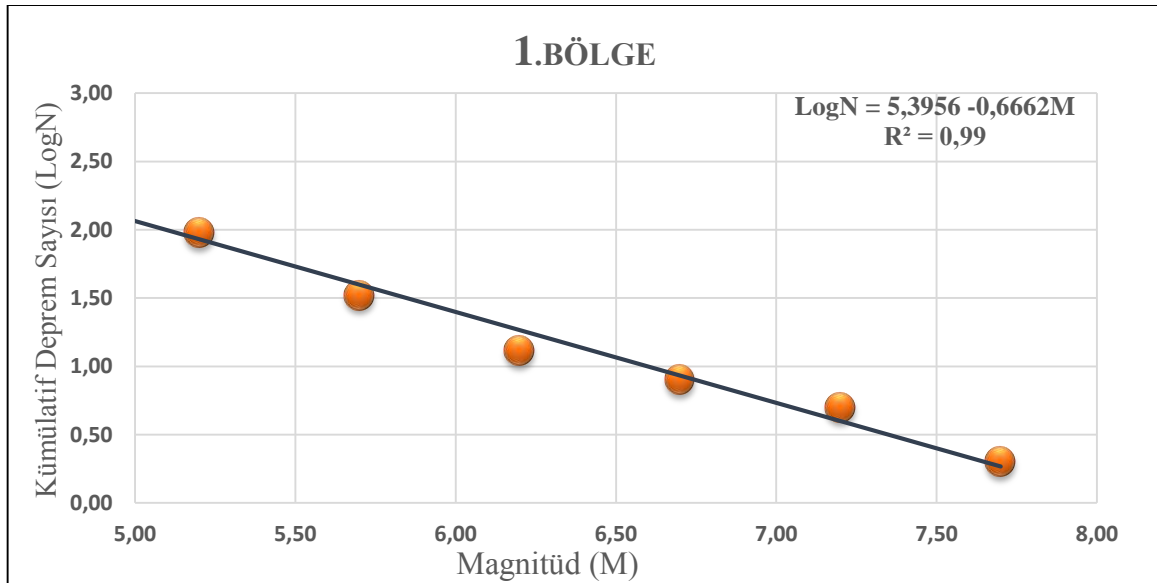
Sismolojide yaygın bir şekilde kullanılan Poisson dağılım modeli, Magnitüd-Frekans ilişkileriyle bölgelere göre oluşan depremler için uygulanmıştır. Magnitüd-Frekans ilişkileri Bölüm 3.3.1'de detaylı olarak anlatılmıştır. (3.54) bağıntısında a ve b parametrelerini hesaplamak için bölgelere göre meydana gelen ($M_s \geq 4.0$) deprem verileri kullanılmıştır (Şekil 4.1). Bu hesaplamalar yapılırken ayrıntısı Bölüm 3.3.1'de verilen En Küçük Kareler yaklaşımı kullanılmıştır. (3.68) bağıntısı ile bölgelerde gelecek 10 yılda meydana gelebilecek ($M_s \geq 5.0$) depremlerin olasılıkları ve (3.69) bağıntısı ile de bölgelere göre deprem tekrarlama periyotları belirlenmeye çalışılmıştır. Tablo 4.32'de 1.bölgeye ait

kullanılan deprem sayıları ve Poisson dağılım modeli için gerekli parametreler görülmektedir.

Tablo 4. 32. 1. bölgede Poisson dağılım modelinin uygulama aşamasında hesaplanan parametreler

1.BÖLGE						
Magnitüd (Ms)	Deprem Sayısı (N)	Ortalama Magnitüd	Ni	LogNi	a	b
4.0-4.4	207	4.20	417.00	2.62	5.3956	0.6662
4.5-4.9	115	4.70	210.00	2.32		
5.0-5.4	62	5.20	95.00	1.98		
5.5-5.9	20	5.70	33.00	1.52		
6.0-6.4	5	6.20	13.00	1.11		
6.5-6.9	3	6.70	8.00	0.90		
7.0-7.4	3	7.20	5.00	0.70		
7.5-7.9	2	7.70	2.00	0.30		

1. bölge için a ve b katsayılarını hesaplamak için oluşturulan magnitüde karşılık çizilen kümülatif deprem sayısı grafiği ve elde edilen bağıntı Şekil 4.6 verilmiştir. Tüm hesaplanan değerlerden gelecek 10 yıllık periyot için farklı magnitüd değerlerine göre deprem olma olasılıkları ve deprem tekrarlama periyotları tahmin edilmeye çalışılmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 4.33'de verilmiştir.



Şekil 4. 6. 1. bölgede a ve b katsayıları hesaplamak için oluşturulan Magnitüd – LogN grafiği (R; ilişki katsayısıdır)

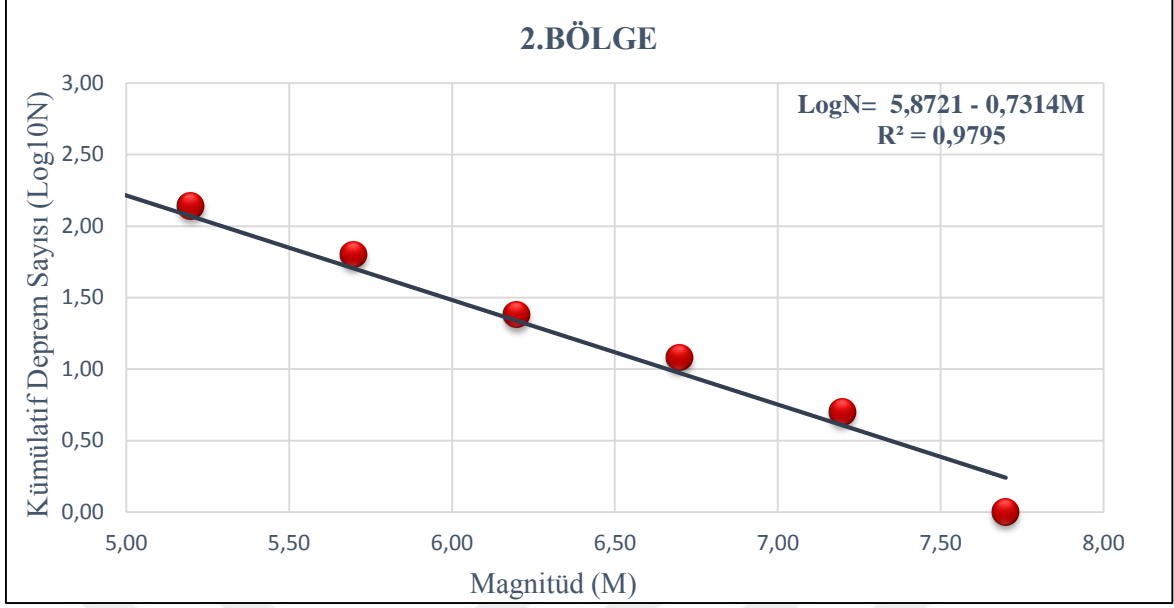
Tablo 4. 33. 1.bölgede Poisson dağılım modeline göre gelecek 10 yıllık periyotta magnitüdüleri $5.0 \leq M_s \leq 8.0$ olan depremlerin olma olasılıkları (R), yıllık ortalama oluş sayıları (n) ve deprem tekrarlama periyotları (Q)

1.BÖLGE											
T(yıl)	R(5.0)	R(5.2)	R(5.5)	R(5.7)	R(6.0)	R(6.2)	R(6.5)	R(6.7)	R(7.0)	R(7.5)	R(8.0)
1	0.482	0.384	0.263	0.201	0.132	0.099	0.064	0.047	0.030	0.014	0.007
2	0.732	0.620	0.457	0.362	0.247	0.188	0.123	0.092	0.059	0.028	0.013
3	0.861	0.766	0.600	0.490	0.347	0.269	0.179	0.135	0.088	0.042	0.020
4	0.928	0.856	0.705	0.593	0.433	0.341	0.232	0.176	0.115	0.055	0.026
5	0.963	0.911	0.783	0.675	0.508	0.407	0.281	0.215	0.142	0.069	0.032
6	0.981	0.945	0.840	0.740	0.573	0.465	0.327	0.252	0.168	0.082	0.039
7	0.990	0.966	0.882	0.793	0.630	0.518	0.369	0.288	0.193	0.095	0.045
8	0.995	0.979	0.913	0.834	0.679	0.566	0.410	0.321	0.217	0.107	0.051
9	0.997	0.987	0.936	0.868	0.721	0.609	0.447	0.354	0.241	0.120	0.058
10	0.999	0.992	0.953	0.894	0.758	0.648	0.483	0.384	0.264	0.132	0.064
	n(5.0)	n(5.2)	n(5.5)	n(5.7)	n(6.0)	n(6.2)	n(6.5)	n(6.7)	n(7.0)	n(7.5)	n(8.0)
	0.658	0.484	0.305	0.225	0.142	0.104	0.066	0.048	0.031	0.014	0.007
	Q(5.0)	Q(5.2)	Q(5.5)	Q(5.7)	Q(6.0)	Q(6.2)	Q(6.5)	Q(6.7)	Q(7.0)	Q(7.5)	Q(8.0)
	1.520	2.066	3.274	4.449	7.049	9.580	15.178	20.628	32.683	70.375	151.537

2. bölgeye Poisson modelin uygulanması aşamalarında hesaplanan parametreler Tablo 4.34’de, a ve b katsayılarının hesaplanması için oluşturulan grafik Şekil 4.7’de ve elde edilen sonuçlar Tablo 4.35’de verilmiştir.

Tablo 4. 34. 2. bölgede Poisson dağılım modelinin uygulama aşamasında hesaplanan parametreler

2.BÖLGE						
Magnitüd (Ms)	Deprem Sayısı (N)	Ortalama Magnitüd	Ni	LogNi	a	b
4.0-4.4	185	4.20	445.00	2.65	5.8721	0.7314
4.5-4.9	122	4.70	260.00	2.41		
5.0-5.4	75	5.20	138.00	2.14		
5.5-5.9	39	5.70	63.00	1.80		
6.0-6.4	12	6.20	24.00	1.38		
6.5-6.9	7	6.70	12.00	1.08		
7.0-7.4	4	7.20	5.00	0.70		
7.5-7.9	1	7.70	1.00	0.00		



Şekil 4. 7. 2.bölgede a ve b katsayıları hesaplamak için oluşturulan Magnitüd – LogN grafiği (R; ilişki katsayısıdır)

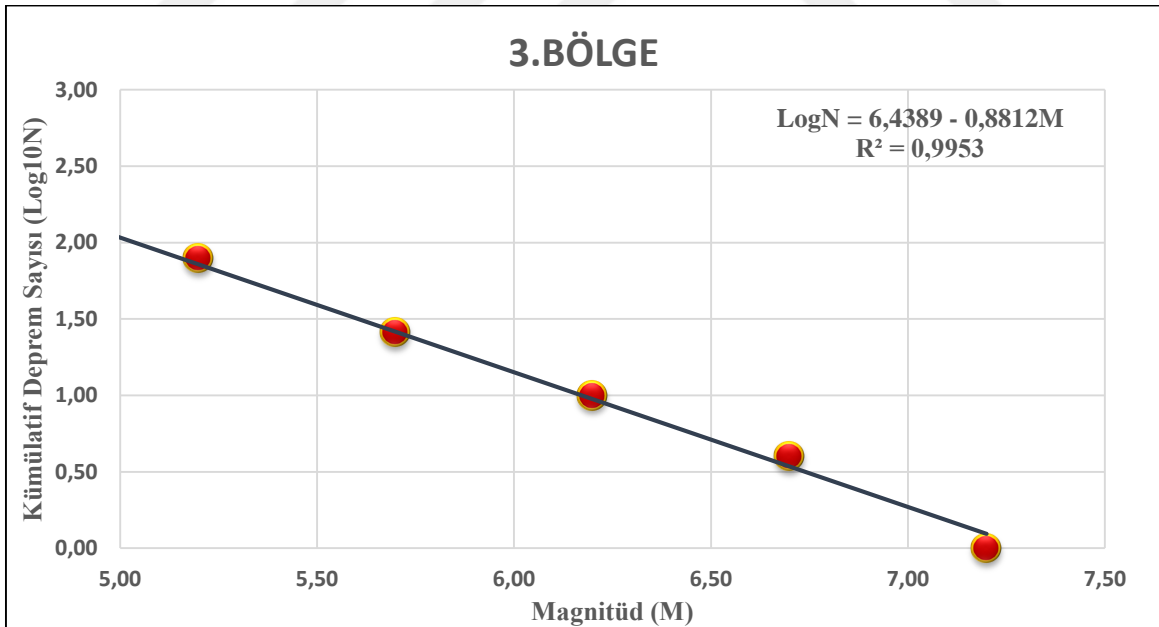
Tablo 4. 35. 2.bölgede Poisson dağılım modeline göre gelecek 10 yıllık periyotta magnitüdüleri $5.0 \leq M_s \leq 8.0$ olan depremlerin olma olasılıkları (R), yıllık ortalama oluş sayıları (n) ve deprem tekrarlama periyotları (Q)

2.BÖLGE											
T (yıl)	R(5.0)	R(5.2)	R(5.5)	R(5.7)	R(6.0)	R(6.2)	R(6.5)	R(6.7)	R(7.0)	R(7.5)	R(8.0)
1	0.571	0.454	0.306	0.229	0.146	0.106	0.066	0.047	0.029	0.012	0.005
2	0.816	0.702	0.518	0.406	0.270	0.201	0.127	0.092	0.057	0.025	0.011
3	0.921	0.837	0.665	0.542	0.376	0.286	0.184	0.135	0.084	0.037	0.016
4	0.966	0.911	0.768	0.647	0.467	0.362	0.237	0.176	0.110	0.049	0.021
5	0.986	0.951	0.839	0.728	0.544	0.430	0.287	0.215	0.136	0.061	0.027
6	0.994	0.973	0.888	0.791	0.611	0.490	0.334	0.252	0.161	0.073	0.032
7	0.997	0.986	0.922	0.839	0.667	0.544	0.378	0.287	0.185	0.084	0.037
8	0.999	0.992	0.946	0.876	0.716	0.593	0.418	0.321	0.208	0.096	0.042
9	1.000	0.996	0.963	0.904	0.757	0.636	0.457	0.353	0.231	0.107	0.048
10	1.000	0.998	0.974	0.926	0.793	0.675	0.492	0.384	0.253	0.118	0.053
	n(5.0)	n(5.2)	n(5.5)	n(5.7)	n(6.0)	n(6.2)	n(6.5)	n(6.7)	n(7.0)	n(7.5)	n(8.0)
	0.847	0.605	0.365	0.261	0.157	0.112	0.068	0.048	0.029	0.013	0.005
	Q(5.0)	Q(5.2)	Q(5.5)	Q(5.7)	Q(6.0)	Q(6.2)	Q(6.5)	Q(6.7)	Q(7.0)	Q(7.5)	Q(8.0)
	1.180	1.653	2.739	3.837	6.359	8.905	14.759	20.670	34.259	79.519	184.573

3.bölge için Poisson dağılım modeli uygulama aşamalarında hesaplanan parametreler Tablo 4.36 'de. a ve b katsayılarının hesaplanması için oluşturulan grafik Şekil 4.8'de ve elde edilen sonuçlar Tablo 4.37' de verilmiştir.

Tablo 4. 36. 3. bölgede Poisson dağılım modelin uygulama aşamasında hesaplanan parametreler

3.BÖLGE						
Büyüklik (Ms)	Deprem Sayısı (N)	Ortalama Büyüklik	Ni	LogNi	a	b
4.0-4.4	225	4.20	447.00	2.65	6.4389	0.8812
4.5-4.9	143	4.70	222.00	2.35		
5.0-5.4	53	5.20	79.00	1.90		
5.5-5.9	16	5.70	26.00	1.41		
6.0-6.4	6	6.20	10.00	1.00		
6.5-6.9	3	6.70	4.00	0.60		
7.0-7.4	1	7.20	1.00	0.00		



Şekil 4. 8. 3.bölgede a ve b katsayıları hesaplamak için oluşturulan Magnitüd – LogN grafiği (R; ilişki katsayısıdır)

Tablo 4. 37. 3.bölgede Poisson dağılım modeline göre gelecek 10 yıllık periyotta magnitüdüleri $5.0 \leq M_s \leq 8.0$ olan depremlerin olma olasılıkları (R), yıllık ortalama oluş sayıları (n) ve deprem tekrarlama periyotları (Q)

3.BÖLGE											
T (yıl)	R(5.0)	R(5.2)	R(5.5)	R(5.7)	R(6.0)	R(6.2)	R(6.5)	R(6.7)	R(7.0)	R(7.5)	R(8.0)
1	0.370	0.265	0.154	0.106	0.059	0.040	0.022	0.015	0.008	0.003	0.001
2	0.603	0.460	0.285	0.200	0.114	0.078	0.043	0.029	0.016	0.006	0.002
3	0.750	0.603	0.395	0.285	0.167	0.114	0.064	0.043	0.024	0.009	0.003
4	0.843	0.708	0.489	0.360	0.216	0.150	0.084	0.057	0.031	0.012	0.004
5	0.901	0.786	0.567	0.428	0.262	0.183	0.104	0.071	0.039	0.014	0.005
6	0.938	0.843	0.634	0.488	0.306	0.216	0.124	0.084	0.047	0.017	0.006
7	0.961	0.884	0.691	0.542	0.346	0.247	0.143	0.098	0.054	0.020	0.007
8	0.975	0.915	0.738	0.591	0.385	0.277	0.162	0.111	0.062	0.023	0.008
9	0.984	0.938	0.779	0.634	0.421	0.305	0.180	0.124	0.069	0.026	0.009
10	0.990	0.954	0.813	0.673	0.455	0.333	0.198	0.137	0.077	0.029	0.010
	n(5.0)	n(5.2)	n(5.5)	n(5.7)	n(6.0)	n(6.2)	n(6.5)	n(6.7)	n(7.0)	n(7.5)	n(8.0)
	0.462	0.308	0.168	0.112	0.061	0.041	0.022	0.015	0.008	0.003	0.001
	Q 5.0	Q 5.2	Q 5.5	Q 5.7	Q 6.0	Q 6.2	Q 6.5	Q 6.7	Q 7.0	Q 7.5	Q 8.0
	2.163	3.246	5.966	8.952	16.455	24.690	45.382	68.097	125.166	345.214	952.112

4.5. Üstel Dağılımı Çalışmaları

Üstel dağılım modeli bölgelerde meydana gelen $M_s \geq 4.0$ olan depremlere uygulanmıştır (Şekil 4.1). Bölüm 3.4'te tanımlanan (3.87) ve (3.89) bağıntılar kullanılarak model için gerekli olan uygulama parametreleri hesaplanmış ve bölge sırasına göre verilmiştir.

1. bölgeye modelin uygulanması için gerekli parametreler Tablo 4.38'de, bu parametreler kullanılarak $M_s \geq 4.0$ olan depremlerin yıllık tekrarlama periyotları (F_i) ve yıllık beklenen ortalama periyodları Tablo 4.39'de verilmiştir.

2.bölgeye Üstel dağılım modelinin uygulanması için gerekli parametreler Tablo 4.40'ta, bu parametreler kullanılarak $M_s \geq 4.0$ olan depremlerin yıllık tekrarlama periyotları (F_i) ve yıllık beklenen ortalama periyodları Tablo 4.41'de verilmiştir.

3.bölgeye modelin uygulanması için gerekli parametreler Tablo 4.42'de, bu parametreler kullanılarak $M_s \geq 4.0$ olan depremlerin yıllık tekrarlama periyotları (F_i) ve yıllık beklenen ortalama periyodları Tablo 4.43'de verilmiştir.

Tablo 4. 38. 1.bölgede Üstel dağılım model için frekans dağılımı (f_i) ve yüzdelikler

1.BÖLGE					
SINIF NUMARASI	MAGNİTÜD ALT SINIR	MAGNİTÜD ORTA DEĞERİ (O_i)	MAGNİTÜD ÜST SINIR	SAYI (f_i)	%
1	4	4.2	4.4	207	0.4964
2	4.5	4.7	4.9	115	0.2758
3	5	5.2	5.4	62	0.1487
4	5.5	5.7	5.9	20	0.0480
5	6	6.2	6.4	5	0.0120
6	6.5	6.7	6.9	3	0.0072
7	7	7.2	7.4	3	0.0072
8	7.5	7.7	7.9	2	0.0048
			TOPLAM	417	1.00

Tablo 4. 39. 1.bölgede Üstel dağılım model için deneysel (F_{MG}), kuramsal (F_{MB}) dağılım fonksiyonları, beklenen yıllık tekrarlanma sayıları (F_i) ve ortalama tekrarlanma periyodları

1.BÖLGE					
DENEYSEL $F_{MG}(X)$	$f_M(X)$	KURAMSAL $F_{MB}(X)$	FARK	F_i	ORTALAMA TEKRARLANMA PERİYODU (YIL)
0.4964	0.3660	0.3660	-0.1304	1.5263	0.6552
0.7722	0.4623	0.8283	0.0562	1.9279	0.5187
0.9209	0.1480	0.9763	0.0554	0.6170	1.6208
0.9688	0.0474	1.0237	0.0548	0.1975	5.0645
0.9808	0.0152	1.0388	0.0580	0.0632	15.8251
0.9880	0.0048	1.0437	0.0556	0.0202	49.4491
0.9952	0.0016	1.0452	0.0500	0.0065	154.5144
1.0000	0.0005	1.0457	0.0457	0.0021	482.8140

Tablo 4. 40. 2.bölgede Üstel dağılım model için frekans dağılımı (f_i) ve yüzdeler

2.BÖLGE					
SINIF NUMARASI	MAGNİTÜD ALT SINIR	MAGNİTÜD ORTA DEĞERİ (O_i)	MAGNİTÜD ÜST SINIR	SAYI (f_i)	%
1	4	4.2	4.4	185	0.4157
2	4.5	4.7	4.9	122	0.2742
3	5	5.2	5.4	75	0.1685
4	5.5	5.7	5.9	39	0.0876
5	6	6.2	6.4	12	0.0270
6	6.5	6.7	6.9	7	0.0157
7	7	7.2	7.4	4	0.0090
8	7.5	7.7	7.9	1	0.0022
TOPLAM				445	1.00

Tablo 4. 41. 2.bölgede Üstel dağılım model için deneysel (F_{MG}), kuramsal (F_{MB}) dağılım fonksiyonları, beklenen yıllık tekrarlanma sayıları (F_i) ve ortalama tekrarlanma periyodları

2.BÖLGE					
DENEYSSEL $F_{MG}(X)$	$f_M(X)$	KURAMSAL $F_{MB}(X)$	FARK	F_i	ORTALAMA TEKRARLANMA PERİYODU (YIL)
0.4157	0.2980	0.2980	-0.1177	1.3263	0.7540
0.6899	0.5128	0.8108	0.1209	2.2818	0.4382
0.8584	0.2117	1.0225	0.1641	0.9420	1.0615
0.9461	0.0874	1.1099	0.1638	0.3889	2.5713
0.9730	0.0361	1.1460	0.1729	0.1606	6.2283
0.9888	0.0149	1.1609	0.1721	0.0663	15.0865
0.9978	0.0061	1.1670	0.1693	0.0274	36.5431
1.0000	0.0025	1.1696	0.1696	0.0113	88.5161

Tablo 4. 42. 3.bölgede Üstel dağılım model için frekans dağılımı (f_i) ve yüzdelikler

3.BÖLGE					
SINIF NUMARASI	MAGNİTÜD ALT SINIR	MAGNİTÜD ORTA DEĞERİ (O_i)	MAGNİTÜD ÜST SINIR	SAYI (f_i)	%
1	4	4.2	4.4	225	0.5034
2	4.5	4.7	4.9	143	0.3199
3	5	5.2	5.4	53	0.1186
4	5.5	5.7	5.9	16	0.0358
5	6	6.2	6.4	6	0.0134
6	6.5	6.7	6.9	3	0.0067
7	7	7.2	7.4	1	0.0022
			TOPLAM	447	1.00

Tablo 4. 43. 3.bölgede Üstel dağılım model için deneysel (F_{MG}), kuramsal (F_{MB}) dağılım fonksiyonları, beklenen yıllık tekrarlanma sayıları (F_i) ve ortalama tekrarlanma periyodları

3.BÖLGE					
DENEYSEL $F_{MG}(X)$	$f_M(X)$	KURAMSAL $F_{MB}(X)$	FARK	F_i	ORTALAMA TEKRARLANMA PERİYODU (YIL)
0.5034	0.4071	0.4071	-0.0962	1.8199	0.5495
0.8233	0.4194	0.8265	0.0033	1.8747	0.5334
0.9418	0.1135	0.9400	-0.0018	0.5073	1.9710
0.9776	0.0307	0.9708	-0.0069	0.1373	7.2832
0.9911	0.0083	0.9791	-0.0120	0.0372	26.9126
0.9978	0.0022	0.9813	-0.0164	0.0101	99.4457
1.0000	0.0006	0.9819	-0.0181	0.0027	367.4653

5. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR

Tez kapsamında inceleme alanı olarak belirlenen bölgelerde yapılan istatistiksel çalışmaların yöntemleri Bölüm 3’de ve uygulama basamaklarında elde edilen parametreler tablolar halinde Bölüm 4’de detaylı olarak verilmiştir. Uygulanan istatistiksel yöntemlerin sonuçları bu bölümde gösterilmiştir.

5.1 Markov Model Uygulama Sonuçları

5.1.1. Bölgeler Arası Deprem Geçişleri Markov Zincir Modeli Sonuçları

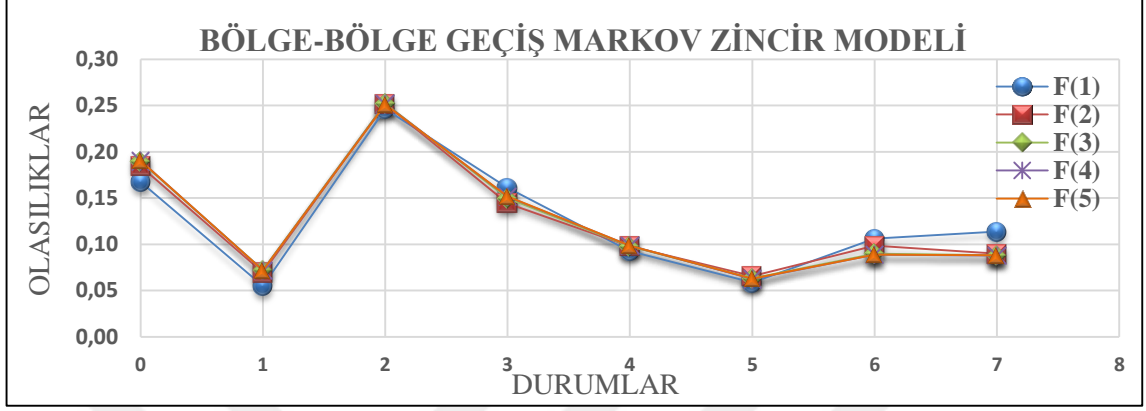
Markov zincir modelinin uygulanması için oluşturulan bölgelere göre Tablo 4.1’de tanımlanan durumların gelecek 5 yıl için tahmin edilen ($M_s \geq 5.0$) geçiş olasılıklarının sonuçları Tablo 5.1’de detaylı olarak verilmiştir. Burada 0’dan 7’ye kadar tanımlanan geçiş olasılıkları şu şekilde ifade edilir; 0’durumu her üç bölgede deprem olmama olasılığı; 1 durumu 1.bölgede deprem olup diğer iki bölgede deprem olmama olasılığı; 2 durumu 2. bölgede deprem olup 1. ve 3. bölgede olmama olasılığını, 3 durumu 3. bölgede deprem olup diğer 2 bölgede deprem olmama olasılığını, 4 durumu 1.ve 2. bölgede deprem olup 3. bölgede deprem olmama olasılığını, 5 durumu 1. ve 3. bölgede deprem olması 2.bölgede olmama olasılığını, 6 durumu 2.ve 3. bölgede deprem olup 1. bölgede deprem olmama olasılığını ve 7 durumu her üç bölgede de deprem olma olasılığını ifade etmektedir.

Tablo 5. 1. Gelecek 5 yıllık periyot için durumlara göre geçiş olasılıkları

	0	1	2	3	4	5	6	7
F(1)	0.168	0.055	0.246	0.161	0.093	0.059	0.106	0.114
F(2)	0.185	0.069	0.252	0.144	0.098	0.066	0.099	0.090
F(3)	0.190	0.072	0.252	0.150	0.098	0.063	0.090	0.088
F(4)	0.190	0.072	0.251	0.151	0.098	0.063	0.089	0.088
F(5)	0.190	0.072	0.251	0.152	0.099	0.063	0.089	0.088

Buna göre Tablo 5.1’de gösterilen 0’durumu için hesaplanan 0.168 lik F(1)’değeri gelecek 1 yıl içerisinde her üç bölgede %16.8’lik deprem olmama olasılığını, 1’ durumu için hesaplanan 0.055 lik F(1)’değeri ise 1 yıl içerisinde 1.bölgede deprem olup 2.ve 3. bölgede

deprem olmama olasılığını % 5.5 olarak ifade etmektedir. Elde edilen sonuçlara göre oluşturulan bölge-bölge geçiş olasılıkları gelecek 5 yıl için Şekil 5.1’de grafik olarak gösterilmiştir.



Şekil 5. 1. Bölge-Bölge geçiş Markov zincir modeli sonuçları

5.1.2. Bölgeler Arası Deprem Geçişleri Semi-Markov Modeli Sonuçları

Bölgeler arası deprem geçiş olasılıkları ayrıca Semi-Markov model kullanılarak Tablo 4.4’de oluşturulan durumlara göre değerlendirilmiştir. Sonuçlara göre gelecek 5 yıllık periyot için elde edilen deprem ($M_s \geq 5.0$) geçiş olasılıkları Tablo 5.2’de verilmiştir. Oluşturulan tabloda 1-1’ durumunda hesaplanan 0.35’lik F(1) değeri, 1. bölgede deprem olup sonra tekrar 1. bölgede deprem olma olasılığının %35 olduğunu ifade etmektedir. Elde edilen sonuçlar Şekil 5.2’de grafik olarak gösterilmiştir.

Tablo 5. 2. Gelecek 5 yıllık periyot için durumlara göre geçiş olasılıkları

DURUMLAR	F(1)	F(2)	F(3)	F(4)	F(5)
1-1	0.35	0.35	0.31	0.30	0.29
1-2	0.41	0.38	0.41	0.40	0.42
1-3	0.22	0.27	0.28	0.29	0.29
2-1	0.28	0.27	0.28	0.28	0.29
2-2	0.45	0.46	0.43	0.43	0.42
2-3	0.28	0.28	0.30	0.31	0.31
3-1	0.20	0.26	0.28	0.27	0.27
3-2	0.37	0.40	0.41	0.42	0.42
3-3	0.43	0.35	0.31	0.32	0.32

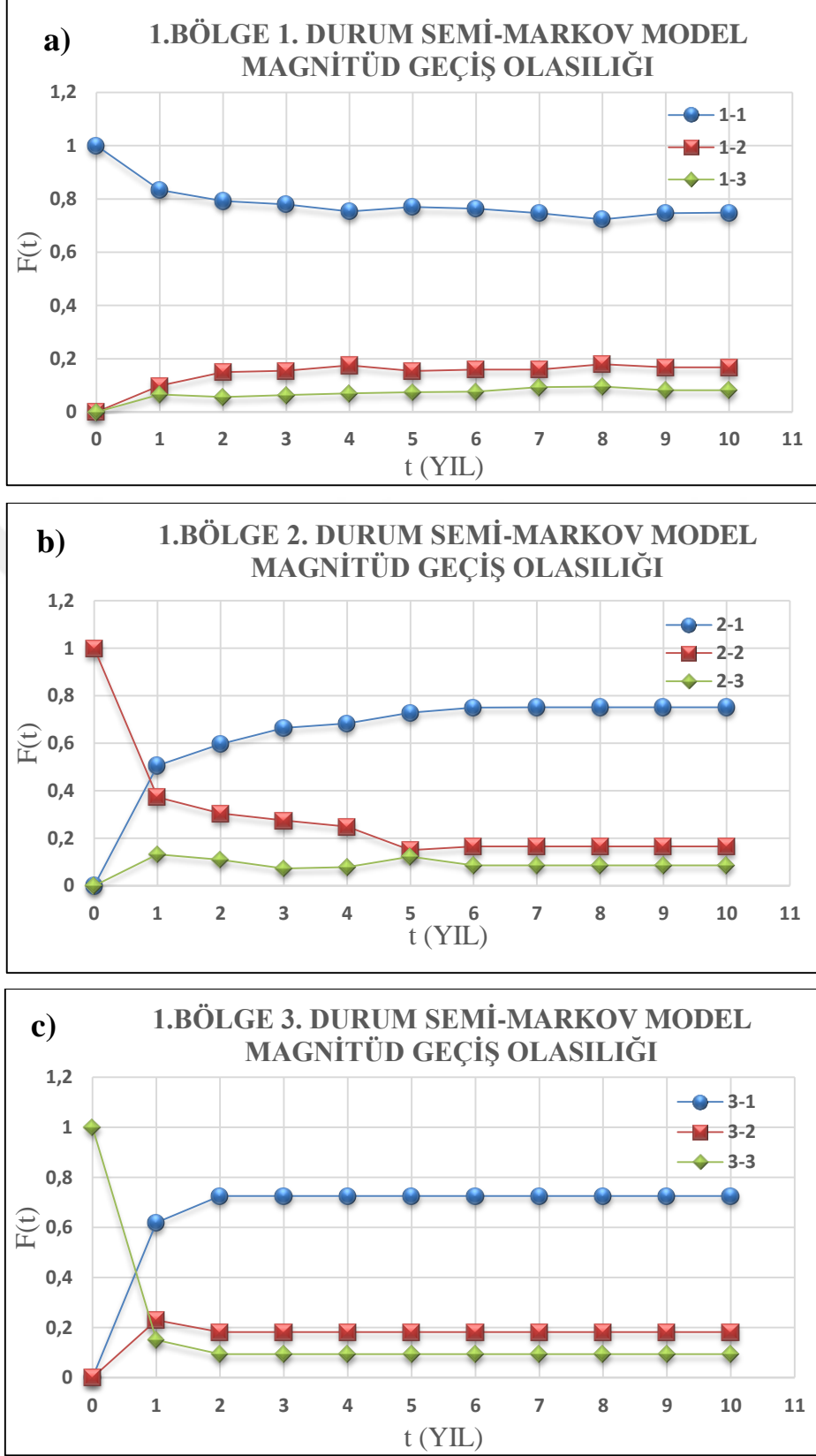
Tablo 5. 4. 2.bölgede Semi-Markov modele göre gelecek 10 yıllık deprem magnitüd geçiş olasılıkları

2.BÖLGE											
DURUMLAR	F(0)	F(1)	F(2)	F(3)	F(4)	F(5)	F(6)	F(7)	F(8)	F(9)	F(10)
1-1	1	0.647	0.571	0.590	0.586	0.579	0.568	0.561	0.561	0.561	0.561
1-2	0	0.246	0.265	0.277	0.276	0.280	0.288	0.293	0.293	0.293	0.293
1-3	0	0.107	0.164	0.133	0.138	0.141	0.144	0.147	0.147	0.147	0.147
2-1	0	0.473	0.494	0.548	0.563	0.569	0.569	0.569	0.569	0.569	0.569
2-2	1	0.348	0.361	0.299	0.297	0.285	0.285	0.285	0.285	0.285	0.285
2-3	0	0.179	0.145	0.153	0.139	0.146	0.146	0.146	0.146	0.146	0.146
3-1	0	0.460	0.513	0.533	0.573	0.557	0.557	0.557	0.557	0.557	0.557
3-2	0	0.329	0.311	0.285	0.285	0.296	0.296	0.296	0.296	0.296	0.296
3-3	1	0.211	0.176	0.182	0.142	0.147	0.147	0.147	0.147	0.147	0.147

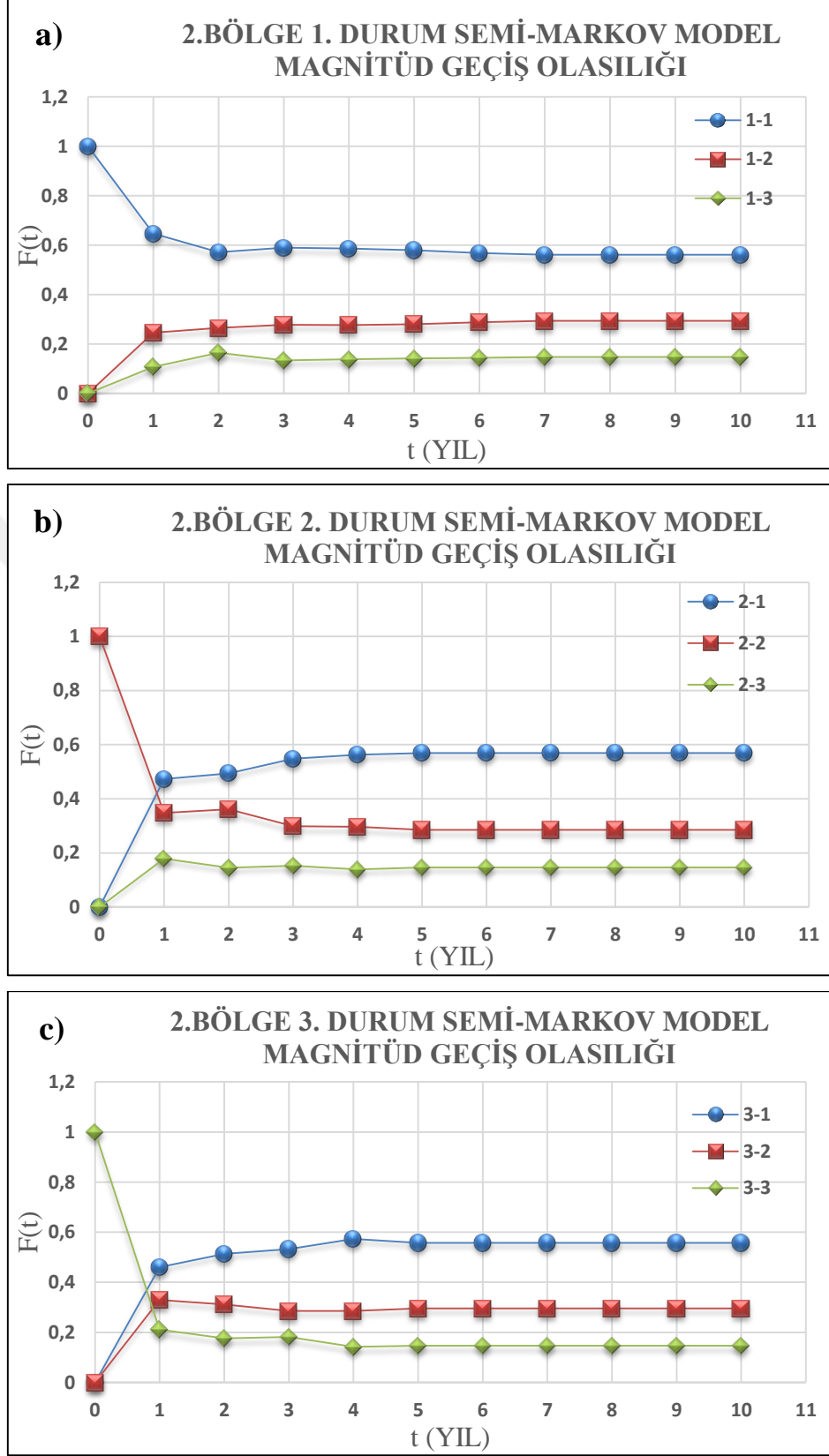
Tablo 5. 5. 3.bölgede Semi-Markov modele göre gelecek 10 yıllık deprem magnitüd geçiş olasılıkları

3.BÖLGE											
DURUMLAR	F(0)	F(1)	F(2)	F(3)	F(4)	F(5)	F(6)	F(7)	F(8)	F(9)	F(10)
1-1	1	0.690	0.723	0.714	0.710	0.707	0.696	0.677	0.665	0.665	0.665
1-2	0	0.209	0.192	0.179	0.193	0.195	0.202	0.214	0.223	0.223	0.223
1-3	0	0.100	0.084	0.105	0.096	0.097	0.101	0.106	0.111	0.111	0.111
2-1	0	0.566	0.506	0.630	0.595	0.633	0.633	0.673	0.673	0.673	0.673
2-2	1	0.374	0.413	0.288	0.251	0.260	0.260	0.214	0.214	0.214	0.214
2-3	0	0.060	0.080	0.080	0.153	0.106	0.106	0.113	0.113	0.113	0.113
3-1	0	0.730	0.635	0.635	0.635	0.635	0.635	0.635	0.635	0.696	0.696
3-2	0	0	0.153	0.153	0.153	0.153	0.153	0.153	0.243	0.172	0.172
3-3	1	0.270	0.212	0.212	0.212	0.212	0.212	0.212	0.122	0.132	0.132

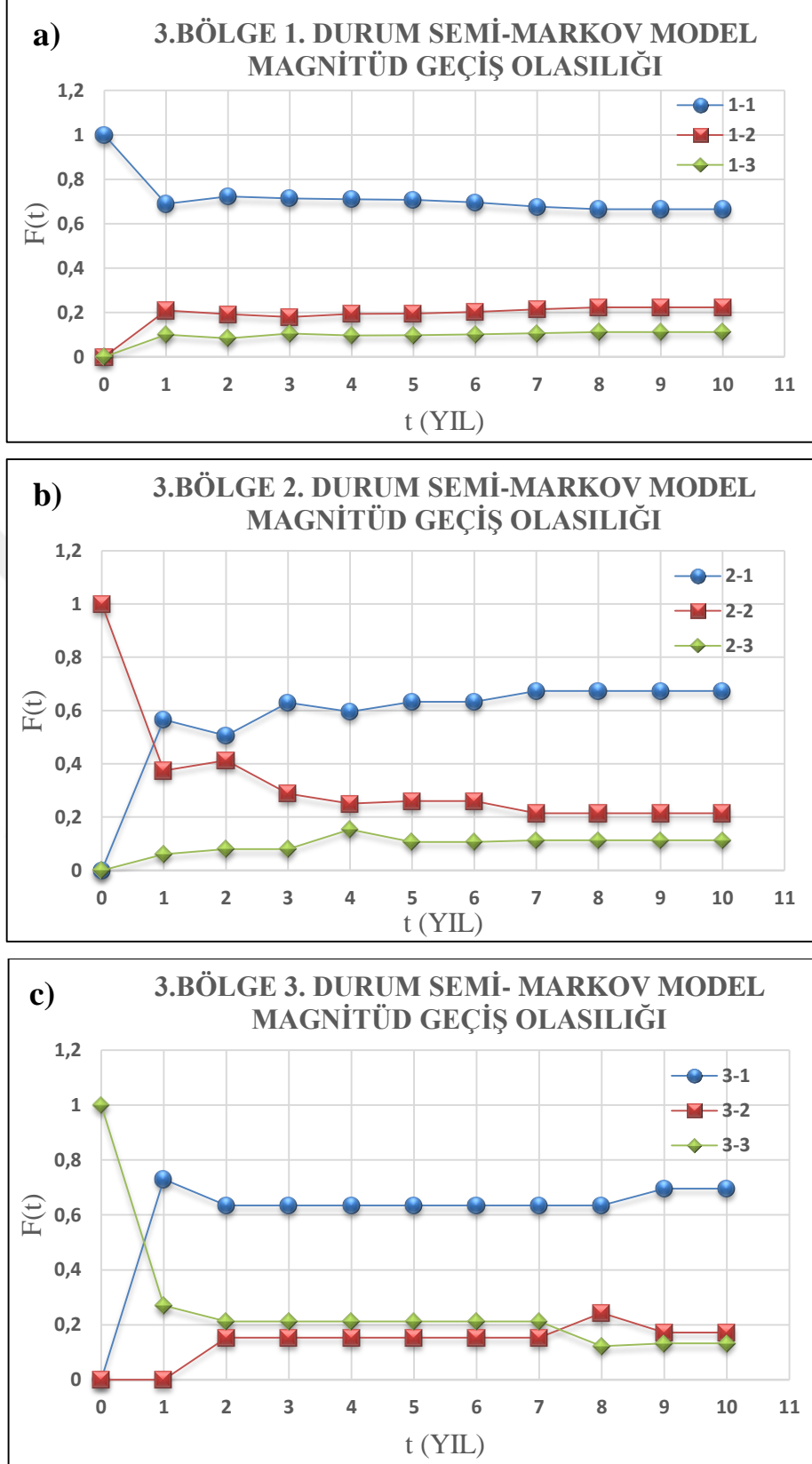
3. bölge için oluşturulan Tablo 5.5 incelendiğinde 1-1' durumuna karşılık gelen F(1) için hesaplanan '0.690' değeri gelecek 1 yıl için 1 durumunda ($5.0 \leq M < 5.5$) belirtilen büyüklükte deprem olduktan sonra tekrar 1 durumunda deprem olma olasılığının %69 olduğunu ifade etmektedir. Depremlerin Markov modeline göre magnitüd geçiş olasılıkları bölge sırasına göre 1.bölge için Şekil 5.3, 2.bölge için Şekil 5.4 ve 3. bölge için Şekil 5.5'te 1.durum($5.0 \leq M < 5.5$), 2.durum ($5.5 \leq M < 6.0$) ve 3.duruma ($6.0 \leq M$) göre ayrılarak grafiklenmiştir.



Şekil 5. 3.Semi-Markov modele göre magnitüd geçiş olasılık değerleri grafiği; a) 1.bölge 1. durum, b) 1.bölge 2. durum, c) 1.bölge 3. durum



Şekil 5. 4. Semi-Markov modele göre magnitüd geçiş olasılık değerleri grafiği; a) 2.bölge 1. durum, b) 2.bölge 2. durum, c) 2.bölge 3. durum



Şekil 5. 5. Semi-Markov modele göre magnitüd geçiş olasılık değerleri grafiği; a) 3.bölge 1. durum, b) 3.bölge 2. durum, c) 3.bölge 3. durum.

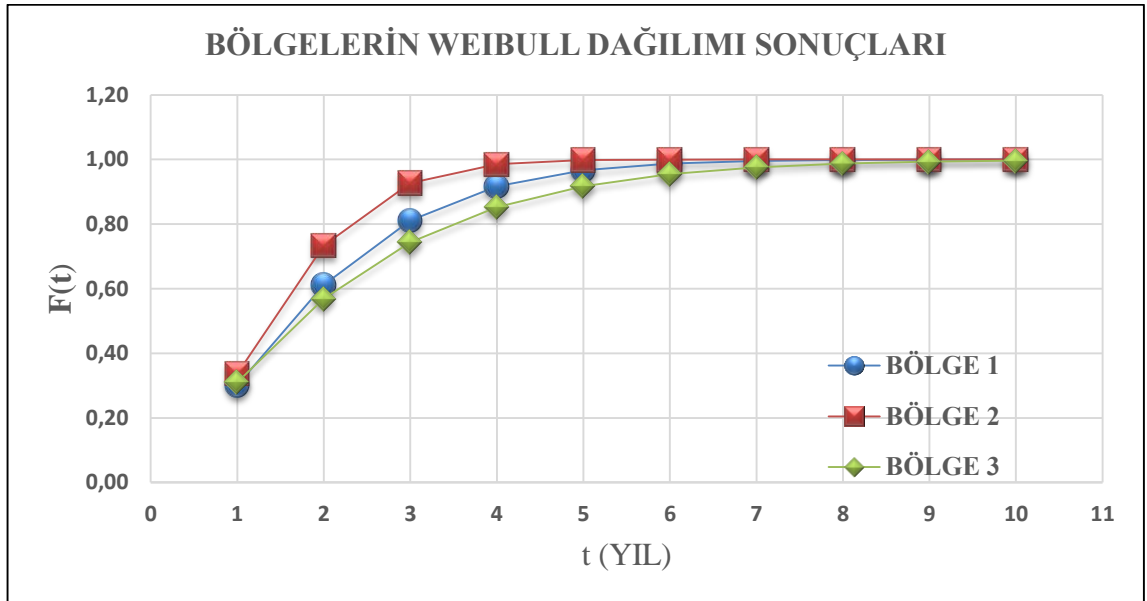
5.3. Weibull Dağılım Modelinin Değerlendirme Sonuçları

Weibull dağılım modeli incelenen bölgelere ayrı ayrı uygulanmış ve elde edilen sonuçlar Tablo 5.6'da verilmiştir. Weibull dağılım modeli yardımıyla gelecek 10 yılda meydana gelebilecek deprem ($M_s \geq 5.0$) olasılıkları elde edilmeye çalışılmıştır.

Tablo 5. 6. Bölgelere göre 10 yıllık deprem olma olasılıkları

1.BÖLGE		2.BÖLGE		3.BÖLGE	
YIL	F(T)	YIL	F(T)	YIL	F(T)
1	0.3017	1	0.337	1	0.310
2	0.6118	2	0.733	2	0.569
3	0.8114	3	0.927	3	0.744
4	0.9174	4	0.986	4	0.852
5	0.9669	5	0.998	5	0.917
6	0.9877	6	1.000	6	0.954
7	0.9957	7	1.000	7	0.975
8	0.9986	8	1.000	8	0.987
9	0.9996	9	1.000	9	0.993
10	0.9999	10	1.000	10	0.996

Tablo incelendiğinde 1 bölge için 1 yılda deprem olma olasılığı $F(T) = \%30.17$ olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan sonuçlar Şekil 5.6'da grafik olarak belirtilmiştir.



Şekil 5. 6. Bölgelerin Weibull dağılım modeline göre deprem olma olasılıkları

5.4. Poisson Dağılım Modelinin Değerlendirme Sonuçları

İnceleme alanında seçilen bölgelerde meydana gelen depremlerden ($M_s \geq 4$) yararlanılarak Poisson dağılım modeli dikkate alınarak magnitüdüleri $M_s \geq 5$ olan depremlerin gelecek 10 yıl içerisinde meydana gelme olasılıkları tahmin edilmeye çalışılmıştır. Her bir bölge için hesaplanan olasılık değerleri Tablo 5.7, Tablo 5.8 ve Tablo 5.9'da verilmiştir.

Tablo 5.9 incelendiğinde 'R(5.0)' ile 1'e karşılık gelen 0.370' değeri 1 yıllık periyot içerisinde büyüklüğü $M_s \geq 5.0$ olan depremin meydana gelme olasılığının %37.0 olduğunu ifade etmektedir. Bu bağlamda 10 yıllık periyotta 1 yıllık artışlar ve değişik magnitüd değerleri için deprem olma olasılıkları tahmin edilmeye çalışılmıştır.

Tablo 5. 7. 1.bölgede Poisson dağılım modeline göre gelecek 10 yıllık periyotta magnitüdüleri $5.0 \leq M_s \leq 8.0$ olan depremlerin olma olasılıkları (R), yıllık ortalama oluş sayıları (n) ve tekrarlama periyotları (Q).

1.BÖLGE											
T(yıl)	R(5.0)	R(5.2)	R(5.5)	R(5.7)	R(6.0)	R(6.2)	R(6.5)	R(6.7)	R(7.0)	R(7.5)	R(8.0)
1	0,482	0,384	0,263	0,201	0,132	0,099	0,064	0,047	0,030	0,014	0,007
2	0,732	0,620	0,457	0,362	0,247	0,188	0,123	0,092	0,059	0,028	0,013
3	0,861	0,766	0,600	0,490	0,347	0,269	0,179	0,135	0,088	0,042	0,020
4	0,928	0,856	0,705	0,593	0,433	0,341	0,232	0,176	0,115	0,055	0,026
5	0,963	0,911	0,783	0,675	0,508	0,407	0,281	0,215	0,142	0,069	0,032
6	0,981	0,945	0,840	0,740	0,573	0,465	0,327	0,252	0,168	0,082	0,039
7	0,990	0,966	0,882	0,793	0,630	0,518	0,369	0,288	0,193	0,095	0,045
8	0,995	0,979	0,913	0,834	0,679	0,566	0,410	0,321	0,217	0,107	0,051
9	0,997	0,987	0,936	0,868	0,721	0,609	0,447	0,354	0,241	0,120	0,058
10	0,999	0,992	0,953	0,894	0,758	0,648	0,483	0,384	0,264	0,132	0,064
	n(5.0)	n(5.2)	n(5.5)	n(5.7)	n(6.0)	n(6.2)	n(6.5)	n(6.7)	n(7.0)	n(7.5)	n(8.0)
	0,658	0,484	0,305	0,225	0,142	0,104	0,066	0,048	0,031	0,014	0,007
	Q 5.0	Q 5.2	Q 5.5	Q 5.7	Q 6.0	Q 6.2	Q 6.5	Q 6.7	Q 7.0	Q 7.5	Q 8.0
	1,520	2,066	3,274	4,449	7,049	9,580	15,178	20,628	32,683	70,375	151,537

Tablo 5. 8. 2.bölgede Poisson dağılım modeline göre gelecek 10 yıllık periyotta magnitüdüleri $5.0 \leq M_s \leq 8.0$ olan depremlerin olma olasılıkları (R), yıllık ortalama oluş sayıları (n) ve tekrarlama periyotları (Q).

2.BÖLGE											
T (yıl)	R(5.0)	R(5.2)	R(5.5)	R(5.7)	R(6.0)	R(6.2)	R(6.5)	R(6.7)	R(7.0)	R(7.5)	R(8.0)
1	0.571	0.454	0.306	0.229	0.146	0.106	0.066	0.047	0.029	0.012	0.005
2	0.816	0.702	0.518	0.406	0.270	0.201	0.127	0.092	0.057	0.025	0.011
3	0.921	0.837	0.665	0.542	0.376	0.286	0.184	0.135	0.084	0.037	0.016
4	0.966	0.911	0.768	0.647	0.467	0.362	0.237	0.176	0.110	0.049	0.021
5	0.986	0.951	0.839	0.728	0.544	0.430	0.287	0.215	0.136	0.061	0.027
6	0.994	0.973	0.888	0.791	0.611	0.490	0.334	0.252	0.161	0.073	0.032
7	0.997	0.986	0.922	0.839	0.667	0.544	0.378	0.287	0.185	0.084	0.037
8	0.999	0.992	0.946	0.876	0.716	0.593	0.418	0.321	0.208	0.096	0.042
9	1.000	0.996	0.963	0.904	0.757	0.636	0.457	0.353	0.231	0.107	0.048
10	1.000	0.998	0.974	0.926	0.793	0.675	0.492	0.384	0.253	0.118	0.053
	n(5.0)	n(5.2)	n(5.5)	n(5.7)	n(6.0)	n(6.2)	n(6.5)	n(6.7)	n(7.0)	n(7.5)	n(8.0)
	0.847	0.605	0.365	0.261	0.157	0.112	0.068	0.048	0.029	0.013	0.005
	Q(5.0)	Q(5.2)	Q(5.5)	Q(5.7)	Q(6.0)	Q(6.2)	Q(6.5)	Q(6.7)	Q(7.0)	Q(7.5)	Q(8.0)
	1.180	1.653	2.739	3.837	6.359	8.905	14.759	20.670	34.259	79.519	184.573

Tablo 5. 9. 3.bölgede Poisson dağılım modeline göre gelecek 10 yıllık periyotta magnitüdüleri $5.0 \leq M_s \leq 8.0$ olan depremlerin olma olasılıkları (R), yıllık ortalama oluş sayıları (n) ve tekrarlama periyotları (Q).

3.BÖLGE											
T (yıl)	R(5.0)	R(5.2)	R(5.5)	R(5.7)	R(6.0)	R(6.2)	R(6.5)	R(6.7)	R(7.0)	R(7.5)	R(8.0)
1	0.370	0.265	0.154	0.106	0.059	0.040	0.022	0.015	0.008	0.003	0.001
2	0.603	0.460	0.285	0.200	0.114	0.078	0.043	0.029	0.016	0.006	0.002
3	0.750	0.603	0.395	0.285	0.167	0.114	0.064	0.043	0.024	0.009	0.003
4	0.843	0.708	0.489	0.360	0.216	0.150	0.084	0.057	0.031	0.012	0.004
5	0.901	0.786	0.567	0.428	0.262	0.183	0.104	0.071	0.039	0.014	0.005
6	0.938	0.843	0.634	0.488	0.306	0.216	0.124	0.084	0.047	0.017	0.006
7	0.961	0.884	0.691	0.542	0.346	0.247	0.143	0.098	0.054	0.020	0.007
8	0.975	0.915	0.738	0.591	0.385	0.277	0.162	0.111	0.062	0.023	0.008
9	0.984	0.938	0.779	0.634	0.421	0.305	0.180	0.124	0.069	0.026	0.009
10	0.990	0.954	0.813	0.673	0.455	0.333	0.198	0.137	0.077	0.029	0.010
	n(5.0)	n(5.2)	n(5.5)	n(5.7)	n(6.0)	n(6.2)	n(6.5)	n(6.7)	n(7.0)	n(7.5)	n(8.0)
	0.462	0.308	0.168	0.112	0.061	0.041	0.022	0.015	0.008	0.003	0.001
	Q 5.0	Q 5.2	Q 5.5	Q 5.7	Q 6.0	Q 6.2	Q 6.5	Q 6.7	Q 7.0	Q 7.5	Q 8.0
	2.163	3.246	5.966	8.952	16.455	24.690	45.382	68.097	125.166	345.214	952.112

5.5. Üstel Dağılım Modeli Değerlendirme Sonuçları

Üstel dağılım modelini uygulamak için bölgelerde meydana gelmiş $M_s \geq 4.0$ olan depremler kullanılarak ortalama tekrarlanma periyodu ve beklenen yıllık deprem tekrarlanma olasılıkları hesaplanmıştır. Bölgelere göre hesaplanan değerler Tablo 5.10, Tablo 5.11 ve Tablo 5.12’de verilmiştir.

Tablo 5. 10. 1.bölgede Üstel dağılım modeline göre ortalama tekrarlanma periyodu ve beklenen yıllık deprem tekrarlanma olasılıkları

1.BÖLGE				
MAGNİTÜD ORTA DEĞERİ (O_i)	$f_M(X)$	KURAMSAL $F_{MB}(X)$	F_i	ORTALAMA TEKRARLANMA PERİYODU (YIL)
4.2	0.3660	0.3660	1.5263	0.6552
4.7	0.4623	0.8283	1.9279	0.5187
5.2	0.1480	0.9763	0.6170	1.6208
5.7	0.0474	1.0237	0.1975	5.0645
6.2	0.0152	1.0388	0.0632	15.8251
6.7	0.0048	1.0437	0.0202	49.4491
7.2	0.0016	1.0452	0.0065	154.5144
7.7	0.0005	1.0457	0.0021	482.8140

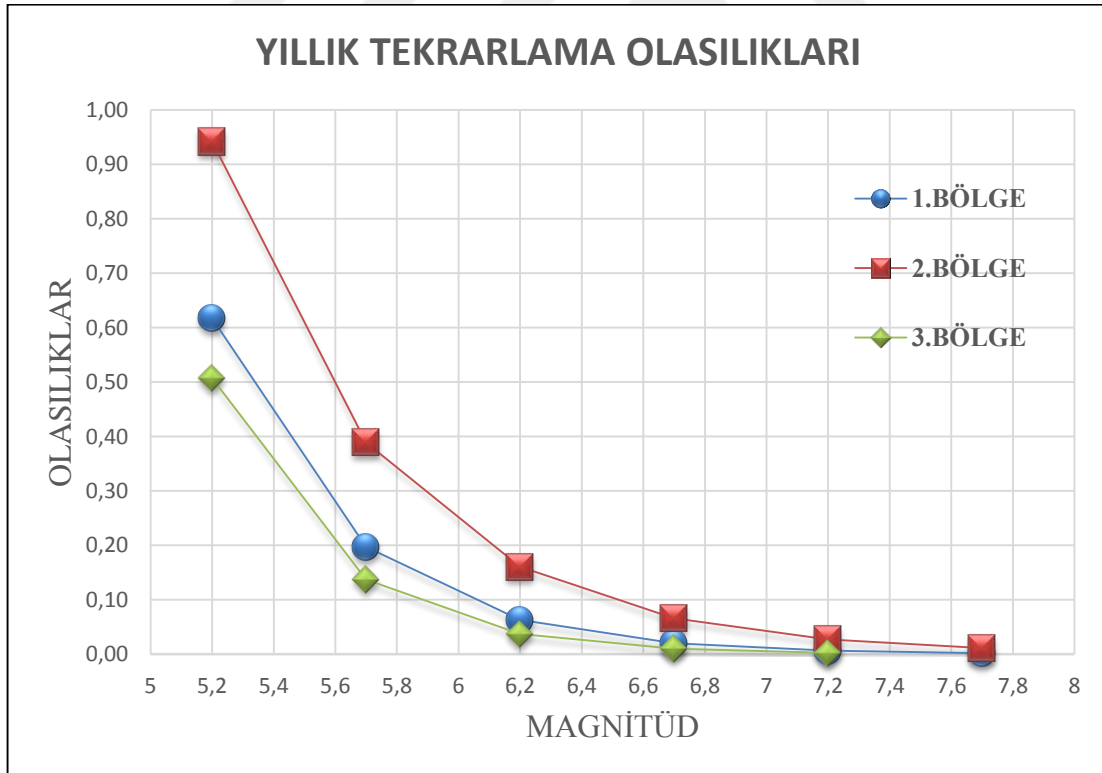
Tablo 5. 11. 2.bölgede Üstel dağılım modeline göre ortalama tekrarlanma periyodu ve beklenen yıllık deprem tekrarlanma olasılıkları

2.BÖLGE				
MAGNİTÜD ORTA DEĞERİ (O_i)	$f_M(X)$	KURAMSAL $F_{MB}(X)$	F_i	ORTALAMA TEKRARLANMA PERİYODU (YIL)
4.2	0.2980	0.2980	1.3263	0.7540
4.7	0.5128	0.8108	2.2818	0.4382
5.2	0.2117	1.0225	0.9420	1.0615
5.7	0.0874	1.1099	0.3889	2.5713
6.2	0.0361	1.1460	0.1606	6.2283
6.7	0.0149	1.1609	0.0663	15.0865
7.2	0.0061	1.1670	0.0274	36.5431
7.7	0.0025	1.1696	0.0113	88.5161

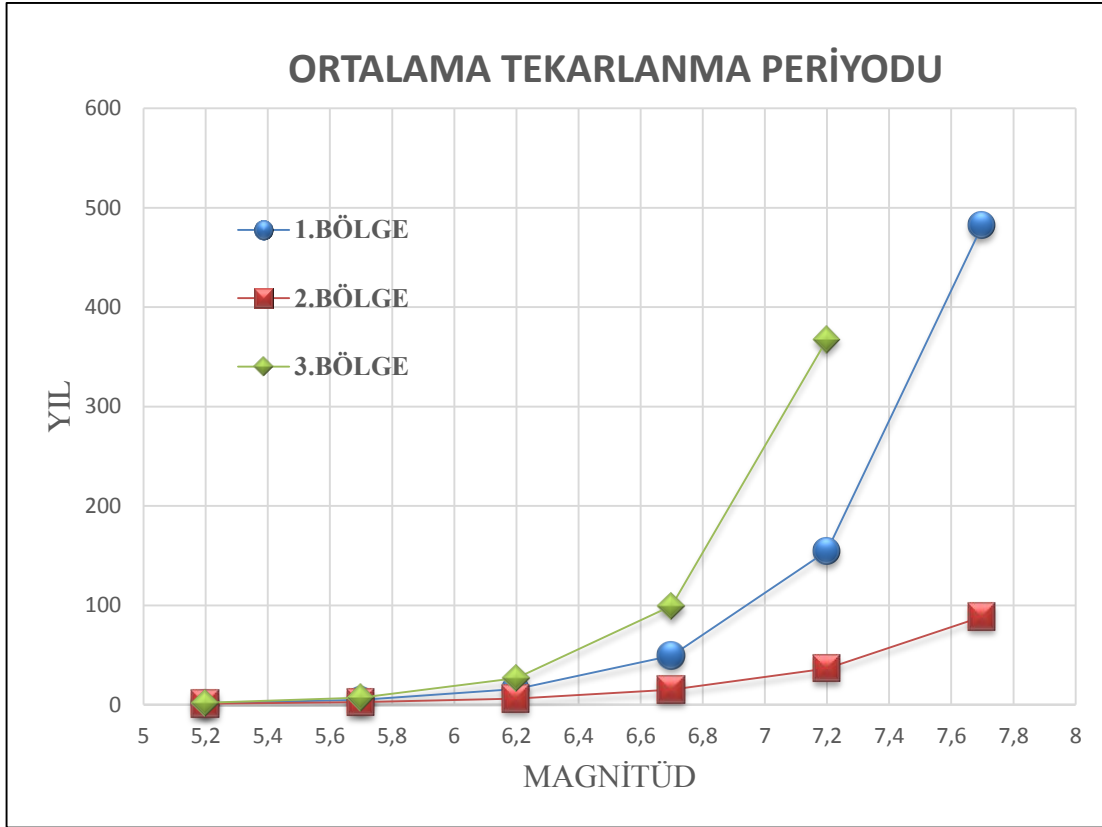
Tablo 5. 12. .3.bölgede Üstel dağılım modeline göre ortalama tekrarlanma periyodu ve beklenen yıllık deprem tekrarlama olasılıkları

3.BÖLGE				
MAGNİTÜD ORTA DEĞERİ (O _i)	f _M (X)	KURAMSAL F _{MB} (X)	F _i	ORTALAMA TEKRARLANMA PERİYODU (YIL)
4.2	0.4071	0.4071	1.8199	0.5495
4.7	0.4194	0.8265	1.8747	0.5334
5.2	0.1135	0.9400	0.5073	1.9710
5.7	0.0307	0.9708	0.1373	7.2832
6.2	0.0083	0.9791	0.0372	26.9126
6.7	0.0022	0.9813	0.0101	99.4457
7.2	0.0006	0.9819	0.0027	367.4653

Bölgelere göre Üstel dağılım modeli ile değerlendirilerek elde edilen sonuçlar grafik olarak Şekil 5.7 ve Şekil 5.8'de gösterilmiştir.



Şekil 5. 7. Bölgelere göre Üstel dağılım yıllık tekrarlama olasılıkları



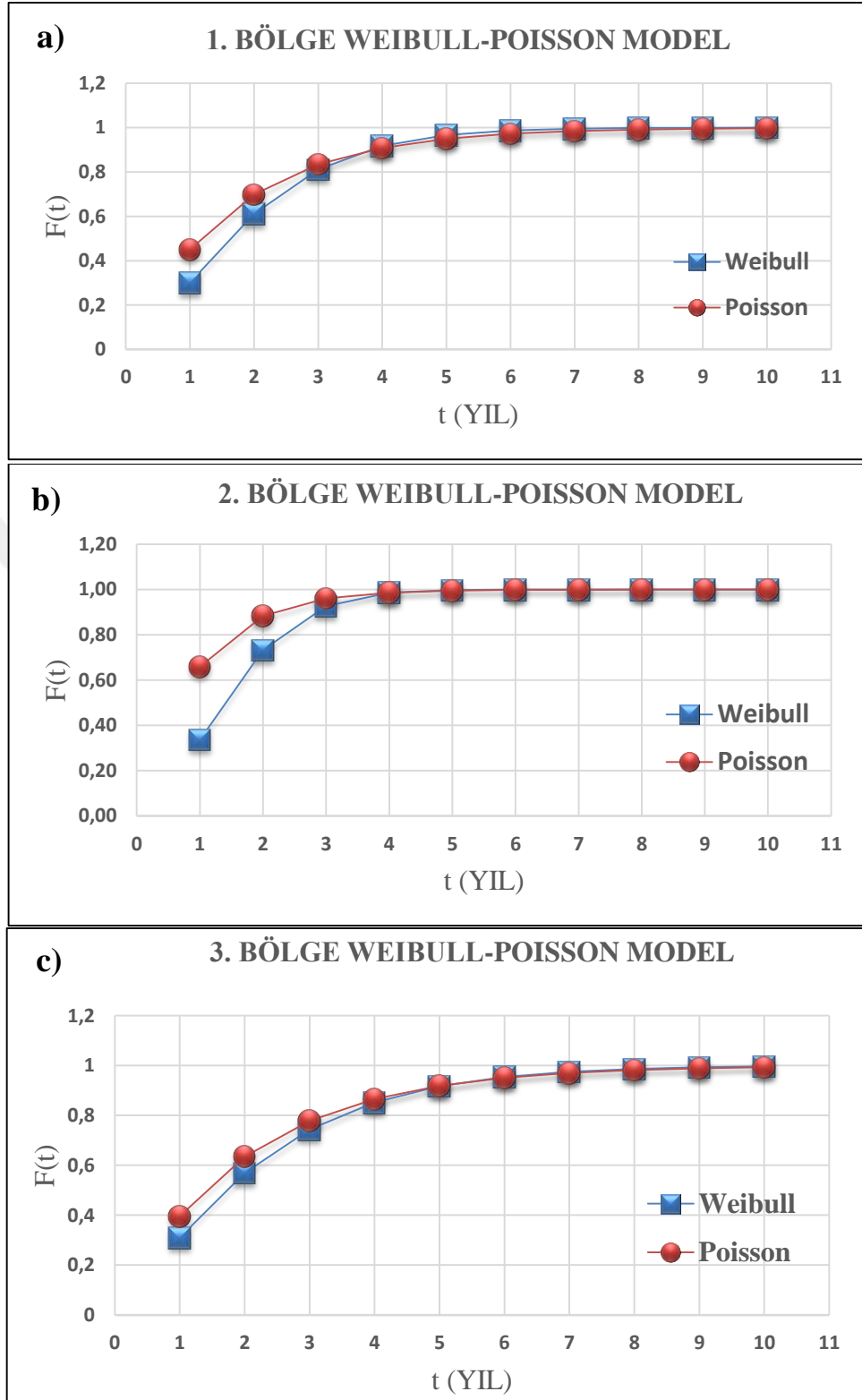
Şekil 5. 8. Bölgelere göre Üstel dağılım ortalama tekrarlanma periyodu

5.6. Uygulanan İstatistiksel Modellerin Karşılaştırma Sonuçları

Bu tez kapsamında uygulanan farklı istatistiksel yöntemler ve modeller karşılaştırılıp oluşabilecek farklılıklar ve uyumlar incelenmiş, elde edilen sonuçların tutarlılığı test edilmiştir.

5.6.1. Weibull - Poisson Dağılım Modeli Sonuçlarının Karşılaştırılması

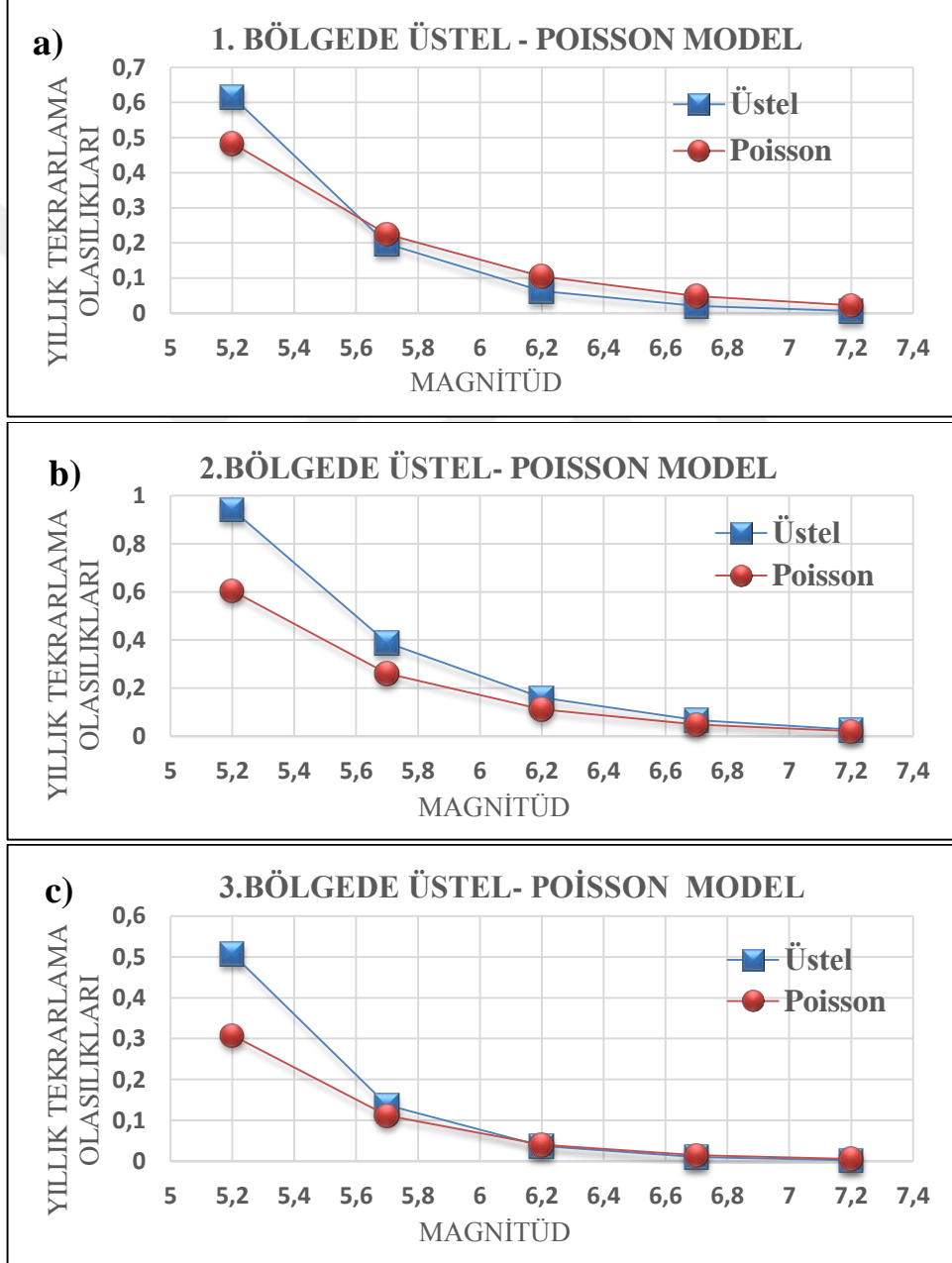
Uygulanan Weibull-Poisson dağılım modeli sonuçları bölgelere göre karşılaştırılmış ve elde edilen sonuçlar grafik olarak verilmiştir (Şekil 5.9).



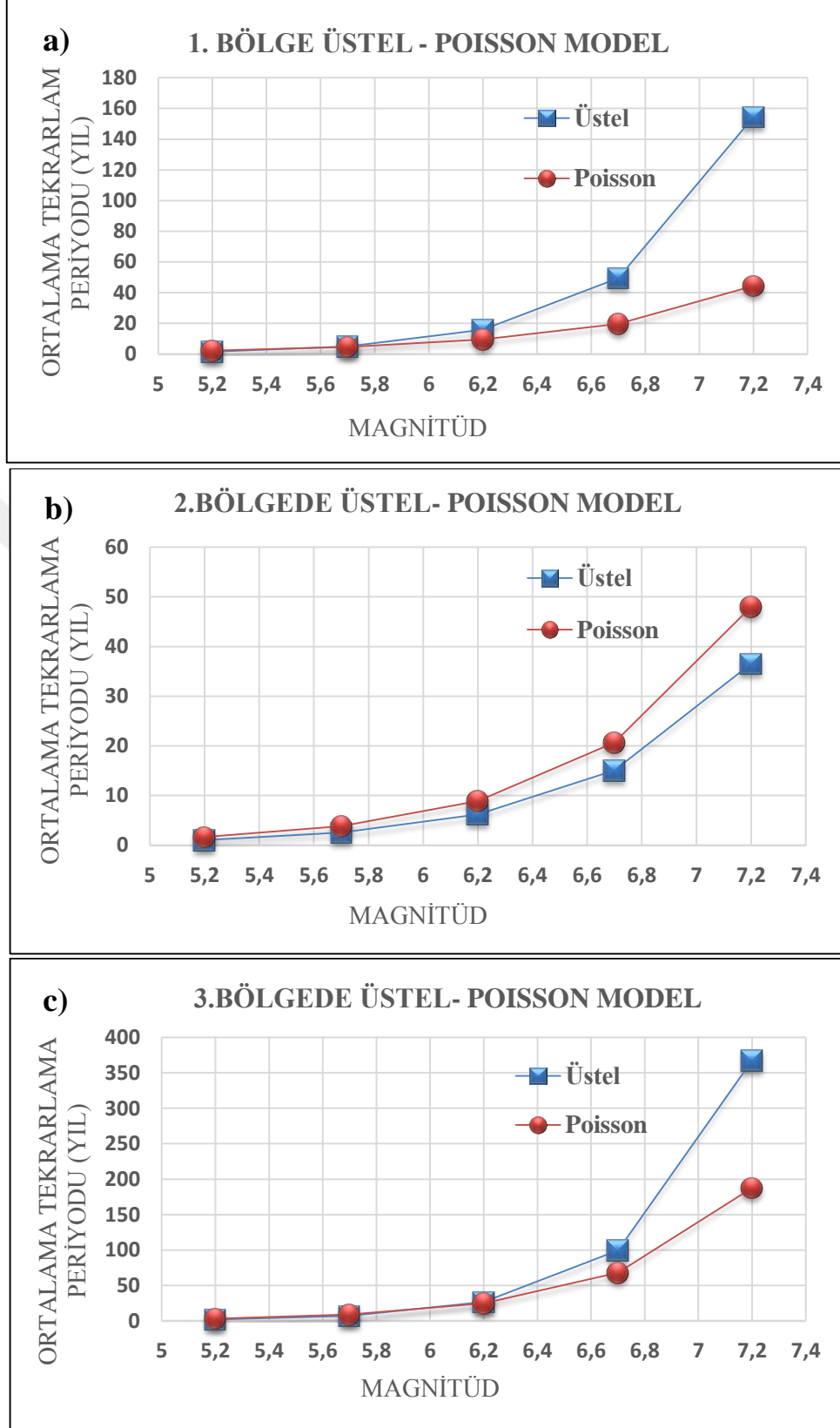
Şekil 5. 9. Weibull-Poisson model dağılımlarının sonuç değerleri grafiği; a) 1.bölge, b) 2.bölge, c) 3.bölge.

5.6.2. Üstel - Poisson Dağılım Model Sonuçlarının Karşılaştırılması

Üstel ve Poisson dağılım modelinin uygulandığı bölgelerden elde edilen sonuçlar karşılaştırılmış ve bölgelere göre bulunun yıllık deprem tekrarlama olasılıkları Şekil 5.10'de ve depremlerin ortalama tekrarlanma periyodu Şekil 5.11'de verilmiştir.



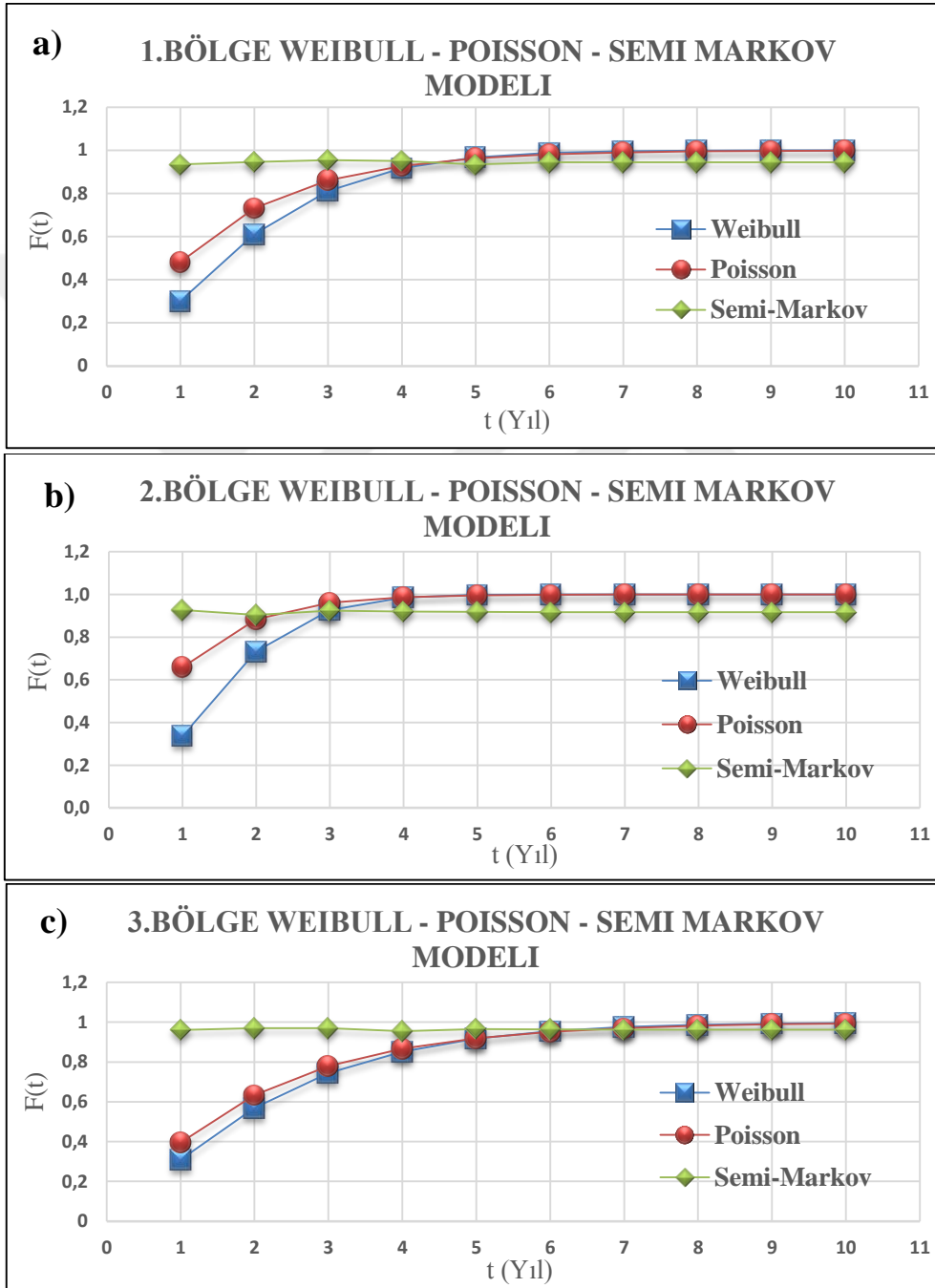
Şekil 5. 10. Üstel ve Poisson model dağılımlarına göre yıllık tekrarlama olasılıkları grafiği; a) 1.bölge, b) 2.bölge, c) 3.bölge.



Şekil 5. 11. Üstel ve Poisson model dağılımlarına göre ortalama tekrarlama periyodu grafiği; a) 1.bölge, b) 2.bölge, c) 3.bölge.

5.6.3. Semi-Markov, Weibull ve Poisson Dağılım Model Sonuçlarının Karşılaştırılması

Bölgelere uygulanan magnitüd geçişleri için Semi-Markov, Weibull ve Poisson dağılım model sonuçları karşılaştırılmıştır.



Şekil 5. 12. Semi Markov -Weibull ve Poisson dağılım Modellerinin olasılık grafiği; a) 1.bölge, b) 2.bölge c) 3.bölge.

Bu karşılaştırma yapılabilmesi için Semi- Markov model için 2 durum oluşturmuş. 1. durum ($5.0 \leq M_s < 6.5$) ve 2. durum ($6.5 \leq M_s$) olarak belirlenmiş bu durumlara göre hesaplamalar yapılarak diğer 2 modelle karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma ile bölgelerde meydana gelebilecek $M_s \geq 5.0$ olan depremlerin olasılık sonuçları incelenmiş ve Şekil 5.12’de gösterilmiştir.

Bu tez kapsamında kullanılan deprem verilerine 4 farklı istatistiksel model uygulanmış (Poisson dağılım modeli, Markov model, Weibull Dağılım modeli ve Üstel Dağılım modeli) ve sonuçları incelenmiştir. Bu sonuçlar bölgelere ve modellere göre ayrı ayrı değerlendirilmiş ve elde edilen sonuçların tutarlılıkları veya farklılıkları incelenmiştir. Genel olarak Poisson Model deprem kestirimi çalışmalarında kullanılan istatistik yöntemler içerisinde en çok tercih edilen modeldir. Bu nedenle diğer modellerden elde edilen sonuçlar öncelikle Poisson modelle kıyaslanmıştır. Olayların birbirinden bağımsız olma kabulüne dayanan Poisson model depremlerin tekrarlama olayını tam olarak ifade edemediği için Markov model tercih edilmiştir. Çünkü Markov model olayı kendinden bir önceki olayla ilişkilendirmektedir. Bu iki model arasında karşılaştırma yapılmış ve sonuçları irdelenmiştir. Markov model uygulama sırasında 3 farklı hesaplama için kullanılmıştır. Bunlardan birincisi oluşturulan bölgeler arasında depremlerin olma-olmama durumuna göre gelecek 5 yıllık periyottaki deprem geçiş olasılıkları için Markov zincir modeli, ikincisi bölge-bölge geçiş olasılıkları için Semi-Markov model, üçüncüsü ise bölgelere göre meydana gelmiş depremlerin magnitüdüleri arasındaki gelecek 10 yıllık periyottaki geçiş olasılıkları için Semi-Markov modeldir. Ayrıca kullanılan deprem verilerine Weibull dağılım modeli ve Üstel dağılım modeli uygulanmış ve sonuçları irdelenmiştir.

Üç farklı şekilde uygulanan Markov modelin sonuçları incelendiğinde; inceleme alanı olarak belirlenen 3 bölge için bölgeler arası deprem olma ya da olmama durumlarına göre Markov zincir modeli ve Semi-Markov model ile hesaplanan deprem geçiş olasılıkları farklılıklar göstermiştir. Bunun nedeninin yöntemlerin farklı durum kabullerinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Markov zincir modelinden elde edilen sonuçlara göre Tablo 5.1’deki ‘0’ durumu için yani 3 bölgede de deprem olmama olasılıkları düşük olduğu belirlenmiştir. Bölgelerin deprenselliğinin yüksek olduğu gözlemlendiğinden tutarlı bir sonuç olarak değerlendirilmiştir. Ayrıca en yüksek olasılık değeri 2. durum için yani 2. bölgede ve 3. bölgede deprem olup, 1. bölgede deprem olmama olasılığında görülmüştür (Şekil 5.1).

Semi-Markov modelde ise Tablo 5.2 'deki '2-2' durumlarında yani 2. bölgede deprem olduktan sonra tekrar 2. bölgede deprem olma olasılıklarının gelecek 5 yıl için yüksek olduğu görülmüştür. '3-2' 3. bölgede deprem olduktan sonra 2. bölgede deprem olma olasılıklarının gelecek 5 yıllık periyot için yüksek olduğu ve bu sonucun depremlerin batıya doğru göç etme fikrini desteklediği şeklinde yorumlanmıştır. Tüm durumlar incelendiğinde deprem riski en yüksek olan bölgenin 2. bölge, deprem riski en düşük olan bölgenin ise 1. bölge olduğu gözlenmiştir.

Semi-Markov modelline göre bölgelere göre deprem magnitüd geçişleri Tablo 5.3, Tablo 5.4 ve Tablo 5.5 incelendiğinde özellikle '1-1', '2-1' ve '3-1' yani 1. durumdan ($5.0 \leq M < 5.5$) 1.durumuna geçiş olasılıkları, 2.durumdan ($5.5 \leq M < 6.0$) 1.duruma geçiş olasılıkları ve 3.durumdan ($6.0 \leq M$) 1. duruma geçiş olasılıklarının yüksek olduğu görülmüştür. Bunun nedeni bölgelerde $5.0 \leq M < 5.5$ aralığındaki depremlerin çok olmasıdır. Bölgelerde bu magnitüd aralığında deprem olma olasılığının yüksek olduğuna işaret etmektedir. Diğer magnitüd geçiş olasılık değerleri düşük ve ilerleyen yıllarda sabit değerler gösterdiği görülmüştür (Şekil 5.3 –Şekil 5.5). Bu şekiller incelendiğinde 2.bölgede $5.5 \leq M < 6.0$ olan (2.durum) bir depremin 2 yıl içerisinde olma olasılığının yüksek olduğu ve bu sonucun 2. bölge için bölge geçişinden belirlenen sonuçla uyumlu olduğu görülmüştür. Ayrıca her bölge için gelecek 2 yıllık periyotta '2-1' ve '2-2' geçişlerinin yakın olasılık değerlerine sahip olduğu gözlenmiştir.

Weibull dağılım modelinin sonuçları incelendiğinde; 1. bölge için gelecek 4. yıldan sonra, 2. bölge için gelecek 2. yıldan sonra, 3. bölge için gelecek 4. yıldan sonra büyüklüğü $M_s \geq 5.0$ olan bir depremin olma olasılığının çok yüksek değerler verdiği gözlenmiştir (Tablo 5.6). Bu değerlerin Poisson modelinden elde edilen olasılık değerleriyle uyumlu olduğu görülmüştür (Şekil 5.8). Bu sonuçların bölgelerin aktif depremselliğiyle tutarlı olduğu düşünülmektedir.

Poisson model sonuçları incelendiğinde; bölgelere göre Magnitüd-Frekans ilişkileriyle hesaplanan a ve b değerleri 1. bölge için $a=5.39$, $b=0.66$; 2. bölge için $a=5.87$, $b=0.73$; 3. bölge için $a=6.43$, $b=0.88$ olarak hesaplanmıştır. b -değerinin yüksek olması bölgelerin depremselliğinin yüksek olduğunu gösterir. Ayrıca gelecek 10 yılda $M_s \geq 7.0$ olan bir depremin olma olasılığı 1. bölgede %26.4, 2. bölgede %25.3, 3. bölgede %7.7 ve tekrarlanma periyotları sırasıyla 32, 34 ve 125 yıl olarak hesaplanmıştır (Tablo 5.7-5.9). Poisson modele göre 2.bölgede gelecek 2 yıllık sürede $5.5 \leq M < 6.0$ aralığındaki depremlerin

%50'ye yakın oluşma olasılığı değeri Semi-Markov modelinden elde edilen sonuçla da uyumludur. Zira 2.bölgede aynı magnitüd aralığı için Poisson modelinden elde edilen 2 yıllık tekrarlanma aralığı da bu sonucu doğrulamaktadır.

Üstel dağılım modelin sonuçlarına göre; magnitüdüleri $7.0 < M_s < 7.4$ arasında olan bir depremin tekrarlanma periyodu 1. bölgede 154 yıl olarak, 2. bölgede 36 yıl ve 3.bölgede 367 yıl olarak hesaplanmıştır (Tablo 5.10-5.12). Elde edilen değerlerin Poisson modelden elde edilen değerlerle tutarlı olduğu görülmüştür. Her iki yöntemden bölgelere göre hesaplanan yıllık tekrarlanma olasılık grafikleri incelendiğinde 5.0-5.6 aralığındaki magnitüd değeri için eğrilerin birbirinde uzaklaştığı, daha büyük magnitüdüler için eğrilerin birbiri ile çakıştığı gözlenmiştir (Şekil 5.10). Bölgelere göre deprem tekrarlanma periyotlarına bakıldığında ise tam tersi durumu gösterdiği belirlenmiştir (Şekil 5.11).

Poisson, Weibull dağılım modelleri ile Semi-Markov model magnitüd geçiş olasılıklarının sonuçları incelendiğinde; 1. bölge için gelecek 3 yıldan sonra modellerin birbirlerine yakın olasılık değerlerine ulaştığı görülmektedir. Bu bölge için gelecek 4 yıldan sonra üç modele göre $M_s \geq 5.0$ olan bir depremin olma olasılığının % 90'dan fazla olduğu görülmüştür. 2. Bölge için 2. yılda Semi-Markov ve Poisson modelin yaklaştığı, 3. Yıldan sonra tüm modellerin değerlerinin birbirine yaklaştığı görülmüştür. Aynı bölge içinde gelecek 3 yıldan sonra $M_s \geq 5.0$ olan bir depremin olma olasılığının % 90'dan fazla olduğu belirlenmiştir. 3. bölge için tüm model olasılık sonuçlarının 6. yıldan sonra yakın ve % 90 civarında olduğu hesaplanmıştır (Şekil 5.12). Yapılan deprem tahmini olasılık çalışmalarına bakıldığında kullanılan üç olasılık tahmin modelinin geniş zaman aralığı için daha kullanışlı olduğu görülmüştür.

6. KAYNAKLAR

- Aksoy, M. E., 2009. Active Tectonics and Paleoseismology of The Ganos Faultsegment and Seismic Characteristics of The 9 August 1912 Mürefte Earthquake of The North Anatolian Fault (Western Turkey), Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- Altınok, Y., 1984. Semi-Markov Modelinin Kuzey Anadolu Fay Zonunda Deprem Riskine Uygulanması, Jeofizik 2, 44-58.
- Altınok, Y., 1991, Batı Anadolu Deprem Riskinin Semi-Markov Model ile Değerlendirilmesi, Jeofizik 5, 135-140.
- Altınok, Y., ve Kolcak D., 1999. An Application of The Semi-Markov Model for Earthquake Occurrences in North Anatolia TURKEY, Journal of The Balkan Geophysical Society, 2, 4, 90-99.
- Ayhan, E., Demir C., Kahveci M. ve Kaplan M., 1995. 1990-1993 Yılları GPS Ölçümleri ile Gerde-Adapazarı Bölgesindeki Alanın Belirlenmesi, Türk Haritacılığının 100. Yılı Bilimsel Kongresi, Ankara, Türkiye.
- Aydın, Y., 2006. Zaman ve Magnitüd Kestirebilir Model ile Türkiye’de Uzun Dönem Deprem Kestirimi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü, Trabzon.
- Barka, A., 1992. The North Anatolian Fault Zone, Annales tectonicae, 6, 164–195.
- Bath, M., 1978. Seismic Risk in Fennoscandia, Tectonophysics, 57, 285-295.
- Bağcı, G., 1996. Earthquake Occurences in Western Anatolia by Markov Model.
- Bernard, A., ve Bosi-Levenbach, E. C., 1953. The Plotting of Observations on Probability Paper, Statistica Neerlandica, 7, 163-173.
- Bozkurt, E., 2001. Special issue Neotectonics of Turkey, Geodinamica acta, 14, 1–3, 212.
- Canitez, N., 1962. Gravite Anomalileri ve Sismolojiye Göre Kuzey Anadolu’da Arz Kabuğunun Yapısı, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi, İstanbul.
- Caputo, M., 1974. Analysis of Seismic Risk, Engineering Seismology an Earthquake Engineering, Nato Advanced Study Institudes Series, Series E: Applied Sciences No 3 Noord-hoff- Leiden.
- Cinemre, N., 1997. Yöneylem Araştırması, İstanbul: Beta Basım Yayın Dağıtım A.Ş. 21.
- Cornell, C.A., 1968. Engineering Seismic Risk Analysis. Bulletin of the Seismological Society of America, 58, 1583-1606.

- Çınlar, E., 1997. Introduction to Stochastic Processes, Englewood Cliffs, New Jersey, 106-277.
- Dayar, T., 1994. Stability and Conditioning Issues on The Numerical Solution of Markov Chains, Doktora Tezi. North Carolina State University.
- Doob, J.L., 1953. Stochastic Processes, John Wiley and Sons Inc., New York, 46.
- Elitok, Ö., 2006. Weibull Dağılımı ve Uygulamaları, Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü, Kırıkkale.
- Emre, Ö., Duman, T.Y., Özalp, S., Elmacı, H., Olgun, Ş. ve Şaroğlu, F. , 2013 Açıklamalı Türkiye Diri Fay Haritası, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Özel yayın serisi 30-Ankara-Türkiye.
- Gutenberg, B. ve Richter, C.F., 1944. Frequency of Earthquakes in California, Bulletin of the Seismological Society of America, 34, 185-188.
- Grivas, A.A., Dyvik, R. ve Howland, J. 1980. An Engineering Analysis of The Seismic History Of New York State, Proc. Of the Seventh World Conf. on Earthquake Engineering 1, 324-331, İstanbul.
- Gringstead, C. ve Snell, M.J., 1997. Intoduction to The Probability, United States of America, American Mathematical Society
- 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 Occurence and The Accompanying Horizontal Land Deformation, Tectonophysics 26, 91-101.
- Howard, R.A., 1971. Dynamic Probabilistic Systems, John Wiley and Sons, New York.
- Işık, A. ve Çiftçi, Y., 2002. Van Gölü Havzasının Jeolojik Özellikleri. Doğu Anadolu Jeoloji Çalıştayı, Van.
- Ketin İ., 1948. Uber Die Tektonisch-Mechanischcan Folge Rungen Aus Den Grossen Anatolischen Erdbeben Desletzten Dezenniums, Geologische Rundschau, 36, 76-83.
- Ketin İ., 1957. Kuzey Anadolu Deprem Fayı, İTÜ Dergisi, 15, 49-52.
- Ketin, İ., 1969. About The North Anatolian Fault, Min. Res. Explor. Inst. Bull. 72, 1-25.
- Ketin İ., 1976. San Andreas ve Kuzey Anadolu Fayları Arasında Bir Karşılaştırma, Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni, 19, 149-154.
- Ketin, İ. ve Roesli, F., 1953. Makroseismische Untersuchungen uber das nordwestanato-lische Beben vom 18 Marz 1953, Eclogae Geologicae Helvetiae, 46, 187-208.

- 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.
- Koçyiğit, A., Yılmaz, A., Adamia, S. ve Kuloshvili, S., 2001. Neotectonics of East Anotolian Plateau(Turkey) and Lesser Caucasus: İmplication for Transition From Thrusting to Strike-Slip Faulting. *Geodinamica Acta*, 14, 177-195.
- Leon-Garcia, A., 1994. Probability and Random Processes for Electrical Engineering, United States of America, Addison-Wesley Publishing Company, Second Edition
- Lloyd, C. J., 1999. Statistical Analysis of Categorical Data, New York, 306.
- Markov, A. A., 1907. Extension of the Limit Theorems of Probability Theory to a Sum of Variables Connected in a Chain, The Notes of the Imperial Academy of Sciences of St. Petersburg, VIII Series.
- 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., Tealeb A., Toksoz N.ve Veis G., 2000. GPS Constraints on Crustal Movements and Deformations for Plate Dynamics, *Journal Of Geophysical Research*, 105, 5695–5720.
- McClusky, S., Reilinger, R., Mahmoud, S., Ben Sari, D.ve Tealeb, A., 2003. GPS Constraints on Africa (Nubia) and Arabia Plate Motions, *Geophys. J. Int.*, 155, 126-138.
- Mc Kenzie, D., 1972. Active Tectonics of The Mediterranean Region, *Geophyscial Journal Royal Astronomical Society*, 30, 109–185.
- Mehdi, J., 2003. Stochastic Models in Queueing Theory, United States of America Academic Press.
- Nowacks, E., 1928. Die Wichtigsten Ergebnisse Meiner Anatolischen Reisen, *Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft*, 80, 304–312.
- Olivieria, C.S., 1974. Seismic Risk Analysis, Report No. EERC 74-1, Univ. of California, Berkeley.
- Oral, B., Reilinger, E., Toksöz, N., Kong, W., Barka, A., Kınık, I. ve Lenk, O., 1995. Global Positioning System Offers Evidence of Plate Motions in Eastern Mediterranean, *EOS Transac*, 76, 9-11.
- Pamir, H., 1948. 1939-1944 Yılları Arasında Küçük Asya'da Vukua Gelen Depremler ve Kuzey Anadolu Becerisi, (La cicatrice Nord-Anatolienne), 18. Uluslararası Jeoloji Kongresi, Londra, İngiltere.
- Pınar, R., Akçığ, Z., ve Demirel, F., 1999. Batı Anadolu Depremselliğinin Markov Yöntemi ile Araştırılması, *Jeofizik* 3, 56–66.

- Reilinger, E., McClusky C., Oral B., King W., Toksoz N., Barka A., Kınık I., Lenk O. ve Sanlı I., 1997. Global Positioning System Measurements of Present-Day Crustal Movements in The Arabia–Africa-Eurasia Plate Collision Zone, Journal of Geophysical Research, 102, 9983–9999.
- Render, B.ve Stair R.M., 1997. Quantitive Analysis for Management, United States of America, Prentice Hall, Sixth Edition
- Rikitake, T., 1975. Statistics of Ultimate Strain of The Earth’s Crust and Probability of Earthquake Occurrence, Tectono-physic, 26, 1-21
- Ross, S., 2003. Introduction to Probability Models, United States of America: Academic Press
- Ross Sheldon, M., 2003. Introduction to Probability Models, United States of America, Academic Press, Elsevier Science, Eighth Edition.
- Saldana, R.P. ve Changho, C.C., 2000. On Random Walk Models and Markov Chains. Proceedings of the Philippine Computing Science Congress
- Salomon-Calvi, W., 1940. Anadolu’nun Tektonik Tarzı Teşekkülü Hakkında Kısa İzahat, MTA Mecmuası, 18, 35-74.
- Sayıl, N. ve Osmansahin. I., 2008. Investigation of Seismicity for Western Anatolia, Nat. Hazards, 44, 51–64.
- Sayıl, N., 2015. Deprem Kestiriminde İstatiksel Yaklaşımlar Yüksek Lisans Ders Notu KTÜ Jeofizik Mühendisliği Bölümü.
- Sengör, A.M.C., Tüysüz, O., Emren, C., Sakıncı, M., Eyidoğan, H., Görür, N., Le Pichon, X.ve Claude Rangin, C., 2004. The North Anatolian Fault: A new look. Ann. Rev. Earth Planet, Sci., 33. 37–112.
- Şengör, A.M.C. ve Yılmaz, Y., 1983. Türkiye’de Tetis’in Evrimi: Levha Tektoniği Açısından Bir Yaklaşım. Türkiye Jeoloji Kurumu, Yerbilimleri Özel Dizisi.
- 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.
- Taylor, H.M. ve Karlin, S., 1984. An Introduction to Stochastic Modeling. Orlando, Academic Press.
- Tabban, A. ve Gencoğlu, S., 1975. Earthquake and its Parameters. Bull. Earthq. Res. Inst. of Turkey, 11,7–83.
- Taymaz, T., Jackson A.ve Mc Kenzie, D., 1991. Active Tectonics of The North and Central Aegean Sea, Geophysical Journal International, 106, 433-490.
- Ulutaş, E. ve Ozer, M. F., 2000. Markov Modeli Kullanılarak Çukurova Bölgesinin Deprem Tehlikesinin Belirlenmesi, Jeofizik 14, 104–105.

- Ünal, S., 2010. Türkiye’de Meydana Gelen Depremlerin Markov Zincirleri ile Modellenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara.
- Westaway, R., 1994. Evidence for Dynamic Coupling of Surface Processes with Isostatic Compensation in The Lower Crust During Active Extension of Western Turkey, Journal of Geophysical Research, 99, 203–223.
- Wessel, P., ve Smith, W. H. F., 1998. New improved version of Generic Mapping Tools released, EOS Trans. Amer. Geophys. U., 79, 579.
- Wessel, P., ve Smith, W. H. F., 1995. New version of the Generic Mapping Tools released, EOS Trans. Amer. Geophys. U., 76, 329.
- Winston Wayne, L., 2004. Application and Algorithms, Canada, Operation Research, Thomson Brooks Cole , Fourth Edition.
- Zeytinoğlu, F. Ç., 2009. Weibull Dağılımının Ölçek ve Biçim Parametreleri için İstatistiksel Tahmin Yöntemlerinin Karşılaştırılması, İstanbul Ticaret Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 73-87.
- URL-1 <http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/2/deprem-verileri/depremsellik-haritalari/> Depremsellik Haritaları, 15 Mart 2016.
- URL-2 http://reliawiki.org/index.php/The_Weibull_Distribution/ Weibull Dağılımı, 10 Şubat 2016.
- URL-3 https://tr.wikipedia.org/wiki/Poisson_dağılım/ Poisson Dağılımı, 10 Şubat 2016.
- URL-4 https://www.probabilitycourse.com/chapter4/4_2_2_exponential.php Üstel Dağılım, 12 Şubat 2016.
- URL-5 https://tr.wikipedia.org/wiki/Üstel_dağılım Üstel Dağılım, 18 Şubat 2016.
- URL-6 <http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/zeqdb/> Depremler, 5 Ocak 2016.

ÖZGEÇMİŞ

19 Şubat 1985 yılında İzmit / Kocaeli’nde doğdu. İlköğrenimini İsmet İnönü İlkokulu’nda 1996 yılında, orta öğrenimini 24 Kasım Anadolu Lisesi’nde 2003 yılında Kocaeli’nde tamamladı. 2004 yılında Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeofizik Mühendisliği Bölüm’ünde eğitime başladı ve 2008 yılında mezun oldu. 2009-2010 yılları arasında askerlik hizmetini yaptı. 2012 yılında Kocaeli Tüpraş’ta İş güvenliği uzmanı olarak çalıştı. 2013 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Jeofizik Mühendisliği Bölümü’ne araştırma görevlisi olarak atandı. Halen göreve bu kurumda devam etmektedir. Sismolojisi alanında çalışmalar yapmaktadır. İyi derecede MATLAB programlama dili bilmektedir. Yabancı dil olarak iyi derecede İngilizce bilmektedir.