



**T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



YÜKSEK LİSANS TEZİ

**SİSMİK TEHLİKE ANALİZİ İÇİN BİR YAZILIM
GELİŞTİRİLMESİ VE DOĞU ANADOLU BÖLGESİNDE
UYGULANMASI**

Onur UYANIK

Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı

Jeofizik Mühendisliği Programı

**DANIŞMAN
Dr. Öğr. Üyesi Nihan HOŞKAN**

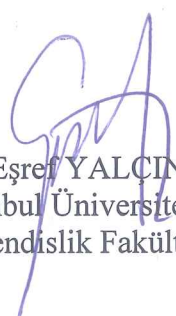
Haziran, 2018

İSTANBUL

Bu çalışma, 25.06.2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı , Jeofizik Mühendisliği Programında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

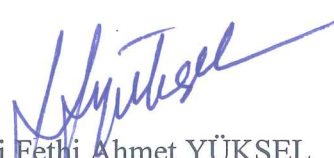
Tez Jürisi


Dr. Öğr. Üyesi Nihan HOŞKAN(Danışman)
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi


Prof. Dr. Eşref YALÇINKAYA
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi


Prof. Dr. Ali PINAR
Boğaziçi Üniversitesi
Kandilli Ras.Deprem Arş.Ens.


Dr. Öğr. Üyesi Selçuk SEVGİN
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi


Dr. Öğr. Üyesi Fethi Ahmet YÜKSEL
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi



20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, İstanbul Üniversitesi’nin aboneli olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Fen Bilimleri Enstitüsü’nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.

ÖNSÖZ

Tavsiyeleri ve yardımları için danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Nihan HOŞKAN'a teşekkür ederim.

Tez çalışmalarım süresince verdiği destek için aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Haziran 2018

Onur UYANIK



İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ	iv
İÇİNDEKİLER.....	v
ŞEKİL LİSTESİ	vii
TABLO LİSTESİ.....	ix
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ	x
ÖZET	xi
SUMMARY	xii
1. GİRİŞ	1
2. GENEL KISIMLAR.....	2
2.1. JEOFİZİKSEL YAZILIM GELİŞTİRME	2
2.2. BULUTTA BİLİMSEL HESAPLAMA	2
2.3. OLASILIKSAL SİSMİK TEHLİKE ANALİZİ	3
2.3.1 Olasılık Kavramları	5
2.3.1.1 Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu	5
2.3.1.2 Bayes Kuralı	5
2.3.2 Deprem Kaynaklarının Belirlenmesi	5
2.3.3 Deprem Magnitüdlerinin Belirlenmesi.....	6
2.3.4 Deprem Uzaklıklarının Belirlenmesi.....	10
2.3.5 Yer Hareketi Şiddeti	10
2.3.6 Olasılıksal Sismik Tehlike Analizi Denklemleri	10
2.4. DOĞU ANADOLU BÖLGESİ’NİN JEOLJİSİ VE DEPREMSELLİĞİ.....	12
3. MALZEME VE YÖNTEM.....	14
3.1. PYTHON VE BİLİMSEL HESAPLAMA	14
3.2. REST API.....	17
3.2.1. REST	17
3.2.2. REST API Kullanımı.....	17
3.3. SİSMİSİTEDE BAYESÇİ YAKLAŞIM	18
3.3.1. Değişim Noktası	19
3.3.2. Yer Hareketi Tahmini.....	20
3.4. DOĞU ANADOLU DEPREM KATALOG VERİLERİ.....	20

3.4.1. Erzincan.....	20
3.4.2. Van	24
3.4.3. Erzurum	32
4. BULGULAR.....	35
4.1. DEĞİŞİM NOKTASI.....	35
4.1.1. Erzincan.....	35
4.1.2. Van	38
4.1.3. Erzurum	42
4.1.4. Sonuçların İstemcide Gösterimi	45
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	48
5.1. TARTIŞMA	48
5.1.1. Jeofiziksel Yazılım Geliştirme	48
5.1.2. Jeofizikte Bayesçi Yaklaşımlar	48
5.2. SONUÇ	49
5.2.1. Erzincan.....	49
5.2.2. Van	49
5.2.3. Erzurum	50
5.2.4. Otonom PSHA.....	50
KAYNAKLAR.....	52
ÖZGEÇMİŞ	55

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

- Şekil 2.1:** Olasılıksal sismik tehlike analizinin beş adımının şematik gösterimi. (a) Deprem kaynaklarının tanımlanması. (b) Her bir kaynaktan gelen deprem magnitüdlerinin dağılımlarının karakterizasyonu. (c) Her bir kaynaktan gelen kaynaktan bölgeye mesafelerin dağılımının karakterizasyonu. (d) Yer hareketi şiddetinin sonuçlanan dağılımının kestirimi. (e) a-d adımları arasında elde edilen bilgilerin, yer hareketi şiddeti değerlerine karşılık yıllık aşılma değerlerinin hesaplanmasında kullanılmak üzere bir araya getirilmesi (Baker, 2008'den düzenlenmiştir).4
- Şekil 2.2:** Gözlemlenen deprem magnitüdlerinin tipik dağılımının, Gutenberg-Richter ve sınırlı Gutenberg-Richter tekrarlama yasaları ile birlikte gözlem verilerine uydurulmuş hali (Baker, 2008'den düzenlenmiştir).6
- Şekil 2.3:** Bir kırılmış Gutenberg-Richter dağılımlı bir kaynak için bir sürekli magnitüd dağılımının ayırıştırılmasının illüstrasyonu. Bu hesaplamada; minimum ve maksimum magnitüd değerleri sırası ile 5 ve 8, a ve b parametreleri ise 1 olarak alınmıştır. (a) 2.5 denkleminde hesaplanan sürekli olasılık yoğunluk fonksiyonu. (b) 2.6 denkleminde hesaplanan ayırık olasılıkları (Baker, 2008'den düzenlenmiştir).9
- Şekil 2.4:** Avrasya ve Arap Plakalarının çarpışmalarının baskın olduğu Doğu Anadolu tektoniğinin gösterimi (Sezgin vd., 2002).13
- Şekil 3.1:** Programa giren ve çıkan değerlerin gösterimi. Hangi fonksiyonun kullanılacağına, sunucuya gelen verinin içeriğine göre karar verilmektedir.15
- Şekil 3.2:** Şekil 3.1'de sunucu üzerinde gösterilen fonksiyonların işleyişinin gösterimi için hazırlanan akış diyagramı.16
- Şekil 4.1:** 50 km'lik bir yarıçap ile Erzincan ilinin çevresinde gözlemlenen depremlerin kümülatif sayısı.35
- Şekil 4.2:** Seçilmiş üç bölgede Şekil 4.1'de işaretlenen A, B ve C zamanları için sonsal olasılık deprem oranı dağılımları.36
- Şekil 4.3:** Zamana karşı ortalama sonsal olasılık deprem oranı ve sıklıkçılık oranı. Ortalama değişim ve değişimsiz noktaları ortalama sonsal olasılık oranlarıdır ve sırası ile değişim ve değişimsiz noktaları temsil etmektedirler.37
- Şekil 4.4:** Zamanda belirlenen üç noktadaki sonsal olasılık deprem oranları için ortalama tehlike eğrileri.38

Şekil 4.5: 50 km’lik bir yarıçap ile Van ilinin çevresinde gözlemlenen depremlerin kümülatif sayısı.	39
Şekil 4.6: Seçilmiş üç bölgede Şekil 4.5’te işaretlenen A, B ve C zamanları için sonsal olasılık deprem oranı dağılımları.	40
Şekil 4.7: Zamana karşı ortalama sonsal olasılık deprem oranı ve sıklıkçılık oranı. Ortalama değişim ve değişimsiz noktaları ortalama sonsal olasılık oranlarıdır ve sırası ile değişim ve değişimsiz noktaları temsil etmektedirler.	41
Şekil 4.8: Zamanda belirlenen üç noktadaki sonsal olasılık deprem oranları için ortalama tehlike eğrileri.	41
Şekil 4.9: 50 km’lik bir yarıçap ile Erzurum ilinin çevresinde gözlemlenen depremlerin kümülatif sayısı.	42
Şekil 4.10: Seçilmiş üç bölgede Şekil 4.9’da işaretlenen A, B ve C zamanları için sonsal olasılık deprem oranı dağılımları.	43
Şekil 4.11: Zamana karşı ortalama sonsal olasılık deprem oranı ve sıklıkçılık oranı. Ortalama değişim ve değişimsiz noktaları ortalama sonsal olasılık oranlarıdır ve sırası ile değişim ve değişimsiz noktaları temsil etmektedirler.	44
Şekil 4.12: Zamanda belirlenen üç noktadaki sonsal olasılık deprem oranları için ortalama tehlike eğrileri.	44
Şekil 4.13: Analizleri yapılan bölgelerin harita üzerinde gösterimi için geliştirilen web tabanlı istemci.	45
Şekil 4.14: Erzincan için yapılan analizin sonucunun geliştirilen web tabanlı istemci ile harita üzerinde gösterimi.	46
Şekil 4.15: Van için yapılan analizin sonucunun geliştirilen web tabanlı istemci ile harita üzerinde gösterimi.	46
Şekil 4.16: Erzurum için yapılan analizin sonucunun geliştirilen web tabanlı istemci ile harita üzerinde gösterimi.	47

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 2.1: Minimum ve maksimum magnitüd değerleri sırası ile 5 ve 8, a ve b parametreleri 1 olan, kırılmış bir Gutenberg-Richter dağılımı için magnitüd olasılıkları. Bu tablodaki hesaplamalar 2.4 ve 2.6 denklemleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Baker, 2008).....	8
Tablo 3.1: Erzincan'da 39.50-39.70 enlem-boylamının dairesel 50 km yarıçap ile çevresini kapsayan katalog verileri. Başlangıç-bitiş yılları 1978-2018 ve magnitüd filtre değerleri 4-9 aralığındadır.	21
Tablo 3.2: Erzincan'da 39.50-39.70 enlem-boylamının dairesel 50 km yarıçap ile çevresini kapsayan Tablo 3.1'deki veri setinin yeniden kümelendirilmiş hali.	22
Tablo 3.3: Van'da 38.66-43.25 enlem-boylamının dairesel 50 km yarıçap ile çevresini kapsayan katalog verileri. Başlangıç-bitiş yılları 1978-2018 ve magnitüd filtre değerleri 4-9 aralığındadır.	24
Tablo 3.4: Van'da 38.66-43.25 enlem-boylamının dairesel 50 km yarıçap ile çevresini kapsayan Tablo 3.3'teki veri setinin yeniden kümelendirilmiş hali.	31
Tablo 3.5: Erzurum'da 39.25-41.50 enlem-boylamının dairesel 50 km yarıçap ile çevresini kapsayan katalog verileri. Başlangıç-bitiş yılları 1978-2018 ve magnitüd filtre değerleri 4-9 aralığındadır.	32
Tablo 3.6: Erzurum'da 39.25-41.50 enlem-boylamının dairesel 50 km yarıçap ile çevresini kapsayan Tablo 3.5'teki veri setinin yeniden kümelendirilmiş hali.	33

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Kisaltmalar	Açıklama
API	: Uygulama Programlama Arayüzü
HTTP	: Hiper Metin Aktarım Protokolü
M	: Magnitüd
OYF	: Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu
PGV	: Pik Yer Hızı
PSHA	: Olasılıksal Sismik Tehlike Analizi
REST	: Temsili Durum Aktarımı

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SİSMİK TEHLİKE ANALİZİ İÇİN BİR YAZILIM GELİŞTİRİLMESİ VE DOĞU ANADOLU BÖLGESİNDE UYGULANMASI

Onur UYANIK

İstanbul Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Nihan HOŞKAN

Olasılıksal sismik tehlike analizinde (PSHA) süreçler; ham veri, çeşitli modeller ve parametreler kullanılarak yürütülmektedir. Bu çalışmada; süreçleri daha erişilebilir, genişletilebilir ve stabil hale getirebilmek amaçlanmıştır. Bu bağlamda analiz süreci yazılım odaklı tasarlanmıştır. Süreci veri bağımsız başlatabilmek için Bayesçi yaklaşımlardan faydalanılmıştır.

Doğu Anadolu Bölgesi sismotektonik açıdan karmaşık bir yapıya sahiptir. Böyle bir bölgede bu şekilde bir analiz yapıldığında, daha fazla bulgu ile daha etkin sonuçlar üretilebileceği düşünülmektedir. Erzincan, Van ve Erzurum için yapılan çalışmalar sonucunda; oluşturulan önsel dağılımlar ile bölgedeki deprem sayısındaki artışlar başarı ile tespit edilmiştir. Bu değerlerden yola çıkarak yer hareketi tahmin hesaplamaları yapılarak; ilgili bölgeler için PGV değerleri elde edilmiştir. Geliştirilen bulut tabanlı veri analiz akışı ile bölgesel çıkarımlara daha fazla odaklanılabilmesi hedeflenmiştir.

Haziran 2018, 67 sayfa.

Anahtar kelimeler: Bayes etkeni, bulut hesaplama, Doğu Anadolu, olasılıksal sismik tehlike analizi (PSHA), yazılım geliştirme.

SUMMARY

M.Sc. THESIS

A SOFTWARE DEVELOPMENT FOR SEISMIC HAZARD ANALYSIS AND IMPLEMENTATION IN THE EASTERN ANATOLIAN REGION

Onur UYANIK

İstanbul University

Institute of Graduate Studies in Science and Engineering

Department of Geophysical Engineering

Supervisor : Assist. Prof. Dr. Nihan HOŞKAN

The procedure of probabilistic seismic hazard analysis is done by using raw data, some various models and parameters. This study aims to make the calculations accurate and to make the procedure reachable and extendable. In this procedure, the steps of analysis are based upon developed software. Also, to start the process without needing of data, Bayesian assumptions are considered.

Eastern Anatolia Region has a complex seismotectonic structure. When analyses are made with the procedure followed that was mentioned above, in a region like this, with more data that can be acquired, the results will get more and more accurate. Prior distributions made with the analysis in Erzincan, Van and Erzurum, the number of earthquakes which are accurately determined is increased with this procedure. With this data, PVG values are acquired by ground-motion prediction calculations. The developed cloud-based data analysis workflow allows to focus more on the regional inferences.

June 2018, 67 pages.

Keywords: Bayes factor, cloud computing, Eastern Anatolia, probabilistic seismic hazard analysis (PSHA), software development.

1. GİRİŞ

Olasılıksal sismik tehlike analizi ile çeşitli yapılaşma bölgelerinin gelecekte meydana gelecek depremlere vereceği tepkileri kestirmek esas alınmaktadır. Bu çalışmalarda başlıca; jeolojik modellerden ve aletsel verilerden faydalanılmaktadır.

Olasılıksal sismik tehlike analizinde yaygınca çalışılan alanlar; analiz adımlarında kullanılan yöntemlerin iyileştirilmesi, geliştirilmesi ve rutin veri analiz süreçleri ile bölgesel çıkarımlar yapılması gibi konuları barındırmaktadır. Bu çalışmada ise; yazılım geliştirme yöntemleri ile otonom hale gelme ve bölgesel çıkarımlar yapma hususlarını temel alan yaklaşımlar yer almaktadır. Ayrıca bu çalışmada, bölgenin henüz katalog verilerine erişmeden modelini oluşturmak ve bu modeli katalog verileri ile güncellemek esas alınmıştır. Bu modelleme işleminde Bayesçi yaklaşımlardan yola çıkılarak istatistiksel kısıtlamalardan olabildiğince uzaklaşmak hedeflenmektedir.

Doğu Anadolu Bölgesi'nin jeolojik geçmişinin nitelikleri dolayısı ile geliştirilen yazılım, bu bölgedeki katalog verileri üzerinde denenmiştir. Yapılan analizlerin sonuçları bu doğrultuda değerlendirilmiştir. Bu bağlamda rutin analizler ile bölgesel çıkarımlar yapmak ve modeller üzerinde geliştirmeler yapmaktan ziyade; bu süreçlerin geliştirilebilir, ölçeklenebilir ve daha hızlı hale gelmesini hedefleyen bir yapı kurgulanmıştır.

Bu temelde gelişen yaklaşımlar ile ortak çatıların oluşturulmasına ve bölgesel çıkarımların standardize edilmesine katkıda bulunmak hedeflenmektedir. Böylece sismik tehlike analizi süreçlerinde pek çok yenilikçi yaklaşımın daha hızlı uygulanabileceği düşünülmektedir.

2. GENEL KISIMLAR

2.1. JEOFİZİKSEL YAZILIM GELİŞTİRME

Jeofizikte veri işlem süreçleri hesaplama karmaşıklıkları kapsamında; standart matematik fonksiyonları ve standart matematik fonksiyonlarının kullanıldığı diğer fonksiyonlar olarak ikiye ayrılabilir.

Standart matematik fonksiyonları, ilgili platformalarda yalın şekilde kodlanabilecek ve işlemci gücünü optimum düzeyde kullanacak şekilde oluşturulmalı ve çağrılmalıdır. Hesaplamalar elektronik ortama aktarılmadan önce optimizasyon çalışmalarına başlanmalıdır. Bu çalışmalar yapılmaksızın denemelerin yapılması, optimumun yalnızca mevcut koşullar altında aranmasına neden olabilmektedir.

Standart matematik fonksiyonlarının kullanıldığı diğer fonksiyonlar, işlem yükünün dengeli ve/veya düzenli dağıtıldığı bir akış ile tasarlanmalıdır. Bellek ile işlemci arasında transferin dengeli dağılımı için, büyük veriler ile çalışırken değişken tanımlamaları ve tekrar kullanımlarına özen gösterilmelidir. Kod bloklarının soyutlanmasında verilen kararlar performans testlerinden geçirilmelidir. Soyutlanması avantaj sağlamayan bir kod bloğunun, bir başka yerde tekrar açıkça yazılarak kullanılması tavsiye edilmektedir. Bilimsel hesaplama programlarında soyutlamanın performansın önüne geçmesi hususu, sonuçları bakımından verimli kaynak kullanımını doğrudan etkilemektedir.

2.2. BULUTTA BİLİMSEL HESAPLAMA

Genelleştirilmiş tanım ile bulut hesaplama, hesaplama işlemlerinin büyük veri merkezlerinde gerçekleştirilmesidir. Bu tanım; altyapı, platform ve yazılım çerçevelerinde özelleştirilerek genişletilebilir (Kozyrakıs ve Zaharia, 2017).

Jeofiziksel veri işlem süreçleri yoğun matematiksel işlemler içermektedir. Jeofiziksel veriler büyük ve çok boyutlu matrislerde tutulmaktadır. Genel olarak sinyaller ve görüntüleri içeren bu verilere, yüksek düzeyde donanım gücü gerektiren veri işlem yöntemleri uygulanmaktadır. Bununla birlikte, aynı veriler ile modelleme ve ters çözüm işlemleri gerçekleştirildiğinde hesaplama maliyeti artmaktadır. Bu işlemleri tekil bilgisayarlar üzerinden gerçekleştirmek için gerekli olan donanım ve yazılım geliştirme maliyeti, veri merkezlerine kıyasla daha yüksektir.

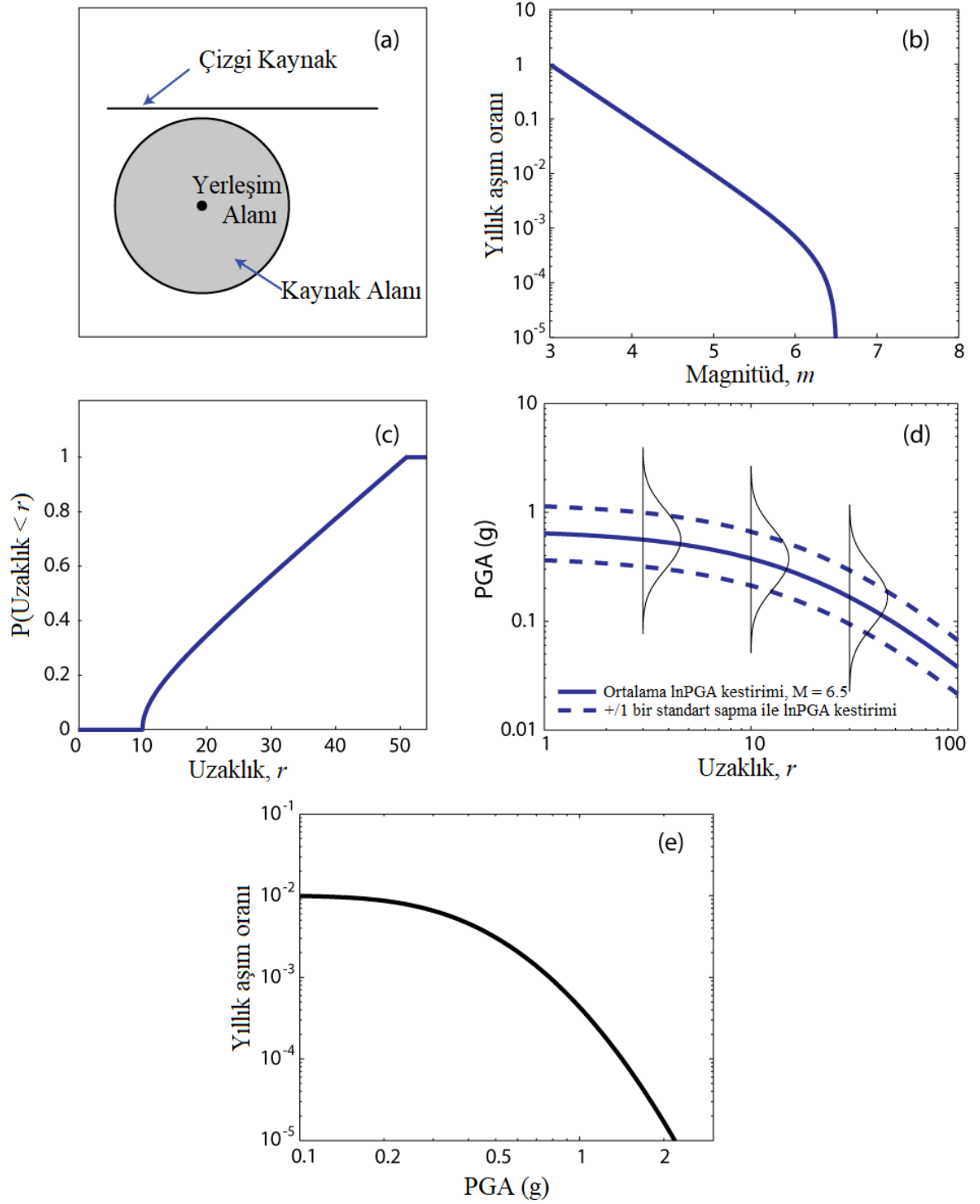
Geliştirilen veri işlem kütüphanelerinin bulutta hizmet olarak sunulması; istemcilerin düşük donanım güçleri ile bu işlemlerin sonuçlarına erişebilmesini sağlamaktadır. Yayınlama süreçlerinde bulutta yapılacak bir güncelleme; aynı anda tüm istemciler ile paylaşılabilmektedir. İstemci tarafında tarayıcı tabanlı arayüzler kullanıldığı takdirde, yayınlanan güncellemeler için istemci uygulaması güncelleme gereksinimi dahi ortadan kaldırılacaktır. Bu da daha sürdürülebilir bir hesaplama ortamı yaratacaktır.

2.3. OLASILIKSAL SİSMİK TEHLİKE ANALİZİ

Deprem mühendisliği çerçevesinde yapılan çoğu analiz, bir yapının yer hareketlerine verdiği tepkilerin performans düzeylerine odaklanmaktadır. Konum, büyüklük ve gelecek depremlerin sarsıntı şiddetleri büyük belirsizliklere neden olmaktadır. Olasılıksal sismik tehlike analizi bu belirsizlikleri ölçmeyi ve bir bölgede gelecekte olabilecek sarsıntıların dağılımlarını üretmeyi hedeflemektedir (Baker, 2008). Basitçe olasılıksal sismik tehlike analizi beş adımdan oluşmaktadır (Şekil 2.1):

- Hasar verebilecek yer hareketleri üretme kapasitesi olan tüm deprem kaynaklarının tanımlanması.
- Deprem magnitüdlerinin dağılımlarının karakterizasyonu (çeşitli magnitüdlere için gerçekleşmesi beklenen depremlerin oranları).
- Potansiyel depremler ile ilişkili kaynak-yerleşim bölgesi mesafelerinin dağılımının karakterizasyonu.
- Yer hareketi şiddetinin; depremin büyüklüğü, mesafesi vb. cinsinden fonksiyonu olacak şekilde sonuç dağılımının kestirimi.
- Depremin büyüklüğü, konumu ve yer hareketi şiddetindeki belirsizliklerin toplam olasılık teoremi olarak bilinen hesaplama kullanılarak kombine edilmesi.

Bu hesaplamaların sonucu yer sarsıntısı şiddetinin seviyelerinin ve onların ilişkili olduğu aşım oranlarının tam dağılımı olacaktır. Bu durumda, en kötü yer hareketinin yanıltıcılığı kaldırılmış ve ilgilenilen potansiyel yer hareketi şiddetlerinin belirlenen tam kapsamlı gerçekleşme sıklıkları ile değiştirilmiş olacaktır. Bu sonuçların, aşım olasılığı kabul edilebilecek düzeyde küçük olanları, yer hareketi şiddetinin belirlenmesinde kullanılabilmektedir.



Şekil 2.1: Olasılıksal sismik tehlike analizinin beş adımının şematik gösterimi. (a) Deprem kaynaklarının tanımlanması. (b) Her bir kaynaktan gelen deprem magnitüdlerinin dağılımlarının karakterizasyonu. (c) Her bir kaynaktan gelen kaynaktan bölgeye mesafelerin dağılımının karakterizasyonu. (d) Yer hareketi şiddetinin sonuçlanan dağılımının kestirimi. (e) a-d adımları arasında elde edilen bilgilerin, yer hareketi şiddeti değerlerine karşılık yıllık aşılma değerlerinin hesaplanmasında kullanılmak üzere bir araya getirilmesi (Baker, 2008'den düzenlenmiştir).

2.3.1 Olasılık Kavramları

2.3.1.1 Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu

Rastgele bir değişkenin bir değerden daha küçük değer alma olasılığı PDF (OYF – olasılık yoğunluk fonksiyonu) ile gösterilir. Örneğin; bir x rastgele değişkeninin bir a değerinden küçük değer alma olasılığı OYF ile gösterilebilmektedir. Kesikli x için OYF aşağıdaki gibi yazılmaktadır (Alpaydın, 2011):

$$F(a) = \sum_{\forall x \leq a} P(x) \quad (2.1)$$

Sürekli x için OYF aşağıdaki gibi yazılmaktadır (Alpaydın, 2011):

$$F(a) = \int_{-\infty}^a p(x) dx \quad (2.2)$$

2.3.1.2 Bayes Kuralı

Bayes kuralı; birleşik dağılmış iki rastgele değişkenden birinin bilinmesi durumunda, ikincinin değerinin hesaplanmasında kullanılmaktadır. Bu hesaplama aşağıdaki gibi gösterilebilmektedir (Alpaydın, 2011):

$$P(y|x) = \frac{P(x|y)P_Y(y)}{P_X(x)} = \frac{P(x|y)P_Y(y)}{\sum_y P(x|y)P_Y(y)} \quad (2.3)$$

Bu şekilde Bayes kuralı önsel olasılıktan sonsal olasılık oluşturmaktadır. Sözel ifade yolu ile bu hesaplama aşağıdaki gibi gösterilebilmektedir (Alpaydın, 2011):

$$sonsal = \frac{olabilirlik \times \text{önsel}}{kanıt} \quad (2.4)$$

2.3.2 Deprem Kaynaklarının Belirlenmesi

Olasılıksal sismik tehlike analizinde, bir bölgeye zarar verebilecek yer hareketleri üreten tüm deprem kaynakları ile göz önünde bulundurulur. Bu kaynaklar sıklıkla çeşitli geçmiş deprem

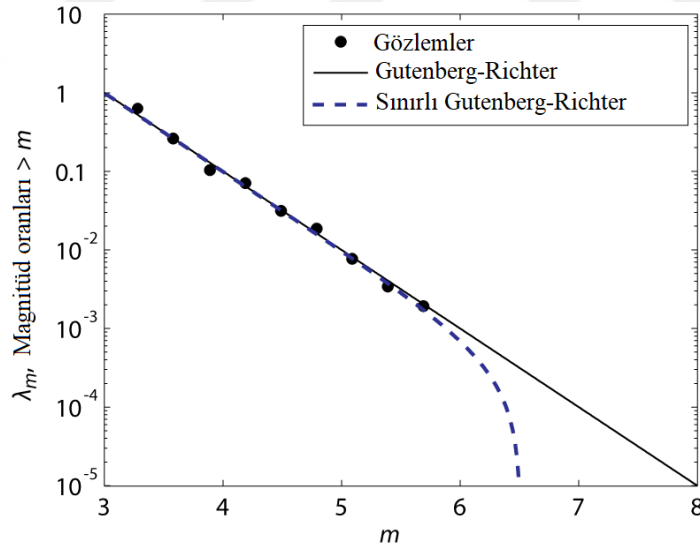
konumları ve jeolojik kanıtlar gibi bilgiler ile tanımlanan düzlemsel faylar olabilir. Düşük sismik aktivite nedeniyle faylar başlı başına tanımlanamıyorsa, deprem kaynakları; alansal bölgedeki herhangi bir yerde gerçekleşen depremler ile tanımlanabilir.

2.3.3 Deprem Magnitüdlerinin Belirlenmesi

Tektonik faylar farklı büyüklüklerde ve boyutlarda depremler üretebilmektedir. Gutenberg ve Richter, bir bölgedeki deprem boyutlarının dağılımlarını Denklem 2.1'deki gibi özel bir dağılım ile göstermiştir:

$$\log \lambda_m = a - b_m \quad (2.5)$$

burada λ_m ; magnitüd değeri m 'den büyük olan depremlerin oranını, a ve b ise; sabitleri temsil etmektedir. Bu denklem Gutenberg-Richter Yineleme Yasası olarak bilinir. Bir bölge veya faydan elde edilen tipik gözlemler, Denklem 2.1'de verilen Gutenberg-Richter denklemi ile hesaplanıp Şekil 2.2'de gösterilmiştir.



Şekil 2.2: Gözlemlenen deprem magnitüdlerinin tipik dağılımının, Gutenberg-Richter ve sınırlı Gutenberg-Richter tekrarlamaya yasaları ile birlikte gözlem verilerine uydurulmuş hali (Baker, 2008'den düzenlenmiştir).

Denklem 2.1'deki a ve b sabitleri, tarihsel gözlemlerin istatistiksel analizi ile tahmin edilmiştir. Kestirimler, veri kısıtlılığı olan durumlarda ise farklı tipte jeolojik kanıtlar ile yapılmıştır. a değeri; bir bölgedeki genel deprem oranını, b değeri ise; küçük ve büyük magnitüdlerin birbirlerine göre göreceli oranını belirtir. Tipik b değeri genellikle yaklaşık 1'dir.

Ayrıca Denklem 2.1, bazı minimum magnitüdlere daha büyük depremlerin magnitüdlere için birikimli dağılım fonksiyonu hesaplamakta kullanılabilmektedir. Bu koşullandırma; m_{min} 'den küçük olan depremlerin mühendislik açısından önemsenmeyecek düzeyde olması nedeni ile yok sayılmaktadır (Denklem 2.2).

$$\begin{aligned}
 F_M(m) &= P(M \leq m | M > m_{min}) \\
 &= \frac{m_{min} < M \leq m \text{ olan depremlerin oranı}}{m_{min} < M \text{ olan depremlerin oranı}} \\
 &= \frac{\lambda_{m_{min}} - \lambda_m}{\lambda_{m_{min}}} \\
 &= \frac{10^{a-bm_{min}} - 10^{a-bm}}{10^{a-bm_{min}}} \\
 &= 1 - 10^{-b(m-m_{min})}, m > m_{min}
 \end{aligned} \tag{2.6}$$

$F_M(m)$, M 'in olasılıksal dağılım fonksiyonudur. M için birikimli dağılım fonksiyonunun türevi alınarak olasılıksal yoğunluk fonksiyonu hesaplanabilmektedir (Denklem 2.3).

$$\begin{aligned}
 f_M(m) &= \frac{d}{dm} F_M(m) \\
 &= \frac{d}{dm} [1 - 10^{-b(m-m_{min})}] \\
 &= b \ln(10) 10^{-b(m-m_{min})}, m > m_{min}
 \end{aligned} \tag{2.7}$$

Denklem 2.3'teki olasılıksal dağılım fonksiyonu Denklem 2.1'deki Gutenberg-Richter Yasasına dayanmaktadır. Kuramsal açıdan bu yaklaşım ile magnitüdlere üst limit olmaksızın kestirmek mümkün olmasına rağmen, fiziksel kısıtlamalar bunu gerçek dışı kılmaktadır.

Kaynak faylarının boyutları sonlu olduğu için bir bölgedeki deprem magnitüdlere genellikle bir üst sınırı olmaktadır. Eğer magnitüd saptanabilirse Denklem 2.2 aşağıdaki gibi olacaktır (Denklem 2.4):

$$F_M(m) = \frac{1 - 10^{-b(m-m_{min})}}{1 - 10^{-b(m_{max}-m_{min})}}, m_{min} < m < m_{max} \tag{2.8}$$

Denklem 2.3 ise Denklem 2.5 gibi olacaktır (Denklem 2.5):

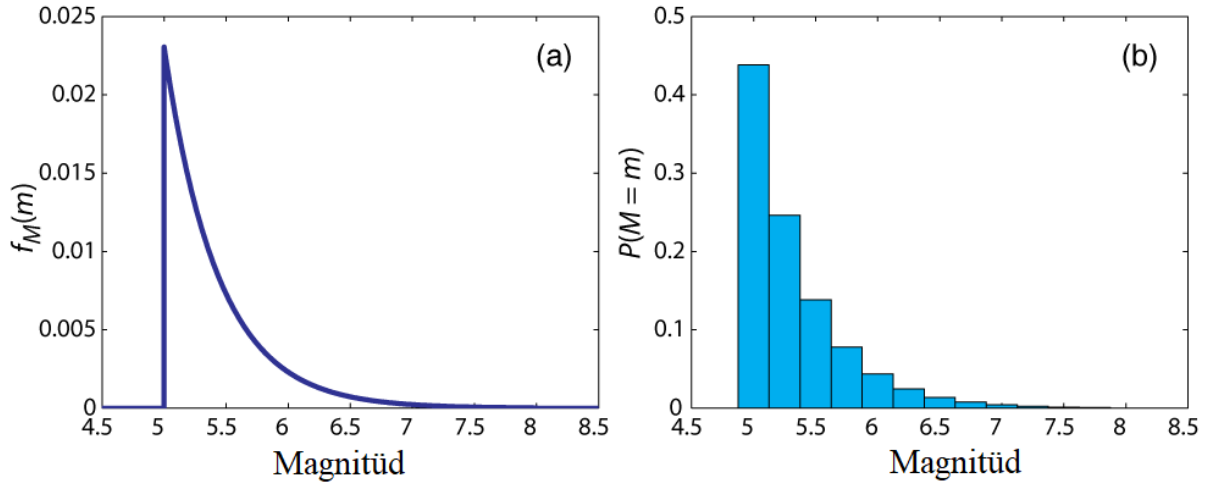
$$F_M(m) = \frac{b \ln(10) 10^{-b(m-m_{min})}}{1 - 10^{-b(m_{max}-m_{min})}}, \quad m_{min} < m < m_{max} \quad (2.9)$$

m_{max} , verilerin kaynağın üretebileceği en büyük depremin magnitüdüdür. Bu sınırlı magnitüd dağılımı sınırlandırılmış Gutenberg-Richter Yineleme Yasası olarak bilinmektedir. Örnek deprem magnitüd gözlemleri; Gutenberg-Richter Yineleme Yasası ve Sınırlandırılmış Gutenberg-Richter Yineleme Yasasına uygun halde gösterilmiştir (Şekil 2.2).

Buradan sonraki olasılıksal sismik tehlike analizi denklemlerinde, magnitüdlerinin sürekli dağılımları bir ayırık magnitüd grubuna dönüştürülecektir (Şekil 2.3). En küçük magnitüd değeri 5, en büyük magnitüd değeri 8 ve b değeri 1 olan bir kaynak için ilgilenilen olasılıklar Tablo 2.1’de gösterilmiştir.

Tablo 2.1: Minimum ve maksimum magnitüd değerleri sırası ile 5 ve 8, a ve b parametreleri 1 olan, kırılmış bir Gutenberg-Richter dağılımı için magnitüd olasılıkları. Bu tablodaki hesaplamalar 2.4 ve 2.6 denklemleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Baker, 2008).

m_j	$F_M(m_j)$	$P(M = m_j)$
5.00	0.0000	0.4381
5.25	0.4381	0.2464
5.50	0.6845	0.1385
5.75	0.8230	0.0779
6.00	0.9009	0.0438
6.25	0.9447	0.0246
6.50	0.9693	0.0139
6.75	0.9832	0.0078
7.00	0.9910	0.0044
7.25	0.9954	0.0024
7.50	0.9978	0.0014
7.75	0.9992	0.0008
8.00	1.0000	0.0000



Şekil 2.3: Bir kırılmış Gutenberg-Richter dağılımlı bir kaynak için bir sürekli magnitüd dağılımının ayrıklaştırılmasının illüstrasyonu. Bu hesaplamada; minimum ve maksimum magnitüd değerleri sırası ile 5 ve 8, a ve b parametreleri ise 1 olarak alınmıştır. (a) 2.5 denkleminde hesaplanan sürekli olasılık yoğunluk fonksiyonu. (b) 2.6 denkleminde hesaplanan ayrık olasılıkları (Baker, 2008'den düzenlenmiştir).

İlk sütun; değerleri 5 ile 8 arasında 0.25 birim aralıkla değişen 13 magnitüdü göstermektedir. İkinci sütun, Denklem 2.4'ten yola çıkarak hesaplanan birikimli dağılım fonksiyonlarını göstermektedir. Üçüncü sütun, ilgili magnitüdlerin yalnızca muhtemel magnitüdlere olabileceğini varsayarak, ayrık magnitüd grubunun gerçekleşme olasılıklarını göstermektedir (Denklem 2.6).

$$P_M(M = m_j) = F_M(m_{j+1}) - F_M(m_j) \quad (2.10)$$

burada m_j ayrık magnitüd grubunu temsil etmektedir; $m_j < m_{j+1}$ olacak şekilde sıralanmıştır. Bu hesaplama, m_j ve m_{j+1} aralığından ayrık m_j değerine kadar tüm büyüklükler ile ilişkili olasılıkları belirler. Ayrık magnitüdlerin aralıkları çok yakın olduğu sürece kestirim; sayısal sonuçlardan etkilenmeyecektir. Tablonun çok uzun olmaması amacı ile Tablo 2.1'de magnitüdler 0.25 aralıklarla ayrılmıştır. Pratikte bir olasılıksal sismik tehlike analizinde 0.1 veya daha küçük aralık değerleri kullanılmalıdır (Baker, 2008).

Deprem magnitüdlerinin dağılımının açıklanması için önerilen tek model Gutenberg-Richter modeli değildir. Makul nedenler ile tekrarlı oluşan deprem karakteristiği olan faylar için Karakteristik Deprem modeli yaygın bir alternatiftir (Schwartz ve Coppersmith, 1984). Bu karakteristik magnitüd, Gutenberg-Richter modelleri ile kestirilenden daha sık meydana gelmektedir. Bunun için yapılması gereken; Denklem 2.5'i düzenlenmiş uygun bir olasılıksal

dağılım fonksiyonu ile değiştirmek ve bu şekilde alternatif bir yinelemeli modeli sürece adapte etmektir.

2.3.4 Deprem Uzaklıklarının Belirlenmesi

Bir bölgedeki yer sarsıntısını kestirmek için gerekenlerden biri; depremlerin ilgililenilen bölgeye olan uzaklıklarının dağılımının modellenmesidir. Bu çalışma kapsamında; belirlenen bir deprem kaynağında, fayın tüm konumlarında eşit olasılık ile deprem üreteceği varsayılmıştır. Söz konusu konumlar bir örnek olacak şekilde dağıtılmıştır. Kaynak-bölge uzaklıklarının dağılımı, genellikle yalnızca kaynak geometrisi kullanılarak basit şekilde belirlenebilir.

2.3.5 Yer Hareketi Şiddeti

Potansiyel deprem magnitüdüleri ve konumlarının dağılımları nicel olarak elde edilebilmektedir fakat burada depremlerin değil yer hareketlerinin analizi ile ilgileneilmektedir. Dolayısı ile bir yer hareketi modeli oluşturulmalıdır. Bu modeller yer hareketi şiddetinin olasılıksal dağılımını; depremin magnitüdü, mesafesi, faylanma mekanizması, yakın yüzey bölge etkisi, potansiyel yönlenme etkisinin varlığı vb. pek çok kestirimci değişken ile tahmin etmektedir.

Yer hareketi kestirim modelleri genellikle gözlenmiş yer hareketi şiddetlerinin geniş kütüphanelerinden elde edilen gözlemlerin üzerine istatistiksel regresyon kullanılarak geliştirilmektedir.

2.3.6 Olasılıksal Sismik Tehlike Analizi Denklemleri

Bu başlıklar sonrasında elde edilen veriler ile olasılıksal sismik tehlike analizi denklemleri kullanılarak tüm bilgiler bir araya getirilebilir.

Öncelikle, verilmiş tek bir kaynaktan meydana gelebilecek bir depremin, IM şiddet seviyesi x 'i aşım olasılığı hesaplanmaktadır. Yer hareketi kestirim modelleri ile verilen bir magnitüd ve uzaklık için IM seviyesini aşma olasılığı hesaplanabilmektedir. Gelecekte olacak olan depremin magnitüd ve uzaklığı henüz bilinmemektedir fakat 2.3.2 ve 2.3.3 bölümlerindeki yaklaşımlar

kullanılarak olasılık dağılım fonksiyonları bulunabilmektedir. Ardından bu bilgi toplam olasılık kuramı kullanılarak birleştirilebilir (Denklem 2.7):

$$P(IM > x) = \int_{m_{min}}^{m_{max}} \int_0^{r_{max}} P(IM > x|m, r) f_M(m) f_R(r) dr dm \quad (2.11)$$

burada $P(IM > x | m, r)$ yer hareketi modelinden gelmektedir. $f_M(m)$ ve $f_R(r)$ magnitüd ve uzaklık için olasılıksal dağılım fonksiyonlarıdır, dikkate alınan tüm magnitüd ve uzaklıklarla entegre edilmektedir. İntegrasyon işlemi olası tüm magnitüd ve uzaklıklar ile ilişkisi olan koşullu aşım olasılıklarını bir araya getirmektedir.

Denklem 2.7’de verilen depremin aşım olasılığıdır ve ilgilenilen kaynakta depremlerin oluşma sıklığı ile ilgili herhangi bir bilgi içermemektedir. Bir depremin belirtilen oluş sıklığının $IM > x$ ’in olasılığı yerine $IM > x$ ’in oranını hesaplamak için denklem düzenlenebilir (Denklem 2.8).

$$\lambda(IM > x) = \lambda(M > m_{min}) \int_{m_{min}}^{m_{max}} \int_0^{r_{max}} P(IM > x|m, r) f_M(m) f_R(r) dr dm \quad (2.12)$$

burada $\lambda(M > m_{min})$ kaynaktan m_{min} ’den büyük depremlerin oluş oranını temsil etmektedir ve $\lambda(IM > x)$ ise $IM > x$ ’in oranıdır.

Analizin genelleştirilmesi için birden fazla kaynağın olduğu durumlar hesaba katılmıştır. Tüm kaynakların; $IM > x$ oranlarının toplamı olduğu göz önüne alınmıştır (Denklem 2.9).

$$\lambda(IM > x) = \sum_{i=1}^{n_{kaynaklar}} \lambda(M_i > m_{min}) \int_{m_{min}}^{m_{max}} \int_0^{r_{max}} P(IM > x|m, r) f_{M_i}(m) f_{R_i}(r) dr dm \quad (2.13)$$

burada $n_{kaynaklar}$ hesaba katılan kaynakları ve M_i / R_i ise i kaynağı için *magnitüd / uzaklık* dağılımlarını temsil etmektedir. Bu sürekli dağılımlar (integraller) ayrık toplamlara dönüştürülmektedir (Denklem 2.10).

$$\lambda(IM > x) = \sum_{i=1}^{n_{kaynaklar}} \lambda(M_i > m_{min}) \sum_{j=1}^{n_M} \sum_{k=1}^{n_R} P(IM > x | m_j, r_k) P(M_i = m_j) P(R_i = r_k) \quad (2.14)$$

olası M_i ve R_i aralığında sırasıyla n_M ve n_R arasına ayrıştırılmıştır. Denklem 2.9 (veya eşit biçimde Denklem 2.10) olasılıksal sismik tehlike analizinde kullanımı en yaygın olan denklemdir. Bu denklem; depremlerin gerçekleşme oranları, olası magnitüdleri, uzaklıkları ve yer sarsıntı şiddetleri ile entegre haldedir. Tüm bu girdiler bilimsel çalışması yapılan eski depremler ve işlenmiş gözlemsel veriler ile saptanabilmektedir. Neticede elde edilen farklı şiddet ölçüsü seviyeleri mühendislik kararlarının verilmesinde çok önemli rol oynamaktadır.

2.4. DOĞU ANADOLU BÖLGESİ'NİN JEOLJİSİ VE DEPREMSELLİĞİ

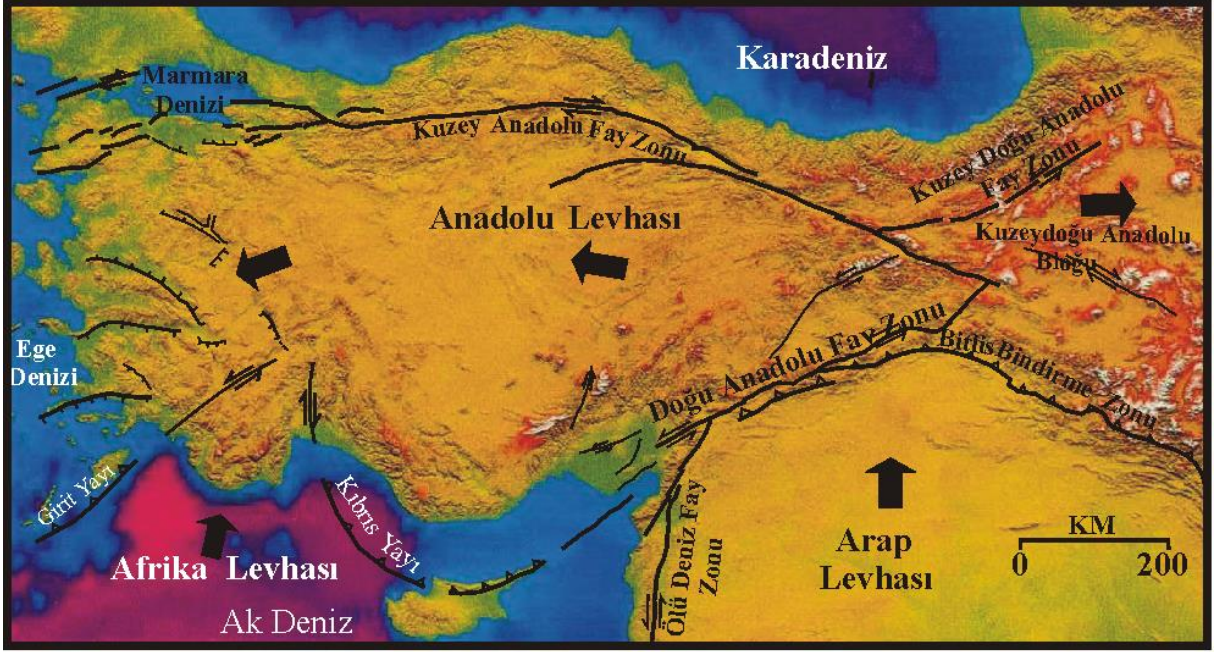
Doğu Anadolu tektoniğinde; Avrasya ve Arap Levhalarının süregelen çarpışması baskın halde bulunmaktadır (Şekil 2.4). Eosen zamanındaki yakınsamanın, Arap kıtasal kenarının incilmesi ve kısılması ile sağlandığı düşünülmektedir (Hempton, 1985; Şengör vd., 1985). Kuzey ve Doğu Anadolu Fay Sistemlerinin Anadolu Bloğunun Ege Yayına doğru hareketinin ardından geliştiği düşünülmektedir (Burke ve Şengör, 1986).

Hendek geri dönüşümü tarafından üretilen gücün ve Ege yayındaki güneye doğru göçün; Anadolu Bloğunun geniş ölçekli doğrultu atımlı fay sistemleri boyunca saatin tersi yönünde hareketine katkıda bulunduğu düşünülmektedir (Reilinger vd., 2006). Günümüzde Arap Plakası kuzeye doğru hareket etmektedir. Yakın dönemde yapılan çalışmalar; Anadolu Plakasının bugünkü batıya kaçışının, Doğu Anadolu'daki çarpışmadan gelen yalnızca küçük bir bileşen ile başlıca Ege yitiminden sağlandığını göstermektedir (Reilinger vd., 2006; Bulut vd., 2012).

Doğu Anadolu Fay Sistemi karmaşık bir yapıya sahiptir. Toplam offset değeri 22 km dolaylarındadır (Arpat ve Şaroğlu, 1972; Şaroğlu vd., 1992). Bu önemli fark; Ege Yayı altına dalan Afrika litosferinin neden olduğu, Anadolu Bloğunun saatin tersi yönünde dönüşünün geri dönüşüm sonucu olabileceği düşünülmektedir (Reilinger, 2006).

Kuzey Anadolu Fay Sistemi'nde yüksek düzeyde sismik aktiviteye kıyasla, Doğu Anadolu Fay Sistemi son yüzyılda daha düşük sismisite seviyelerinde karakterize edilmiştir (Jackson ve

McKenzie, 1988). Bununla birlikte, tarihsel kayıtlar açıkça göstermektedir ki; son 900 yıl içerisinde bu fay üstünde önemli büyük depremler meydana gelmiştir. Ayrıca her 800-900 yılda bir sismik aktivitenin Kuzey Anadolu Fay Sistemi'nden Doğu Anadolu Fay Sistemi'ne aktarıldığı bilinmektedir (Ambraseys, 1971).



Şekil 2.4: Avrasya ve Arap Plakalarının çarpışmalarının baskın olduğu Doğu Anadolu tektoniğinin gösterimi (Sezgin vd., 2002).

Sürekli geniş bantlı sismograf kayıtları, Ekim 1999 ve Ağustos 2001 tarihleri arasında Doğu Anadolu Fay Sistemi'nin, önceden sanılandan daha aktif olduğunu göstermektedir. Bu sistemin en aktif sismojenik alanının ise 10-30 km derinliklerinde olduğu gösterilmektedir. Buna kıyasla Kuzey Anadolu Fay Sistemi'nde bu alan 0-10 km derinliklerindedir (Türkelli vd., 2003).

Daha yakın tarihte Bulut vd. (2012) tarafından yapılan çalışma göstermiştir ki; Doğu Anadolu Fay Sistemi geniş bantlı depremsellik ihtiva etmektedir. Kesin deprem konumlarının, tek parça halinde devam eden bir fayı destekler nitelikte olmadığı belirtilmektedir. Odak derinlikleri baskın olarak 5-20 km aralığında değişmektedir. GB-KD yönelimli sol yanal doğrultu atım mekanizmalarının tüm karakteristiğini etrafıca yansıtan kinematiklerin baskın olduğu gösterilmektedir. Fay alanı ayrıca D-B yönelimli bindirme fayları ve K-G yönelimli normal faylar içermektedir. Bu özellikler, bir çarpışma veya genişleme rejiminden ziyade, bir makaslama alanının gelişiminin erken aşamalarını temsil etmektedir (Türkoğlu vd., 2015).

3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1. PYTHON VE BİLİMSEL HESAPLAMA

Python, Guido van Rossum tarafından tasarlanan genel amaçlı, nesne yönelimli ve yorumlamalı yüksek seviye bir programlama dilidir. İlk sürümü 1991’de yayınlanan Python, başından beri açık kaynak bir proje olarak varlığını sürdürmektedir (Alonzi, 2016).

Sade söz dizimi ve girintili yapısı ile Python, kod okunabilirliğini sağlamaktadır. Basit, nesne yönelimli ve genel amaçlı olması sayesinde; modern yazılım geliştirme yaklaşımlarını akıcı şekilde desteklemektedir. Bu özellikleri ile yazılan kodun tekrar kullanılabilirlik düzeyini yükseltmektedir (Muller, 2000).

Bu dil, özel koşullar dışında veri tipi tanımlaması ve satır sonu belirteci karakter kullanımı gibi zorunlulukları bünyesinde barındırmamaktadır. Kendi kod stil rehberi mevcuttur ve bu sayede evrensel düzeyde standartlaştırılmış kod yazmayı mümkün kılmaktadır. Bu ve benzeri özellikleri ile kodun kısa tutulması, okunabilirliğinin artırılması ve modüler hale getirilmesini basitleştirmektedir. Yorumlamalı bir dil olduğundan, yaygın kullanımı arttırmak daha görece daha kolaydır (Google Developers, 2016).

Derlemeli ve yorumlamalı dillerin birbirlerine karşı farklı avantajları vardır. Python’un yorumlamalı bir dil olması, basitliğinde büyük rol oynamaktadır. Geniş kitlelerce desteklenen Python, yazılım endüstrisinde kendine önemli bir yer edinmiştir. Büyük küçük pek çok yazılım şirketinde Python’un farklı amaçlar için aynı basitlikte kullanıldığı görülmektedir. Akademi, endüstri, vakıf ve bağımsız geliştiriciler tarafından desteklenmenin bir sonucu olarak; Python’un geniş bir harici paket arşivi bulunmaktadır.

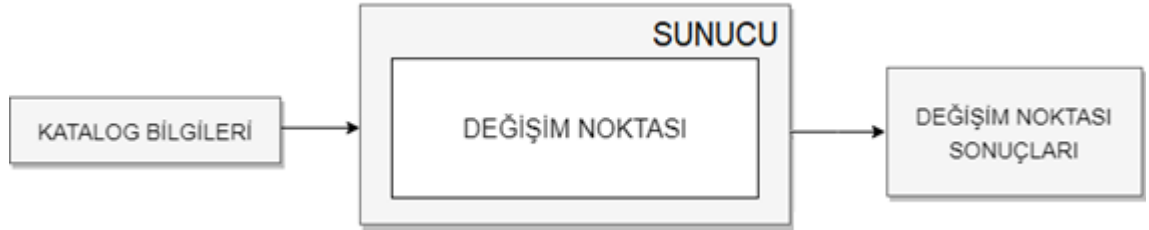
Bu programlama dilinin genel amaçlı olmasının en büyük faydalarından biri; pek çok platform ve amaç için geliştirme yapma imkanı tanıyan olmasıdır. Bu sayede bilimsel hesaplamalar yapılan bir program, web teknolojilerine adapte edilebilir. Ayrıca hesaplama sonuçları bir veritabanına kaydedilebilir veya bir veri kaynağına web servisler vasıtası ile bağlanılabilir, okuma yazma işlemleri yapılabilir. Tüm bu geliştirmeler web projeleri, tekrar kullanılabilir Python paketleri veya konsol uygulamaları gibi formlarda dışa aktarılabilir. NumPy, nümerik hesaplamalar için kullanılan harici temel pakettir. Bünyesinde güçlü bir N-boyutlu dizi objesi, karmaşık fonksiyonlar, lineer cebir, Fourier dönüşümü ve gelişigüzel sayı bileşenlerini

barındırır. Ayrıca C, C++ ve Fortran kodu ile entegrasyon sağlayan araçları mevcuttur (NumPy, 2018). SciPy, Python’da bilimsel hesaplamalar için kullanılan harici bir koleksiyon ve pakettir. Nümerik hesaplamalar için NumPy’den faydalanır. Kendi ismindeki kütüphanede ise nümerik algoritmalar, sinyal işleme, optimizasyon ve istatistik gibi etki alanına özgü pek çok araç seti içerir (SciPy, 2018).

Bu ekosistemde çizdirme işlemleri için ise Matplotlib paketi kullanılmaktadır. Bu paket yayınlanabilir kalitede 2-boyutlu çizdirme kapasitesine sahiptir. 3-boyutlu çizdirme kapasiteleri ise 2-boyutluya kıyasla daha kısıtlıdır.

Baker ve Gupta’nın (2016); Bayeşçi yaklaşımlar doğrultusunda değişim noktası analizi için geliştirdikleri Matlab programı ile yalnızca gömülü olarak kodlanmış bilgiler kullanılarak analiz yapılabilmektedir. Ayrıca bu programın Matlab platformunda çalışması nedeni ile aktif olarak çalışan bir PSHA sistemi üretmek için uygun olmadığı düşünülmektedir. Bu programın akışı yeniden düzenlenerek; optimize edilmiş, entegrasyona açık ve sürekli aktif olabilecek bir PSHA sistemi tasarlanmıştır.

Bu çalışmada geliştirilen veri analiz programı; değişim noktası analizini içermektedir. Programın girdi-çıkıı özelinde işleyişı aşağıda gösterilmektedir (Şekil 3.1).



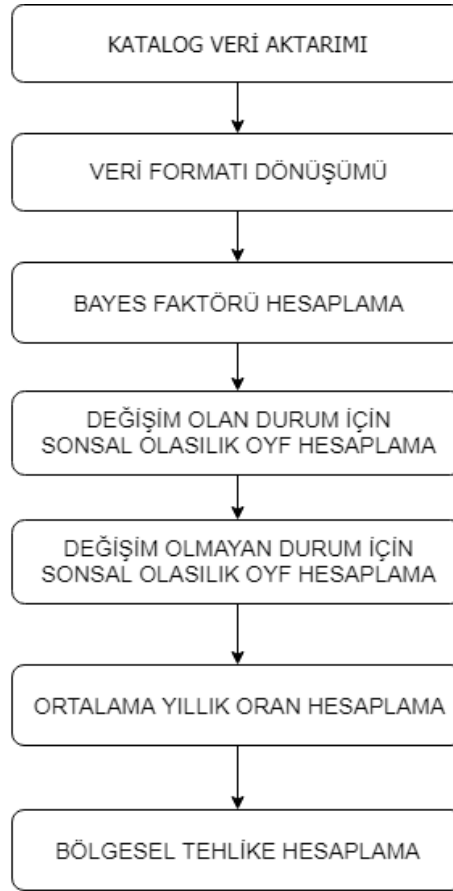
Şekil 3.1: Programa giren ve çıkan değerlerin gösterimi. Hangi fonksiyonun kullanılacağına, sunucuya gelen verinin içeriğine göre karar verilmektedir.

Değişim noktası programı katalogtan veri aktarımı ile çalışmaya başlamaktadır. Aktarılan bu veri; web servisine geldiği formattan, geliştirilen fonksiyonda kullanmaya uygun hale dönüştürülmektedir. Katalog verisi; üzerindeki artçı şok etkisinden arındırılmak üzere yeniden kümelendirme işlemine tabi tutulmaktadır. Bu şekilde artçı şokların deprem kataloğundaki kümelerde yarattığı etki sönümlenerek, odaklanılmak istenen deprem etkinlikleri ön plana çıkarılmaktadır.

Bayes faktörü hesaplaması için; katalog verisindeki deprem etkinliklerinin başlangıç-bitiş yılları ve aralarındaki gün farkları kullanılmaktadır. Bu hesaplamada Raftery ve Akman (1986) çalışmasında yer alan Denklem 3.2 temel alınmaktadır (Baker & Gupta, 2016).

$$B_{01}^{(n)} = 4\pi^{1/2} T^{-n} \Gamma\left(n + \frac{1}{2}\right) \left\{ \sum_{i=0}^n \Gamma\left(i + \frac{1}{2}\right) \Gamma\left(n - 1 + \frac{1}{2}\right) I_i^{(4)} \right\}^{-1} \quad (3.1)$$

Değişim noktası programına ait akış diyagramı ise Şekil 3.2’de gösterilmiştir.



Şekil 3.2: Şekil 3.1’de sunucu üzerinde gösterilen fonksiyonların işleyişinin gösterimi için hazırlanan akış diyagramı.

3.2. REST API

3.2.1. REST

Bir mimari stil; bağlayıcıların ve bileşenlerin, nasıl bir araya getirileceklerini belirleyen kısıtlamaları ile birlikte sözlüğünü tanımlamalıdır. REST, Roy Thomas Fielding tarafından geliştirilmiş bir mimari stildir (Fielding, 2000). Fielding (2000), günümüzde geçerli ve World Wide Web'in başarısında büyük pay sahibi olan dört karakteristiği tanımlamıştır. Bu karakteristiği sağlamak için varolan ağ mimari stillerinden şu koşul türetilmiştir:

- İstemci ve sunucu
- Tabiiyetsizlik
- Katmanlı mimari
- Ön belleğe alma
- İsteğe bağlı kod
- Tekdüze arayüz

Sonuncu madde REST web servislerinin Web API'sini temsil etmekte ve şemsiye bir terim olarak konumlandırılmaktadır. Kendi içerisinde sağlaması beklenen koşullar aşağıda gösterilmiştir:

- Kaynakların tanımlanması
- Kaynakların gösteriliş ile manipülasyonu
- Kendini tanımlayıcı mesajlar
- Hiper ortam

İsteğe bağlı kod dışında, eğer bir web servis tüm bu koşulları sağlar ise, RESTful olarak adlandırılabilir (Giessler vd., 2015).

3.2.2. REST API Kullanımı

Geliştirilen REST API, kendisine gönderilen parametrelere karşılık sonuç değerlerini dönmek üzere kurgulanmıştır. Bunun için API tarafına “GET” yöntemi bir talepte bulunulmalıdır. Bu şekilde API; ilgili talep karşılığında istemciye bilgi dönüşü yapması gerektiğini anlamaktadır. Diğer bir deyişle istemci; yazma değil okuma işlemi yapmak istediğini deklare etmektedir.

API'de tümü zorunlu olacak şekilde; katalog başlangıç tarihi (*ilkTarih*), katalog bitiş tarihi (*sonTarih*), enlem (*enlem*), boylam (*boylam*), minimum magnitüd (*mMin*), maksimum

magnitüd ($mMax$) ve dairesel arama yarıçapı ($yaricap$) parametreleri kullanılmaktadır. Bu parametreler ile yapılabilecek örnek “GET” talebi aşağıda gösterilmiştir:

- /degisimnoktasi?ilkTarih=1978-01-01&sonTarih=2018-01-01&enlem=36.36&boylam=37.33&mMin=4.0&mMax=9.0&yaricap=50

Talep API tarafına ulaştığında başlık bilgileri ile talep doğrulanmakta ve parametre ayrıştırmasına geçilmektedir. Parametre ayrıştırması sonucu hatalı girdi verisi olmadığı doğrulandıktan sonra ilgili girdi verileri ile Şekil 3.2’de gösterilen akış çalışmaya başlamaktadır. Akış çalışması sonucunda istemciye talep cevabı dönülmektedir. Cevapta talep durumları HTTP kodları ile belirtilmektedir. Dönen cevapta analiz sonuçları JSON formatında sunulmaktadır.

3.3. SİSMİSİTEDE BAYESÇİ YAKLAŞIM

Yapay sismisitede olasılıksal sismik tehlike analizi anlayışı için, gerçekliği yansıtan model j ’nin inanç değeri ile ilişkili yeni verinin ağırlığı nasıl etkileyeceği göz önünde bulundurulmalıdır. Doğal sismisitede, yeni veri ve modeller nispeten değişmez bir oranla geliştirilmektedir. Tipik olarak pratikte, zaman sürecinde yıllar geçtikçe tehlike analizinin tekrar edilmesi gerekmektedir (Baker, 2008). Bu tekrarda mantık ağacı dalları ve ağırlıklar güncellenmekte ve geliştirilmektedir. Yapay sismisitede, bir bölgede geleceğe yönelik deprem aktivitesi ve yer sarsıntısı tahminlerinde ani değişimler yaratacak veri için; ilgili modellere Bayesçi işlemler yapılabilmektedir (dinamik olarak güncellenen ağırlıklar ile). Birincil ağırlık grubuna modellerdeki önsel dağılımlar gibi davranıp, ilgili güncel veri kullanılarak ağırlıklar güncellenir. Eğer sismik aktivite varsayılan modelden farklı ise, bu, doğanın şu anki hali ile uyumsuzluğunun bir kanıtı olarak değerlendirilir ve modelin olasılıksal sismik tehlike analizi hesaplamalarındaki indirgenmiş değerlendirmesini düzeltmek için kullanılır. Bununla birlikte, aynı veri doğanın farklı halleri için üretilen modellerde çok daha tutarlı olacaktır. İki model de ilk mantık ağacında oldukça veri; olabilirlik fonksiyonlarında, model ağırlıklarını güncellemek için kullanılabilir.

Eğer verilen mantık ağacı dalı j , L_j olarak gözlenen verinin olabilirliği şeklinde gösterilirse; bu değerler, güncellenmiş mantık ağacı dal ağırlıklarını saptamak için kullanılabilir.

$$w'_j = \frac{L_j w_j}{\sum_{\text{tümü}_j} L_j w_j} \quad (3.1)$$

Bu güncellenmiş ağırlıklar (w'_j) aday modellerdeki inanç değeri için sonsal olasılık dağılımlarını açıklamaktadır. Bu standart formül birçok sezgisel çıkarıma sahiptir. Gözlenen verinin görece daha yüksek olabilirlik (L_j) üreten dalları arttırılmış ağırlık değerleri ($w'_j > w_j$) almaktadır. Oysa veri ile daha az tutarlı olan dallar düşürülmüş ağırlık değerleri almaktadır. Ayrıca, mantık ağacı ağırlıkları bununla birlikte; veri gözlemi öncesi mantık ağaç dalının inandırıcılığının ölçülmesinde rol oynamaktadır (w_j 'nin sağ kenar sayacında gösterildiği gibi). Payda, güncellenmiş ağırlıkları toplayıp tek hale getirmek adına normalize etmektedir. Daha sonra bu yeni ağırlıklar sismik tehlike hesaplamasını güncellemek için kullanılmaktadır (Baker ve Gupta, 2016).

3.3.1. Değişim Noktası

Depremlerin Poisson işlemi olarak varsayıldığı şartlar altında gözlemlenen veriler ile modele enjeksiyon başladığında, t zamanında gözlemlenen n adet deprem için λ aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır (Denklem 3.2):

$$L(\lambda) = P(t \text{ zamanında } n \text{ deprem}) \propto \lambda^n e^{-\lambda t} \quad (3.2)$$

burada $L(\lambda)$, λ için olabilirlik fonksiyonunu temsil etmektedir. Burada $L(\lambda)$ gözlemlenen veriye bağlı ve oranlı olarak belirlenmektedir.

Depremlerin, λ_1 oranı ile τ zamanına kadar Poisson işlemi gibi gerçekleştiği ve sonrasında λ_2 oranı ile Poisson işlemi olarak gerçekleştiği varsayılmaktadır. Bu üç parametre bilinmeyen parametrelerdir. λ_1 ile λ_2 önsel gamma dağılımları $a = 0.5$ ve $b = \infty$ ve τ ilgili katalog boyunca tekbiçimli bir önsel dağılım olarak varsayılmaktadır. λ_1 , λ_2 ve τ için τ 'dan öncesi ve sonrasını farklı varsayan bir genelleştirme denklemi (Denklem 3.2) kullanılarak olabilirlik fonksiyonu hesaplanabilmektedir (Denklem 3.3):

$$L(\lambda_1, \lambda_2, \tau) \propto \lambda_1^{n(\tau)} e^{-\lambda_1 \tau} \lambda_2^{n(t_{son})-n(\tau)} e^{-\lambda_2 (t_{son}-\tau)} \quad (3.3)$$

$n(t)$ katalog başlangıcı ve t zamanı arasındaki deprem etkinliği sayısını, t_{son} ise ilgili katalogun son etkinlik zamanını göstermektedir. Bu senaryoda sonsal olasılık dağılımı nümerik integrasyon kullanılarak hesaplanmaktadır (Gupta ve Baker, 2015). Değişim noktası modeli, sabit oranlı olsa da olmasa da veya değişim noktası uygun olmasa da değerlendirildiği bir model seçim adımı içermektedir. İlgili her veri için, *Denklem 3.2*'den gelen sabit oranlı olabilirlik, *Denklem 3.3*'ten gelen değişim noktası olabilirliğine bölünerek ve sonsal olasılık dağılımları üzerinde entegre edilerek bir Bayes faktörü hesaplanmaktadır. Bayes faktörü 0.01'den küçük olduğunda; verinin, değişim noktası modeli ile birlikte daha tutarlı olduğu anlaşılmaktadır. Bu noktada bir değişimin gerçekleştiği varsayılmakta ve λ_2 için olan sonsal olasılık dağılımı kullanılmaktadır (Baker ve Gupta, 2016). Aksi halde bir değişim olmadığı varsayıp, λ için gamma dağılımı kullanılarak sonsal olasılık dağılımları elde edilmektedir (*Denklem 3.4*).

$$\begin{aligned} f(\lambda) &\propto \lambda^{a-1} e^{-\lambda/b} \\ a' &= a + n \\ b' &= b/(tb + 1) \end{aligned} \tag{3.4}$$

3.3.2. Yer Hareketi Tahmini

Yer hareketi tahmini hesaplamaları; ilgili bölgedeki hız ve ivme gibi fiziksel değerlerin elde edilmesi için yapılmaktadır. Yer hareketlerinin hesaplamasını Baker ve Gupta (2016) tarafından yapılan çalışmada kullanılan Atkinson (2015) yer hareketi tahmin bağıntıları kullanılmıştır.

Atkinson (2015) tarafından yapılan çalışmadan farklı olarak; bu uygulamada tetiklenmiş sismik etkinlikler değil, doğal sismik etkinliklere odaklanılmıştır. Kullanılan katalog verisindeki hedef derinlik ile Atkinson (2015)'teki hedef derinliğin uyumlu olduğu görülmektedir. Bu kapsamda ilgilenilen hedef bölge de çok geniş tutulmayarak; 50 km'de sınırlandırılmıştır.

3.4. DOĞU ANADOLU DEPREM KATALOG VERİLERİ

3.4.1. Erzincan

Erzincan'da enlem-boylam değerleri 39.50-39.70 olan noktanın dairesel olarak 50 km yarıçap ile çevresini içeren deprem verileri kullanılmıştır (KOERI, 2018). Bu veri seti, ilgili bölgede

1978 ile 2018 yılları arasında, magnitüd değerleri 4 ile 9 aralığında olan depremleri kapsamaktadır (Tablo 3.1).

Tablo 3.1: Erzincan’da 39.50-39.70 enlem-boylamının dairesel 50 km yarıçap ile çevresini kapsayan katalog verileri. Başlangıç-bitiş yılları 1978-2018 ve magnitüd filtre değerleri 4-9 aralığındadır.

No	Oluş Tarihi	Oluş Zamanı	Enlem	Boylam	Der (km)	M
1	2017.05.20	11:05:00.31	39.7798	39.4897	5.0	4.3
2	2016.12.16	21:21:48.78	39.6328	39.7052	1.3	4.5
3	2015.02.09	22:52:49.45	39.4237	40.1490	4.7	4.1
4	2012.11.20	17:56:28.19	39.4970	39.8600	5.0	4.2
5	2012.11.18	15:44:20.00	39.5100	39.8872	5.0	4.0
6	2012.08.31	14:14:49.04	39.5128	40.0253	5.0	4.2
7	2011.08.24	15:47:24.35	39.4908	39.9650	5.0	4.4
8	2010.11.07	05:51:29.87	39.5032	40.2093	5.0	4.1
9	2010.09.07	02:48:51.89	39.5252	40.1242	3.8	4.1
10	2009.07.30	07:37:50.25	39.6025	39.7580	3.3	5.0
11	2003.01.27	15:57:39.40	39.5100	39.8400	10	4.1
12	2003.01.27	05:26:28.00	39.4800	39.7700	10	6.1
13	2002.10.22	15:52:12.30	39.3400	40.1700	10	4.7
14	2002.10.17	00:53:02.90	39.4100	40.2400	07	4.1
15	2002.08.24	15:26:29.80	39.4000	40.1200	02	4.0
16	2002.06.18	14:58:41.80	39.3400	39.4700	10	4.3
17	1999.07.31	23:27:24.70	39.9400	39.6000	0	4.0
18	1998.12.20	13:48:42.50	39.3900	40.1700	18	4.2
19	1998.11.10	08:59:26.00	39.2100	40.1300	12	4.0
20	1998.11.06	10:32:20.10	39.2000	40.1400	05	4.0
21	1998.02.24	10:20:45.90	39.2700	39.9100	01	4.2
22	1997.11.01	13:50:51.00	39.2700	39.7500	0	4.1
23	1997.03.13	02:59:44.60	39.7700	40.0400	24	4.2
24	1996.05.04	08:19:49.50	39.3500	40.0500	0	4.2
25	1996.03.21	11:18:04.40	39.8100	40.1200	0	4.3
26	1996.02.14	07:43:18.70	39.6100	39.2300	0	4.0
27	1995.12.11	07:00:30.20	39.6800	40.0600	0	4.0
28	1995.12.06	07:49:51.90	39.0900	39.6400	0	4.4
29	1995.12.05	18:49:32.10	39.3500	40.2200	33	5.7
30	1995.06.18	21:42:22.40	39.9000	39.8500	09	4.0
31	1995.03.17	05:31:08.20	39.3500	39.9000	0	4.1
32	1994.09.05	22:28:09.70	39.8100	39.8900	94	4.0
33	1993.07.22	01:54:56.80	39.5300	40.1100	11	4.6
34	1992.09.10	01:07:48.90	39.6200	39.7800	33	4.1

Tablo 3.1 (devam):

35	1992.04.28	07:16:27.70	39.6000	39.9100	10	4.2
36	1992.04.22	03:03:52.00	39.5300	39.7100	29	4.5
37	1992.04.20	18:04:59.00	39.5300	39.8500	14	4.6
38	1992.04.19	10:14:35.80	39.5000	39.6300	10	4.4
39	1992.03.29	09:26:20.40	39.4300	39.6300	10	4.1
40	1992.03.22	10:33:44.00	39.3600	39.8200	13	4.0
41	1992.03.21	23:15:50.70	39.6200	39.8700	15	4.6
42	1992.03.15	16:16:25.30	39.5300	39.9300	29	5.8
43	1992.03.14	01:24:34.50	39.6300	39.6900	22	4.6
44	1992.03.13	20:15:17.70	39.2000	39.7800	10	4.4
45	1992.03.13	18:37:57.30	39.8700	39.4600	34	5.1
46	1992.03.13	17:18:39.40	39.7200	39.6300	23	6.8
47	1989.05.20	20:44:02.20	39.5900	40.1800	34	5.3
48	1988.10.03	15:49:02.00	39.5500	40.1000	10	4.3
49	1985.08.12	02:54:44.20	39.9500	39.7700	29	4.9
50	1984.05.15	17:41:36.50	39.8200	39.4300	10	4.6
51	1983.11.20	16:04:35.50	39.8200	39.3300	47	4.6
52	1983.11.18	01:15:37.50	39.7900	39.4300	37	5.0
53	1980.04.30	02:28:35.30	39.5800	40.1500	33	4.6
54	1979.01.19	23:36:58.80	39.9100	39.6000	11	4.9
55	1978.02.15	05:47:53.20	39.6900	39.6700	42	4.4
56	1978.02.15	03:27:43.70	39.7600	40.0100	54	4.6
57	1978.02.15	03:17:39.40	39.6700	39.8800	48	4.7

Büyük veya kısa aralıklar ile gerçekleşen depremler, katalog verisinin potansiyelinden daha fazla etki yaratabilmektedir. Bu soruna neden olan uzaysal deformasyondan kaçınmak için katalog verisi yeniden kümelendirilmiştir. Bu katalog verisi Zmap vasıtası ile Uhrhammer yeniden kümelendirme işlemine (Wiemer, 2001) tabi tutulmuş ve işlemlere bu veriler ile devam edilmiştir (Tablo 3.2). Yeniden kümelendirilmiş bu veride, deprem oluş tarihleri arasındaki gün farkı kullanılarak değişim noktası tespiti yapılacaktır.

Tablo 3.2: Erzincan'da 39.50-39.70 enlem-boylamının dairesel 50 km yarıçap ile çevresini kapsayan Tablo 3.1'deki veri setinin yeniden kümelendirilmiş hali.

No	Oluş Tarihi	Oluş Zamanı	Enlem	Boylam	Der (km)	M
1	15.2.1978	03:00	39.76	40.01	54	4.6
2	15.2.1978	03:00	39.67	39.88	48	4.7

Tablo 3.2 (devam):

3	15.2.1978	05:00	39.69	39.67	42	4.4
4	19.1.1979	23:00	39.91	39.6	11	4.9
5	30.4.1980	02:00	39.58	40.15	33	4.6
6	18.11.1983	01:00	39.79	39.43	37	5
7	15.5.1984	17:00	39.82	39.43	10	4.6
8	12.8.1985	02:00	39.95	39.77	29	4.9
9	3.10.1988	15:00	39.55	40.1	10	4.3
10	20.5.1989	20:00	39.59	40.18	34	5.3
11	13.3.1992	17:17	39.72	39.63	23	6.8
12	22.7.1993	01:15	39.53	40.11	11	4.6
13	5.9.1994	22:24	39.81	39.89	94	4
14	17.3.1995	05:16	39.35	39.9	0	4.1
15	18.6.1995	21:15	39.9	39.85	9	4
16	5.12.1995	18:33	39.35	40.22	33	5.7
17	6.12.1995	07:26	39.09	39.64	0	4.4
18	14.2.1996	07:04	39.61	39.23	0	4
19	21.3.1996	11:03	39.81	40.12	0	4.3
20	4.5.1996	08:16	39.35	40.05	0	4.2
21	13.3.1997	02:07	39.77	40.04	24	4.2
22	1.11.1997	13:54	39.27	39.75	0	4.1
23	24.2.1998	10:28	39.27	39.91	1	4.2
24	6.11.1998	10:31	39.2	40.14	5	4
25	20.12.1998	13:49	39.39	40.17	18	4.2
26	31.7.1999	23:49	39.94	39.6	0	4
27	18.6.2002	14:00	39.34	39.47	10	4.3
28	24.8.2002	15:43	39.4	40.12	2	4
29	17.10.2002	00:18	39.41	40.24	7	4.1
30	22.10.2002	15:19	39.34	40.17	10	4.7
31	27.1.2003	05:59	39.48	39.77	10	6.1
32	30.7.2009	07:20	39.6025	39.758	3.3	5
33	7.9.2010	02:32	39.5252	40.1242	3.8	4.1
34	7.11.2010	05:59	39.5032	40.2093	5	4.1
35	24.8.2011	15:48	39.4908	39.965	5	4.4
36	31.8.2012	14:27	39.5128	40.0253	5	4.2
37	20.11.2012	17:26	39.497	39.86	5	4.2
38	9.2.2015	22:53	39.4237	40.149	4.7	4.1
39	16.12.2016	21:52	39.6328	39.7052	1.3	4.5

3.4.2. Van

Van'da enlem-boylam değerleri 38.66-43.25 olan noktanın dairesel olarak 50 km çevresini içeren deprem verileri kullanılmıştır (KOERI, 2018). Bu veri seti, ilgili bölgede 1978 ile 2018 yılları arasında, magnitüd değerleri 4 ile 9 aralığında olan depremleri kapsamaktadır (Tablo 3.3).

Tablo 3.3: Van'da 38.66-43.25 enlem-boylamının dairesel 50 km yarıçap ile çevresini kapsayan katalog verileri. Başlangıç-bitiş yılları 1978-2018 ve magnitüd filtre değerleri 4-9 aralığındadır.

No	Oluş Tarihi	Oluş Zamanı	Enlem	Boylam	Der (km)	M
1	2017.07.08	17:48:23.42	38.6600	43.1992	5.0	4.0
2	2017.05.01	16:30:41.02	38.2942	42.8993	5.1	4.4
3	2017.04.09	10:44:41.23	38.6372	43.1498	5.0	4.1
4	2017.04.08	21:30:58.26	38.7155	43.4627	1.6	4.3
5	2016.12.31	12:21:09.08	38.6127	43.0065	5.0	4.1
6	2016.11.02	14:52:54.17	38.6785	43.5548	2.3	4.0
7	2016.10.18	19:22:45.39	38.6533	43.7107	5.0	4.2
8	2016.08.25	04:35:46.51	38.7218	43.0655	5.0	4.2
9	2016.07.02	04:35:14.89	38.8907	43.5468	5.0	4.1
10	2016.04.19	23:50:09.61	38.8833	43.5293	4.2	4.1
11	2016.01.07	02:01:45.55	38.9027	43.5425	5.0	4.4
12	2015.06.23	22:35:20.46	38.6678	43.1672	5.0	4.5
13	2015.04.28	14:01:01.82	38.9015	43.5832	2.1	4.0
14	2014.06.13	16:00:35.52	38.6690	43.1828	5.0	4.0
15	2014.06.11	16:42:08.92	38.5975	43.1477	3.0	4.3
16	2014.05.27	00:16:14.41	38.8508	43.5625	5.0	4.3
17	2014.03.18	14:33:10.14	38.8755	43.5508	5.0	4.0
18	2014.03.18	09:28:46.62	38.8800	43.5302	1.1	4.1
19	2014.03.05	12:03:29.32	38.6927	43.1997	5.0	4.2
20	2013.12.29	11:01:40.59	38.8657	43.5413	5.0	4.0
21	2013.12.24	02:17:42.42	38.8678	43.5450	5.0	4.1
22	2013.12.16	11:58:08.83	38.9383	43.6143	5.0	4.0
23	2013.11.22	03:29:17.94	38.6775	43.2205	5.0	4.6
24	2013.10.30	22:40:32.11	38.7113	43.2408	1.0	4.3
25	2013.09.26	02:55:36.13	38.8353	43.5795	5.0	4.0
26	2013.09.21	02:15:44.14	38.6965	43.3853	5.4	4.9
27	2013.06.12	19:02:50.99	38.6032	43.6805	1.1	4.6
28	2013.03.10	10:04:14.50	38.6858	43.3662	4.0	4.0
29	2013.03.07	03:21:11.47	38.7533	43.4910	6.0	4.2

Tablo 3.3 (devam):

30	2013.02.12	17:00:17.12	38.5978	43.2133	8.0	4.6
31	2013.01.31	01:45:52.23	38.8260	43.6467	5.0	4.0
32	2012.12.06	12:38:17.76	38.8140	43.6673	5.0	4.2
33	2012.11.24	16:04:28.07	38.8415	43.5640	5.0	4.5
34	2012.09.23	09:10:41.41	38.7415	42.9447	5.0	4.4
35	2012.07.24	22:53:39.18	38.6748	43.4575	5.0	4.4
36	2012.07.20	16:20:16.76	38.6765	43.3422	5.5	4.1
37	2012.06.28	08:39:16.25	38.7235	43.3468	5.3	4.0
38	2012.06.27	03:31:09.14	38.9295	43.6335	5.0	4.0
39	2012.06.24	20:07:21.93	38.7495	43.6143	9.4	4.5
40	2012.04.18	23:30:52.23	38.8850	43.5993	5.0	4.5
41	2012.04.13	04:22:07.69	38.6678	43.1747	5.0	4.2
42	2012.04.12	09:32:42.26	38.6942	43.0705	5.0	4.1
43	2012.04.04	09:41:39.55	38.8772	43.6072	5.0	4.6
44	2012.03.24	06:57:46.50	38.9062	43.5292	5.0	4.1
45	2012.03.23	15:43:37.98	38.9173	43.6662	5.0	4.2
46	2012.03.13	03:24:11.87	38.4223	43.6848	3.7	4.0
47	2012.03.07	15:08:09.09	38.6392	43.0527	5.0	4.0
48	2012.03.03	12:02:09.89	38.7772	43.5385	5.0	4.1
49	2012.03.03	04:39:55.82	38.6038	43.1995	2.4	4.1
50	2012.02.24	13:07:10.53	38.8222	43.5847	6.8	4.7
51	2012.02.20	00:50:02.12	38.7597	43.1812	6.1	4.2
52	2012.02.17	09:32:58.00	38.7070	43.1963	5.2	4.5
53	2012.01.29	09:59:17.24	38.9703	43.6283	5.0	4.0
54	2012.01.29	04:14:57.45	38.8287	43.5712	5.0	4.5
55	2012.01.28	18:14:13.62	38.9300	43.6073	5.0	4.0
56	2012.01.20	09:57:38.28	38.7185	43.5102	6.3	4.7
57	2012.01.19	11:00:54.18	38.7363	43.0885	6.9	4.0
58	2012.01.06	00:16:49.01	38.7520	43.5748	6.2	4.4
59	2011.12.21	17:07:02.80	38.7300	43.2262	4.9	4.4
60	2011.12.12	11:56:55.12	38.6912	43.3787	3.0	4.1
61	2011.12.12	10:28:28.07	38.6038	43.1847	5.0	4.1
62	2011.12.10	05:07:51.77	38.9228	43.5590	5.0	4.4
63	2011.12.08	21:52:27.82	38.7255	43.6635	5.0	4.1
64	2011.12.06	02:55:59.51	38.8527	43.6217	2.5	4.6
65	2011.12.04	22:15:02.29	38.4617	43.2925	4.1	4.9
66	2011.12.03	01:30:54.61	38.8667	43.7753	5.0	4.7

Tablo 3.3 (devam):

67	2011.11.30	00:47:21.48	38.4778	43.4372	4.1	5.0
68	2011.11.26	19:22:33.10	38.4757	43.3505	5.5	4.2
69	2011.11.24	00:48:07.19	38.6290	43.0200	5.0	4.4
70	2011.11.22	23:48:13.98	38.9032	43.5777	5.0	4.3
71	2011.11.22	03:30:35.16	38.6145	43.2252	5.0	4.6
72	2011.11.21	21:00:34.92	38.6930	43.1750	5.0	4.5
73	2011.11.21	20:55:56.71	38.6880	43.1933	4.9	4.5
74	2011.11.20	11:20:31.56	38.8600	43.6790	2.0	4.3
75	2011.11.17	12:38:31.90	38.8957	43.5820	5.9	4.5
76	2011.11.14	22:08:16.07	38.6998	43.1615	8.0	5.3
77	2011.11.14	16:54:00.10	38.8002	43.5972	6.0	4.2
78	2011.11.14	16:47:16.05	38.6618	43.0475	6.0	4.7
79	2011.11.14	16:31:32.12	38.6545	43.0762	4.0	4.5
80	2011.11.13	19:57:29.46	38.8890	43.5783	6.0	4.1
81	2011.11.13	18:29:53.13	38.8853	43.6012	24.0	4.1
82	2011.11.12	21:11:45.59	38.6567	43.1803	6.0	4.0
83	2011.11.12	18:25:46.91	38.8242	43.6018	6.0	4.0
84	2011.11.12	18:20:01.69	38.6272	43.2093	6.0	4.6
85	2011.11.12	14:50:16.37	38.9992	43.5088	6.0	4.3
86	2011.11.11	13:45:08.90	38.6737	43.4815	6.0	4.2
87	2011.11.10	05:43:20.52	38.4855	43.3297	6.0	4.0
88	2011.11.09	22:38:17.15	38.4608	43.2347	6.0	4.5
89	2011.11.09	20:45:39.36	38.4830	43.2732	6.0	4.5
90	2011.11.09	19:30:11.33	38.4197	43.2840	4.0	4.8
91	2011.11.09	19:23:34.67	38.4217	43.2112	6.0	5.6
92	2011.11.08	22:05:50.57	38.7242	43.0870	6.0	5.4
93	2011.11.08	19:34:25.38	38.7995	43.4675	6.0	4.4
94	2011.11.08	17:24:51.87	38.6732	43.1995	6.0	4.2
95	2011.11.08	14:35:34.86	38.6612	43.6452	6.0	4.5
96	2011.11.07	22:14:12.34	38.9472	43.5680	6.0	4.6
97	2011.11.07	16:11:15.18	38.6887	43.6397	6.0	4.3
98	2011.11.07	15:53:50.53	38.6830	43.6467	6.0	4.8
99	2011.11.07	01:22:27.18	38.6638	43.2390	4.0	4.0
100	2011.11.06	20:55:59.28	38.6078	43.1513	6.0	4.0
101	2011.11.06	13:34:21.87	38.8132	43.4777	6.0	4.3
102	2011.11.06	02:43:12.00	38.9240	43.5648	6.0	4.8
103	2011.11.06	00:24:44.26	38.7163	43.2142	6.0	4.1

Tablo 3.3 (devam):

104	2011.11.05	23:12:27.24	38.7465	43.3042	5.0	4.2
105	2011.11.05	19:19:15.55	38.8062	43.5030	6.0	4.5
106	2011.11.05	03:23:46.59	38.7247	43.2392	6.0	4.3
107	2011.11.05	02:01:37.20	38.8733	43.5950	6.0	4.3
108	2011.11.04	12:56:28.19	38.7515	43.5108	6.0	4.1
109	2011.11.04	10:55:36.65	38.8227	43.4625	6.0	4.1
110	2011.11.03	16:39:55.64	38.8565	43.5867	6.0	4.3
111	2011.11.02	21:44:13.50	38.9712	43.6383	6.0	4.3
112	2011.11.02	20:48:21.79	38.7792	43.3395	4.0	4.3
113	2011.11.02	13:24:02.55	38.8433	43.5652	6.0	4.6
114	2011.11.02	04:38:02.11	38.8705	43.5433	6.0	4.2
115	2011.11.02	04:34:20.71	38.8730	43.5658	6.0	4.6
116	2011.11.01	21:10:44.67	38.8755	43.5962	6.0	4.3
117	2011.10.30	01:55:04.56	38.7208	43.5863	5.0	4.5
118	2011.10.29	22:24:22.18	38.8985	43.5503	10.0	5.1
119	2011.10.29	18:45:49.07	38.6252	43.1742	2.9	4.7
120	2011.10.29	03:52:43.14	38.5970	43.1913	5.0	4.3
121	2011.10.28	19:59:48.72	38.6312	43.1963	5.0	4.2
122	2011.10.28	16:34:10.51	38.9240	43.6002	5.0	4.5
123	2011.10.28	09:47:55.73	38.7630	43.5382	3.1	4.3
124	2011.10.28	08:48:08.16	38.6947	43.6293	6.2	4.6
125	2011.10.28	08:02:38.71	38.7162	43.5662	5.0	4.2
126	2011.10.28	03:23:29.79	38.8660	43.6078	5.0	4.0
127	2011.10.28	00:25:32.54	38.5688	43.1647	2.1	4.3
128	2011.10.27	19:08:12.83	38.7443	43.5215	7.1	4.0
129	2011.10.27	15:41:34.07	38.9083	43.6123	5.0	4.2
130	2011.10.27	05:29:10.94	38.7517	43.4132	6.9	4.0
131	2011.10.26	23:42:27.35	38.6925	43.2967	5.5	4.5
132	2011.10.26	23:15:08.81	38.9250	43.6198	5.0	4.4
133	2011.10.26	21:20:38.43	38.7635	43.4413	5.0	4.2
134	2011.10.26	20:54:53.54	38.7160	43.3543	5.0	4.1
135	2011.10.26	19:16:45.97	38.7707	43.3863	5.2	4.1
136	2011.10.26	16:19:45.41	38.7162	43.2953	5.3	4.2
137	2011.10.26	15:31:15.02	38.6510	43.2055	5.0	4.2
138	2011.10.26	15:14:38.05	38.6968	43.4653	3.9	4.3
139	2011.10.26	12:38:06.95	38.7440	43.5803	5.0	4.1
140	2011.10.26	12:34:11.00	38.7153	43.6868	5.0	4.0

Tablo 3.3 (devam):

141	2011.10.26	12:05:14.49	38.7470	43.5138	5.0	4.3
142	2011.10.26	08:49:17.29	38.6415	43.7432	5.0	4.0
143	2011.10.26	03:27:05.41	38.7187	43.2693	5.0	4.1
144	2011.10.26	03:16:18.45	38.7282	43.2955	5.0	4.7
145	2011.10.26	02:59:56.58	38.8150	43.5270	5.0	4.6
146	2011.10.26	02:59:06.30	38.7318	43.5522	5.0	4.5
147	2011.10.25	23:39:04.10	38.8185	43.5317	5.0	4.1
148	2011.10.25	23:25:18.76	38.7092	43.3180	5.0	4.0
149	2011.10.25	20:08:29.44	38.8717	43.5195	5.0	4.3
150	2011.10.25	19:55:25.28	38.5873	43.6387	5.0	4.0
151	2011.10.25	19:43:57.70	38.7775	43.4313	4.5	4.3
152	2011.10.25	18:14:42.55	38.8533	43.4325	5.0	4.2
153	2011.10.25	17:08:04.22	38.7045	43.2712	4.8	4.0
154	2011.10.25	16:56:17.91	38.6712	43.4462	2.5	4.4
155	2011.10.25	16:50:33.39	38.8167	43.6330	5.0	4.2
156	2011.10.25	15:27:13.43	38.8357	43.5055	5.0	4.5
157	2011.10.25	15:16:45.51	38.8703	43.6198	5.0	4.2
158	2011.10.25	15:05:24.52	38.8398	43.4900	5.0	4.1
159	2011.10.25	14:55:08.72	38.7297	43.5690	5.2	5.6
160	2011.10.25	06:36:16.21	38.8855	43.6295	5.0	4.3
161	2011.10.25	02:33:52.96	38.7552	43.1905	5.0	4.7
162	2011.10.25	00:32:17.07	38.4705	43.2703	3.9	4.1
163	2011.10.24	23:55:14.21	38.7173	43.5697	5.0	4.6
164	2011.10.24	22:13:31.05	38.7710	43.1790	2.1	4.4
165	2011.10.24	20:58:32.78	38.7000	43.0892	8.7	4.0
166	2011.10.24	18:52:16.43	38.7263	43.2247	2.5	4.2
167	2011.10.24	16:51:24.06	38.9025	43.4803	5.0	4.1
168	2011.10.24	16:40:25.40	38.9133	43.5128	5.0	4.2
169	2011.10.24	15:28:06.44	38.7387	43.2865	5.0	5.0
170	2011.10.24	13:07:55.24	38.9230	43.5168	5.0	4.3
171	2011.10.24	12:49:15.82	38.6988	43.3513	5.0	4.0
172	2011.10.24	11:14:13.05	38.7172	43.4025	3.9	4.1
173	2011.10.24	10:30:15.60	38.7217	43.4695	3.9	4.5
174	2011.10.24	08:49:21.04	38.6693	43.5113	7.3	4.9
175	2011.10.24	08:28:28.93	38.5747	43.2832	3.9	4.8
176	2011.10.24	08:12:12.33	38.8460	43.4222	4.0	4.5

Tablo 3.3 (devam):

177	2011.10.24	07:02:23.66	38.6145	43.5837	8.4	4.3
178	2011.10.24	06:46:40.31	38.8105	43.6215	5.0	4.6
179	2011.10.24	05:54:58.51	38.7765	43.2762	4.7	4.6
180	2011.10.24	04:43:01.41	38.6512	43.2258	5.0	4.7
181	2011.10.24	04:16:41.33	38.8565	43.5560	5.0	4.0
182	2011.10.24	03:45:35.84	38.6102	43.1073	5.0	4.1
183	2011.10.24	02:23:14.29	38.7375	43.1607	2.3	4.0
184	2011.10.24	02:00:53.05	38.8958	43.6078	5.0	4.0
185	2011.10.24	01:03:04.56	38.8787	43.6452	2.9	4.0
186	2011.10.24	00:50:47.06	38.7855	43.3692	4.5	4.0
187	2011.10.23	23:34:43.74	38.5868	43.5185	9.8	4.0
188	2011.10.23	22:21:30.25	38.6410	43.0857	5.0	4.8
189	2011.10.23	22:19:42.20	38.9640	43.4352	3.4	4.0
190	2011.10.23	20:56:37.65	38.6732	42.9452	5.0	4.0
191	2011.10.23	20:45:34.85	38.6377	43.0828	5.0	5.9
192	2011.10.23	19:43:24.76	38.7350	43.2300	3.3	4.5
193	2011.10.23	19:25:32.81	38.6587	43.1848	5.0	4.1
194	2011.10.23	19:06:06.38	38.7852	43.2703	5.0	4.9
195	2011.10.23	18:53:48.55	38.7760	43.3507	8.1	4.9
196	2011.10.23	18:27:01.59	38.6650	43.3935	5.0	4.4
197	2011.10.23	18:10:45.40	38.7023	43.2948	2.1	5.1
198	2011.10.23	16:38:47.90	38.7342	43.5090	5.0	4.2
199	2011.10.23	16:13:24.95	38.6312	43.0833	11.7	4.1
200	2011.10.23	16:05:08.56	38.7520	43.5530	5.0	4.6
201	2011.10.23	15:57:59.32	38.7462	43.3162	5.3	4.6
202	2011.10.23	15:24:28.79	38.6485	43.1953	5.0	4.8
203	2011.10.23	13:47:48.33	38.7695	43.5735	5.4	4.0
204	2011.10.23	13:46:10.71	38.7468	43.2487	4.6	4.1
205	2011.10.23	13:17:05.77	38.8508	43.3263	5.0	4.3
206	2011.10.23	13:06:52.57	38.7150	43.1070	5.4	4.0
207	2011.10.23	12:56:49.02	38.7588	43.3375	7.2	4.5
208	2011.10.23	12:42:09.69	38.7287	43.1920	5.0	4.3
209	2011.10.23	12:21:39.06	38.8885	43.5557	2.7	4.0
210	2011.10.23	12:03:11.59	38.7762	43.1970	5.4	4.2
211	2011.10.23	11:45:11.67	38.8010	43.0693	28.0	4.2
212	2011.10.23	11:44:25.30	38.7390	43.2980	12.6	4.3
213	2011.10.23	11:32:40.98	38.8022	43.2540	5.0	5.7

Tablo 3.3 (devam):

214	2011.10.23	11:27:15.84	38.8370	43.3102	5.0	4.2
215	2011.10.23	11:10:44.58	38.4370	43.4148	10.5	4.5
216	2011.10.23	11:00:28.04	38.6958	43.0475	4.4	5.2
217	2011.10.23	10:56:49.00	38.8137	43.4462	5.0	5.6
218	2011.10.23	10:52:03.87	38.8157	43.3382	5.2	4.9
219	2011.10.23	10:48:17.42	38.7513	43.5952	9.0	5.1
220	2011.10.23	10:41:21.01	38.7212	43.4110	5.0	7.2
221	2008.07.26	22:16:49.08	38.5385	43.1190	9.8	4.5
222	2004.09.26	21:03:13.90	38.5900	43.1600	9	4.1
223	2004.01.24	04:40:58.30	38.7200	43.2700	4	4.3
224	2003.10.20	06:27:00.30	38.9100	43.6600	9	4.9
225	2003.04.25	00:43:58.60	38.6900	43.0000	5	4.1
226	2001.12.04	09:40:26.10	38.6600	43.5900	9	4.2
227	2001.12.02	04:11:46.10	38.5500	43.4000	20	4.5
228	2001.02.10	20:42:22.80	38.8900	43.3000	10	4.0
229	2000.11.17	00:27:56.20	38.3800	42.7900	5	4.1
230	2000.11.15	19:30:40.10	38.8300	42.7900	12	4.0
231	2000.11.15	16:06:10.00	38.5300	42.9100	0	4.3
232	2000.11.15	15:05:32.80	38.2800	42.9400	8	5.2
233	2000.02.26	08:17:56.10	38.2600	43.0100	12	4.9
234	1999.05.03	11:57:02.60	39.0200	43.4200	0	4.1
235	1997.11.05	03:15:14.70	38.3800	42.9500	0	4.0
236	1997.11.02	00:25:58.50	38.7700	43.4400	0	4.4
237	1997.10.30	04:05:33.60	38.8100	43.2600	0	4.4
238	1997.10.12	05:06:07.70	38.4700	43.3900	12	4.2
239	1997.10.10	21:21:00.20	38.6200	43.4500	06	4.0
240	1988.06.25	16:15:38.30	38.5000	43.0700	49	5.3
241	1986.08.10	17:47:57.00	38.4800	43.4300	53	4.7
242	1978.02.07	02:05:25.00	39.0000	43.6000	55	4.3

Büyük veya kısa aralıklar ile gerçekleşen depremler, katalog verisinin potansiyelinden daha fazla etki yaratabilmektedir. Bu soruna neden olan uzaysal deformasyondan kaçınmak için katalog verisi yeniden kümelendirilmiştir. Bu katalog verisi Zmap programı ile Uhrhammer yeniden kümelendirme işlemine (Wiemer, 2001) tabi tutulmuş ve işlemlere bu veriler ile devam edilmiştir (Tablo 3.4). Yeniden kümelendirilmiş bu veride, deprem oluş tarihleri arasındaki gün farkı kullanılarak değişim noktası tespiti yapılacaktır.

Tablo 3.4: Van’da 38.66-43.25 enlem-boylamının dairesel 50 km yarıçap ile çevresini kapsayan Tablo 3.3’teki veri setinin yeniden kümelendirilmiş hali.

No	Oluş Tarihi	Oluş Zamanı	Enlem	Boylam	Der (km)	M
1	7.2.1978	02:05	43.6	39	55	4.3
2	10.8.1986	17:47	43.43	38.48	53	4.7
3	25.6.1988	16:15	43.07	38.5	49	5.3
4	10.10.1997	21:21	43.45	38.62	6	4
5	12.10.1997	05:06	43.39	38.47	12	4.2
6	30.10.1997	04:05	43.26	38.81	0	4.4
7	2.11.1997	00:25	43.44	38.77	0	4.4
8	5.11.1997	03:15	42.95	38.38	0	4
9	3.5.1999	11:57	43.42	39.02	0	4.1
10	26.2.2000	08:17	43.01	38.26	12	4.9
11	15.11.2000	15:05	42.94	38.28	8	5.2
12	15.11.2000	16:06	42.91	38.53	0	4.3
13	15.11.2000	19:30	42.79	38.83	12	4
14	10.2.2001	20:42	43.3	38.89	10	4
15	2.12.2001	04:11	43.4	38.55	20	4.5
16	4.12.2001	09:40	43.59	38.66	9	4.2
17	25.4.2003	00:43	43	38.69	5	4.1
18	20.10.2003	06:27	43.66	38.91	9	4.9
19	24.1.2004	04:40	43.27	38.72	4	4.3
20	26.9.2004	21:03	43.16	38.59	9	4.1
21	26.7.2008	22:16	43.119	38.5385	9.8	4.5
22	23.10.2011	10:41	43.411	38.7212	5	7.2
23	31.1.2013	01:45	43.6467	38.826	5	4
24	12.2.2013	17:00	43.2133	38.5978	8	4.6
25	7.3.2013	03:21	43.491	38.7533	6	4.2
26	10.3.2013	10:04	43.3662	38.6858	4	4
27	12.6.2013	19:02	43.6805	38.6032	1.1	4.6
28	21.9.2013	02:15	43.3853	38.6965	5.4	4.9
29	26.9.2013	02:55	43.5795	38.8353	5	4
30	30.10.2013	22:40	43.2408	38.7113	1	4.3
31	22.11.2013	03:29	43.2205	38.6775	5	4.6
32	16.12.2013	11:58	43.6143	38.9383	5	4
33	24.12.2013	02:17	43.545	38.8678	5	4.1
34	5.3.2014	12:03	43.1997	38.6927	5	4.2
35	18.3.2014	09:28	43.5302	38.88	1.1	4.1
36	27.5.2014	00:16	43.5625	38.8508	5	4.3
37	11.6.2014	16:42	43.1477	38.5975	3	4.3
38	28.4.2015	14:01	43.5832	38.9015	2.1	4

Tablo 3.4 (devam):

39	23.6.2015	22:35	43.1672	38.6678	5	4.5
40	7.1.2016	02:01	43.5425	38.9027	5	4.4
41	19.4.2016	23:50	43.5293	38.8833	4.2	4.1
42	2.7.2016	04:35	43.5468	38.8907	5	4.1
43	25.8.2016	04:35	43.0655	38.7218	5	4.2
44	18.10.2016	19:22	43.7107	38.6533	5	4.2
45	2.11.2016	14:52	43.5548	38.6785	2.3	4
46	31.12.2016	12:21	43.0065	38.6127	5	4.1
47	8.4.2017	21:30	43.4627	38.7155	1.6	4.3
48	9.4.2017	10:44	43.1498	38.6372	5	4.1
49	1.5.2017	16:30	42.8993	38.2942	5.1	4.4
50	8.7.2017	17:48	43.1992	38.66	5	4

3.4.3. Erzurum

Erzurum’da enlem-boylam değerleri 39.25-41.50 olan noktanın dairesel olarak 50 km çevresini içeren deprem verileri kullanılmıştır (KOERI, 2018). Bu veri seti, ilgili bölgede 1978 ile 2018 yılları arasında, magnitüd değerleri 4 ile 9 aralığında olan depremleri kapsamaktadır (Tablo 3.5).

Tablo 3.5: Erzurum’da 39.25-41.50 enlem-boylamının dairesel 50 km yarıçap ile çevresini kapsayan katalog verileri. Başlangıç-bitiş yılları 1978-2018 ve magnitüd filtre değerleri 4-9 aralığındadır.

No	Oluş Tarihi	Oluş Zamanı	Enlem	Boylam	Der (km)	M
1	2016.05.25	11:40:57.42	39.3482	40.9295	5.0	4.0
2	2013.09.17	20:40:49.41	39.0462	41.4552	12.9	5.1
3	2013.09.16	10:31:39.75	39.0167	41.4477	4.9	4.5
4	2013.05.15	07:09:57.98	39.0192	41.1815	6.0	4.4
5	2012.04.04	14:18:36.96	39.3045	41.0388	5.0	4.2
6	2011.11.17	02:37:18.59	39.1340	41.5555	4.8	4.8
7	2010.05.22	02:30:32.69	39.3107	41.1265	5.0	4.1
8	2009.03.11	17:26:03.65	39.0287	41.8823	5.0	4.4
9	2008.07.12	05:54:03.40	39.2832	41.7172	5.0	4.0
10	2008.06.21	03:58:35.64	38.9095	41.3187	9.6	4.3
11	2007.10.28	22:00:45.63	39.0758	41.0910	4.7	4.2
12	2007.08.25	22:05:47.17	39.2588	41.0418	5.0	5.4
13	2001.11.28	10:35:41.10	39.5200	41.6400	10	4.0

Tablo 3.5 (devam):

14	2000.02.01	19:46:19.70	39.3000	41.0100	0	4.5
15	1999.07.20	04:22:43.30	39.6000	41.1800	11	4.2
16	1998.04.13	15:14:30.50	39.2300	41.0700	9	5.0
17	1997.09.26	11:13:06.30	39.3300	41.4400	0	4.0
18	1997.06.01	10:33:44.90	39.3500	41.6800	0	4.0
19	1997.03.04	14:22:56.30	39.3300	40.9800	12	4.3
20	1996.09.18	05:16:42.50	39.4500	41.4200	15	4.4
21	1995.07.03	00:34:19.30	39.1000	40.9800	13	4.2
22	1992.07.14	18:46:23.70	39.2300	41.7800	10	4.5
23	1992.07.14	04:26:30.20	39.2900	41.7400	47	4.5
24	1991.09.05	19:23:10.70	39.0300	41.5800	49	4.2
25	1986.01.01	06:09:06.30	39.1400	41.8300	36	4.8
26	1982.10.13	03:51:31.10	39.1900	41.9200	40	4.7
27	1982.05.15	05:09:03.10	39.5000	41.8000	00	4.4
28	1982.03.28	01:34:03.50	39.1400	41.8800	00	4.3
29	1982.03.27	19:57:24.00	39.2300	41.9000	38	5.4
30	1982.03.23	15:10:36.80	39.5000	41.7900	10	4.6
31	1982.03.23	09:56:12.80	39.2200	41.8200	10	4.5
32	1982.03.19	23:14:35.30	39.2700	41.8800	33	4.3
33	1979.04.11	22:34:27.50	39.3300	41.5100	89	4.5
34	1978.01.17	00:09:03.40	39.4000	41.4000	139	4.6

Büyük veya kısa aralıklar ile gerçekleşen depremler, katalog verisinin potansiyelinden daha fazla etki yaratabilmektedir. Bu soruna neden olan uzaysal deformasyondan kaçınmak için katalog verisi yeniden kümelendirilmiştir. Bu katalog verisi Zmap vasıtası ile Uhrhammer yeniden kümelendirme işlemine (Wiemer, 2001) tabi tutulmuş ve işlemlere bu veriler ile devam edilmiştir (Tablo 3.6). Yeniden kümelendirilmiş bu veride, deprem oluş tarihleri arasındaki gün farkı kullanılarak değişim noktası tespiti yapılacaktır.

Tablo 3.6: Erzurum'da 39.25-41.50 enlem-boylamının dairesel 50 km yarıçap ile çevresini kapsayan Tablo 3.5'teki veri setinin yeniden kümelendirilmiş hali.

No	Oluş Tarihi	Oluş Zamanı	Enlem	Boylam	Der (km)	M
1	17.1.1978	00:09	39.4	41.4	139	4.6
2	11.4.1979	22:34	39.33	41.51	89	4.5
3	23.3.1982	15:10	39.5	41.79	10	4.6
4	27.3.1982	19:57	39.23	41.9	38	5.4
5	15.5.1982	05:09	39.5	41.8	0	4.4

Tablo 3.6 (devam):

6	13.10.1982	03:51	39.19	41.92	40	4.7
7	1.1.1986	06:09	39.14	41.83	36	4.8
8	5.9.1991	19:23	39.03	41.58	49	4.2
9	14.7.1992	04:26	39.29	41.74	47	4.5
10	3.7.1995	00:34	39.1	40.98	13	4.2
11	18.9.1996	05:16	39.45	41.42	15	4.4
12	4.3.1997	14:22	39.33	40.98	12	4.3
13	1.6.1997	10:33	39.35	41.68	0	4
14	26.9.1997	11:13	39.33	41.44	0	4
15	13.4.1998	15:14	39.23	41.07	9	5
16	20.7.1999	04:22	39.6	41.18	11	4.2
17	1.2.2000	19:46	39.3	41.01	0	4.5
18	28.11.2001	10:35	39.52	41.64	10	4
19	25.8.2007	22:05	39.2588	41.0418	5	5.4
20	28.10.2007	22:00	39.0758	41.091	4.7	4.2
21	21.6.2008	03:58	38.9095	41.3187	9.6	4.3
22	12.7.2008	05:54	39.2832	41.7172	5	4
23	11.3.2009	17:26	39.0287	41.8823	5	4.4
24	22.5.2010	02:30	39.3107	41.1265	5	4.1
25	17.11.2011	02:37	39.134	41.5555	4.8	4.8
26	4.4.2012	14:18	39.3045	41.0388	5	4.2
27	15.5.2013	07:09	39.0192	41.1815	6	4.4
28	17.9.2013	20:40	39.0462	41.4552	12.9	5.1
29	25.5.2016	11:40	39.3482	40.9295	5	4

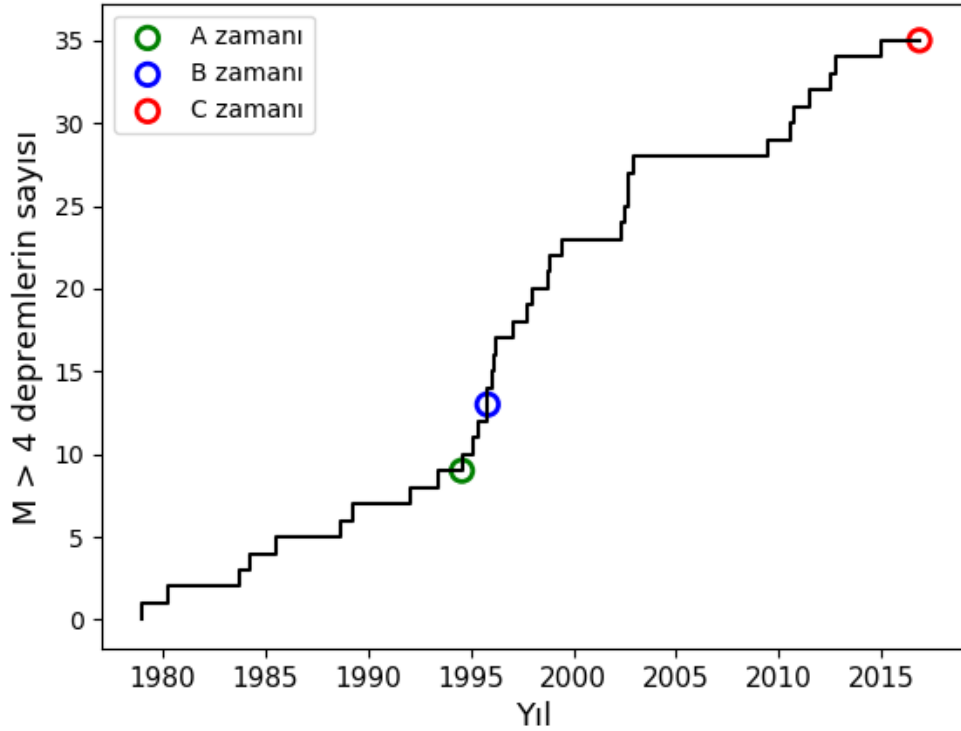
4. BULGULAR

4.1. DEĞİŞİM NOKTASI

Bu bölümde; geliştirilen yazılım ile değişim noktası analizleri yapılmıştır. Bayesçi yaklaşımların temel alındığı bu analizlerde; yeniden kümelenmiş deprem katalog verileri kullanılmıştır. Deprem katalog verilerinin magnitüd değerleri tekil olarak kullanılmamıştır. Deprem oluş tarihlerinin gün farkları hesaplanarak sıklık belirlemeleri yapılmıştır. Sıklık hesaplamalarında kataloğun alt ve üst magnitüd limitlerini belirlemek için; kataloğun minimum ve maksimum magnitüd değerleri kullanılmıştır.

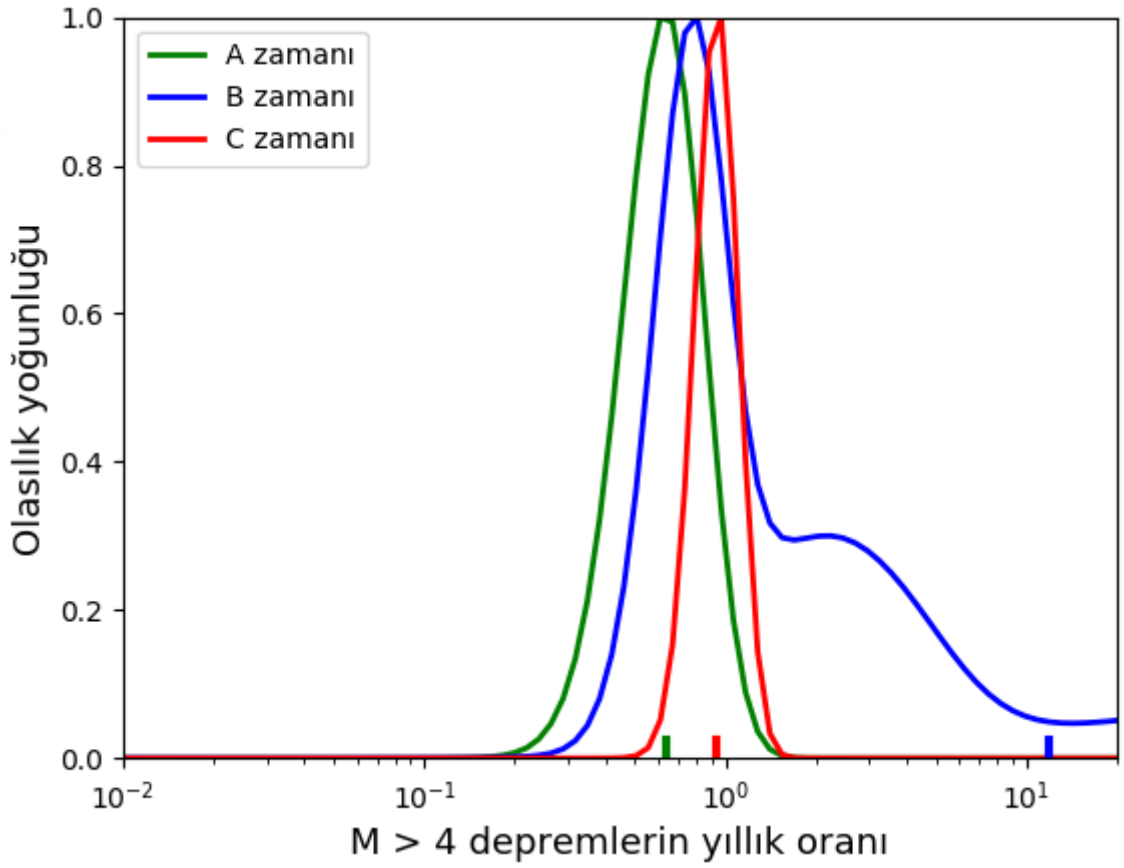
4.1.1. Erzincan

Yeniden kümelenmiş katalog verilerinin (Tablo 3.2) yıllara göre kümülatif deprem sayısı hesaplanmıştır (Şekil 4.1). Bu bilgi, ani artış gözlenen bölgeleri tespit etmek ve yıl odaklı diğer bilgiler ile ilişkilendirmek için kullanılabilir. Böylece depremlerin deprem sıklıklarının kontrolü sağlanmaktadır.



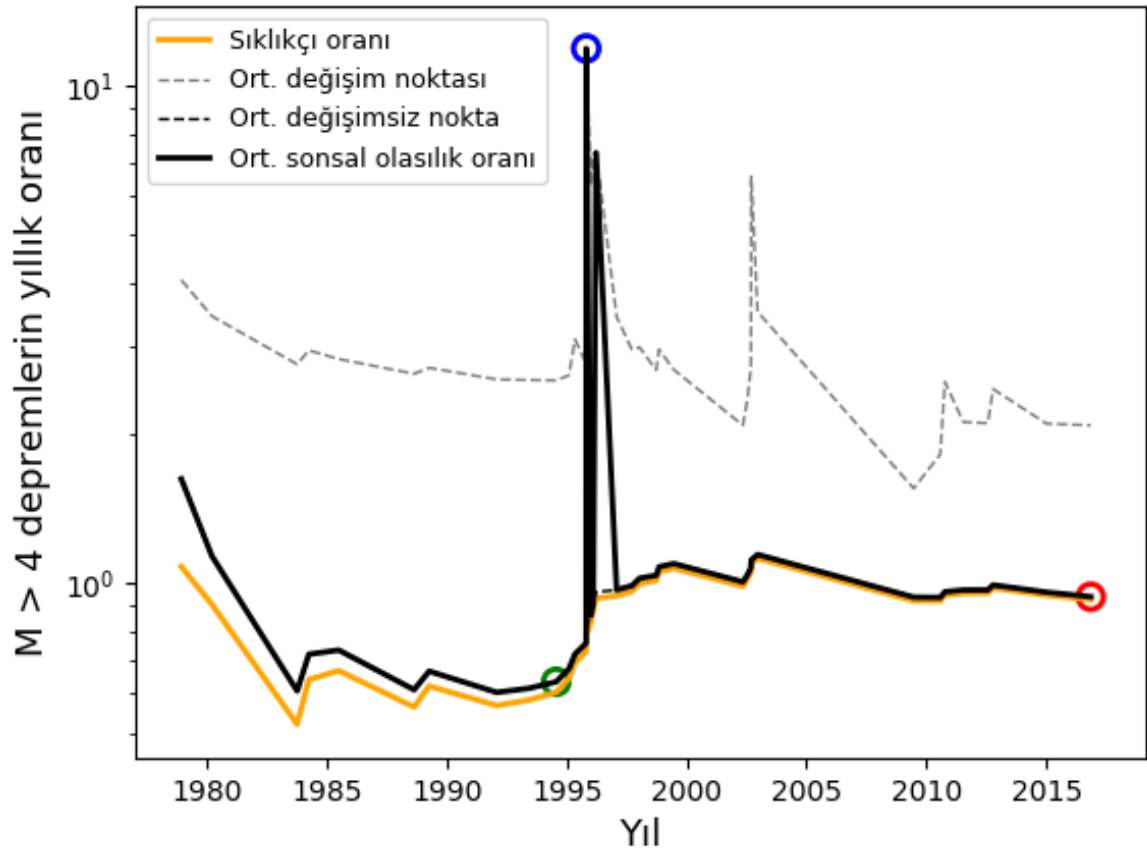
Şekil 4.1: 50 km'lik bir yarıçap ile Erzincan ilinin çevresinde gözlemlenen depremlerin kümülatif sayısı.

Şekil 4.1’de işaretlenen işaretlenen A, B ve C zamanlarındaki yıllık deprem oranları için olasılık yoğunlukları hesaplanmıştır (Şekil 4.2). Bu sayede işaretlenen zamanlardaki deprem oranlarının olasılık yoğunluklarının aralıkları gözlenebilmektedir. Kümülatif deprem sayılarının yükseliş gösterdiği zamanlar detaylı incelenmek üzere işaretlenmiştir. Bu bölgelerde deprem sayılarındaki artışın etkilerini incelemek için; yükseliş öncesi ve sonrasını temsil etmeleri nedeni ile A ve B zamanları işaretlenmiştir. Ayrıca son dönemin de bu dönemler ile kıyaslanması için C zamanı işaretlenmiştir.



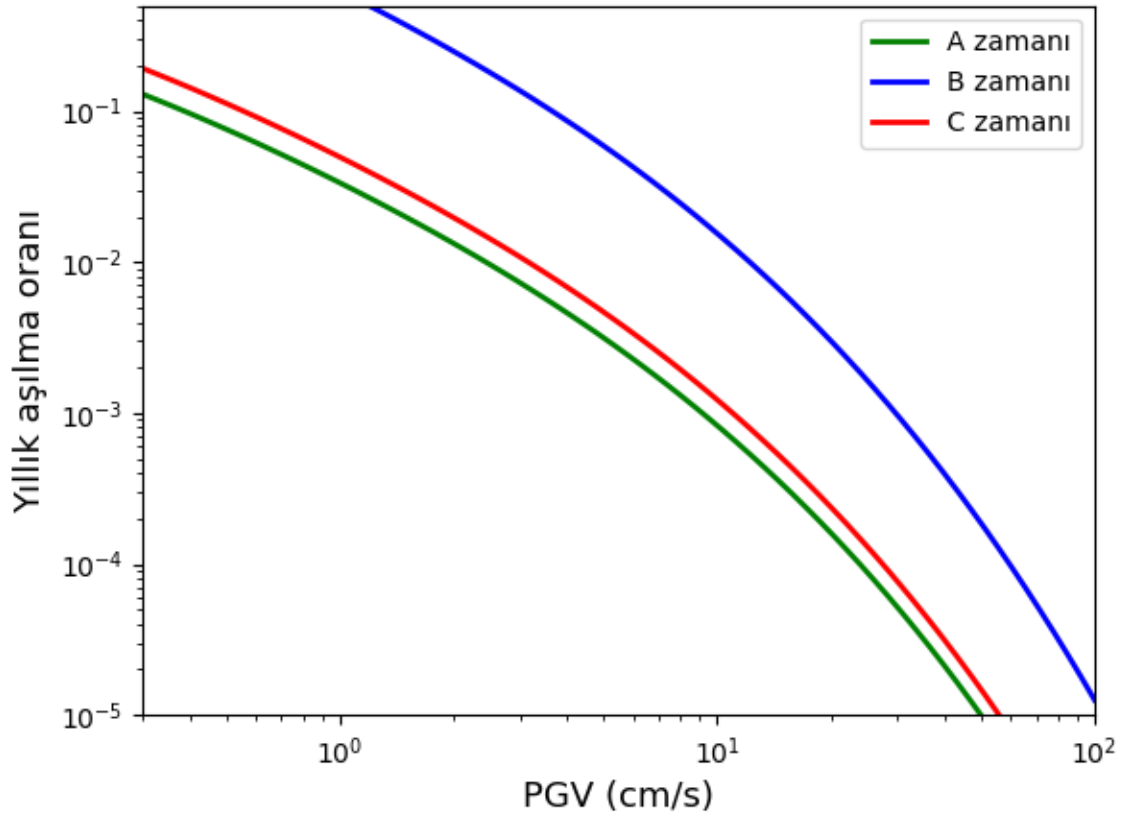
Şekil 4.2: Seçilmiş üç bölgede Şekil 4.1’de işaretlenen A, B ve C zamanları için sonsal olasılık deprem oranı dağılımları.

Yıllara göre depremlerin yıllık oranları; sıklıkçı oran, değişim noktası, değişimsiz nokta ve sonsal olasılık oranı olarak hesaplanmıştır (Şekil 4.3). Bu hesaplamalar farklı oranları gösterdiğinden; değişim noktalarının ayrıştırılmasında fayda sağlamaktadır.



Şekil 4.3: Zamana karşı ortalama sonsal olasılık deprem oranı ve sıklıkçılık oranı. Ortalama değişim ve değişimsiz noktaları ortalama sonsal olasılık oranlarıdır ve sırası ile değişim ve değişimsiz noktaları temsil etmektedirler.

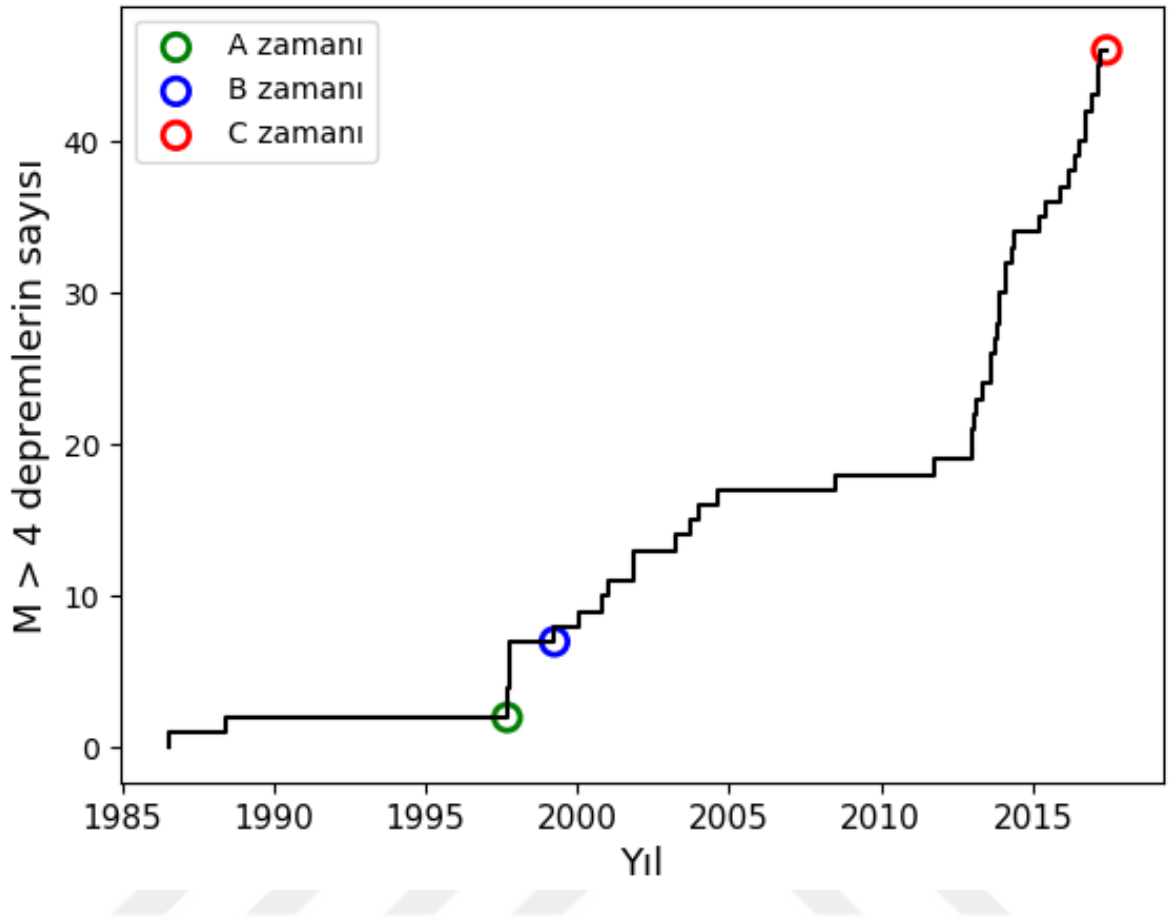
Belirlenen A, B ve C zamanlarındaki sonsal olasılık deprem oranları için tehlike eğrileri hesaplanmıştır (Şekil 4.4). Aşılma oranlarına karşılık gelen maksimum yer hızı (PGV) değerleri; bölgenin aşılma oranları karşısında değişimi hakkında yapılacak çıkarımlar için bir kaynak niteliği taşımaktadır.



Şekil 4.4: Zamanda belirlenen üç noktadaki sonsal olasılık deprem oranları için ortalama tehlike eğrileri.

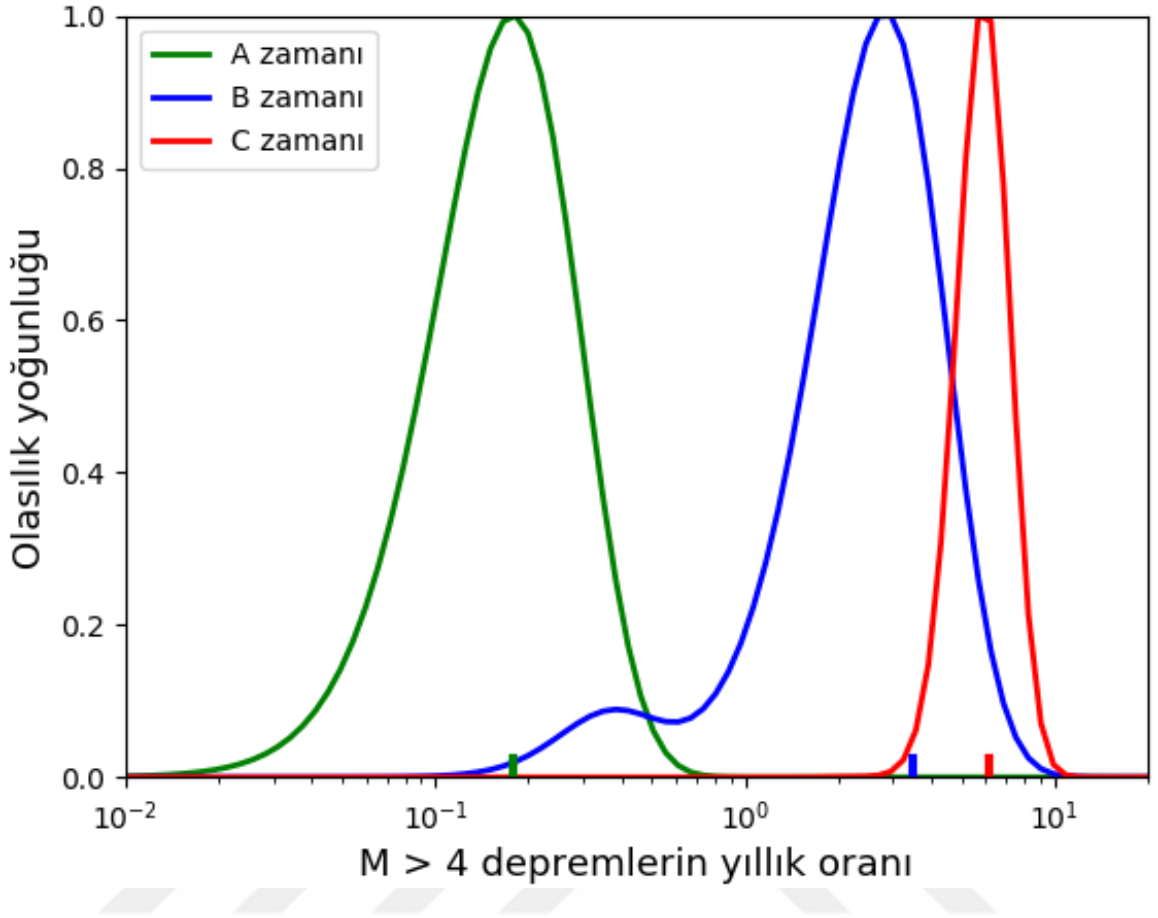
4.1.2. Van

Yeniden kümelenmiş katalog verilerinden (Tablo 3.4) yıllara göre kümülatif deprem sayısı hesaplanmıştır (Şekil 4.5). Bu bilgi, ani artış gözlenen bölgeleri tespit etmek ve yıl odaklı diğer bilgiler ile ilişkilendirmek için kullanılabilir. Böylece depremlerin deprem sıklıklarının kontrolü sağlanmaktadır.



Şekil 4.5: 50 km'lik bir yarıçap ile Van ilinin çevresinde gözlemlenen depremlerin kümülatif sayısı.

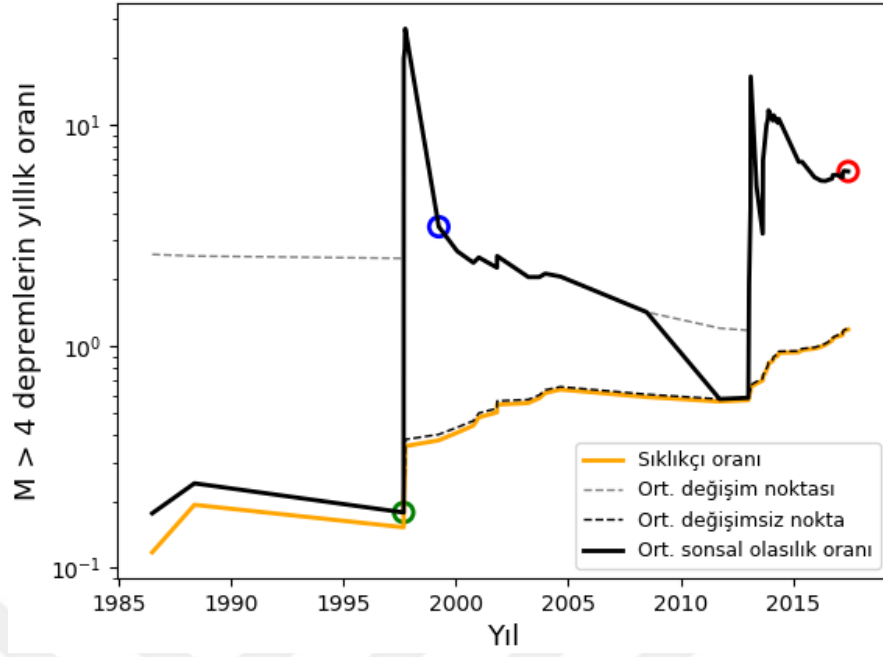
Şekil 4.5'te işaretlenen işaretlenen A, B ve C zamanlarındaki yıllık deprem oranları için olasılık yoğunlukları hesaplanmıştır (Şekil 4.6). Bu sayede işaretlenen zamanlardaki deprem oranlarının olasılık yoğunluklarının aralıkları gözlenebilmektedir. Kümülatif deprem sayılarının yükseliş gösterdiği zamanlar detaylı incelenmek üzere işaretlenmiştir. Bu bölgelerde deprem sayılarındaki artışın etkilerini incelemek için; yükseliş öncesi ve sonrasını temsil etmeleri nedeni ile A ve B zamanları işaretlenmiştir. Ayrıca son dönemin de bu dönemler ile kıyaslanması için C zamanı işaretlenmiştir.



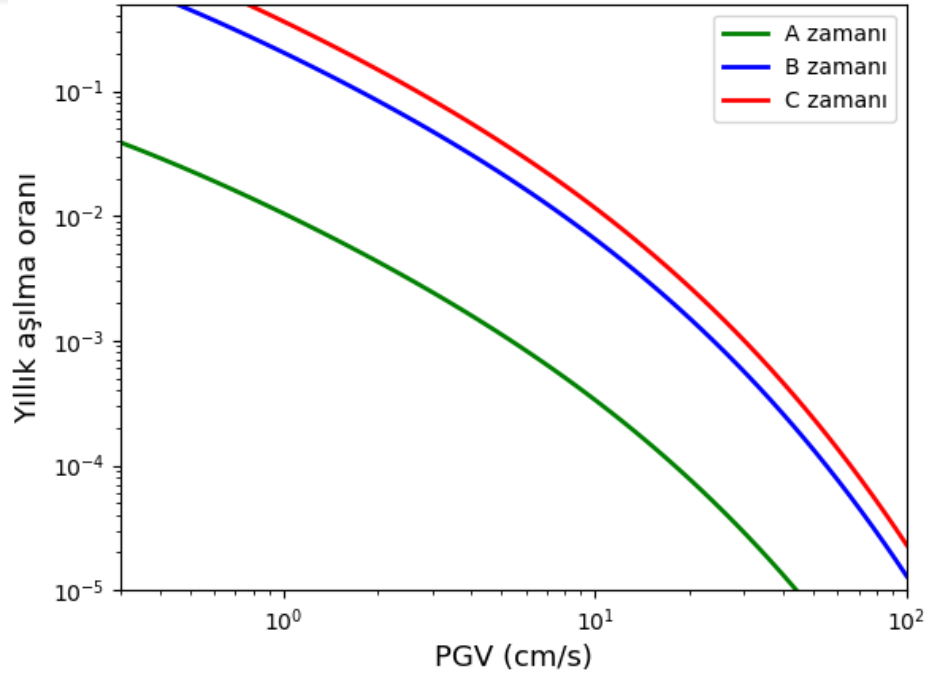
Şekil 4.6: Seçilmiş üç bölgede Şekil 4.5'te işaretlenen A, B ve C zamanları için sonsal olasılık deprem oranı dağılımları.

Yıllara göre depremlerin yıllık oranları; sıklıkçı oran, değişim noktası, değişimsiz nokta ve sonsal olasılık oranı olarak hesaplanmıştır (Şekil 4.7). Bu hesaplamalar farklı oranları gösterdiğinden; değişim noktalarının ayrıştırılmasında fayda sağlamaktadır.

Belirlenen A, B ve C zamanlarındaki sonsal olasılık deprem oranları için tehlike eğrileri hesaplanmıştır (Şekil 4.8). Aşılma oranlarına karşılık gelen PGV değerleri; bölgenin aşılma oranları karşısında değişimi hakkında yapılacak çıkarımlar için bir kaynak niteliği taşımaktadır.



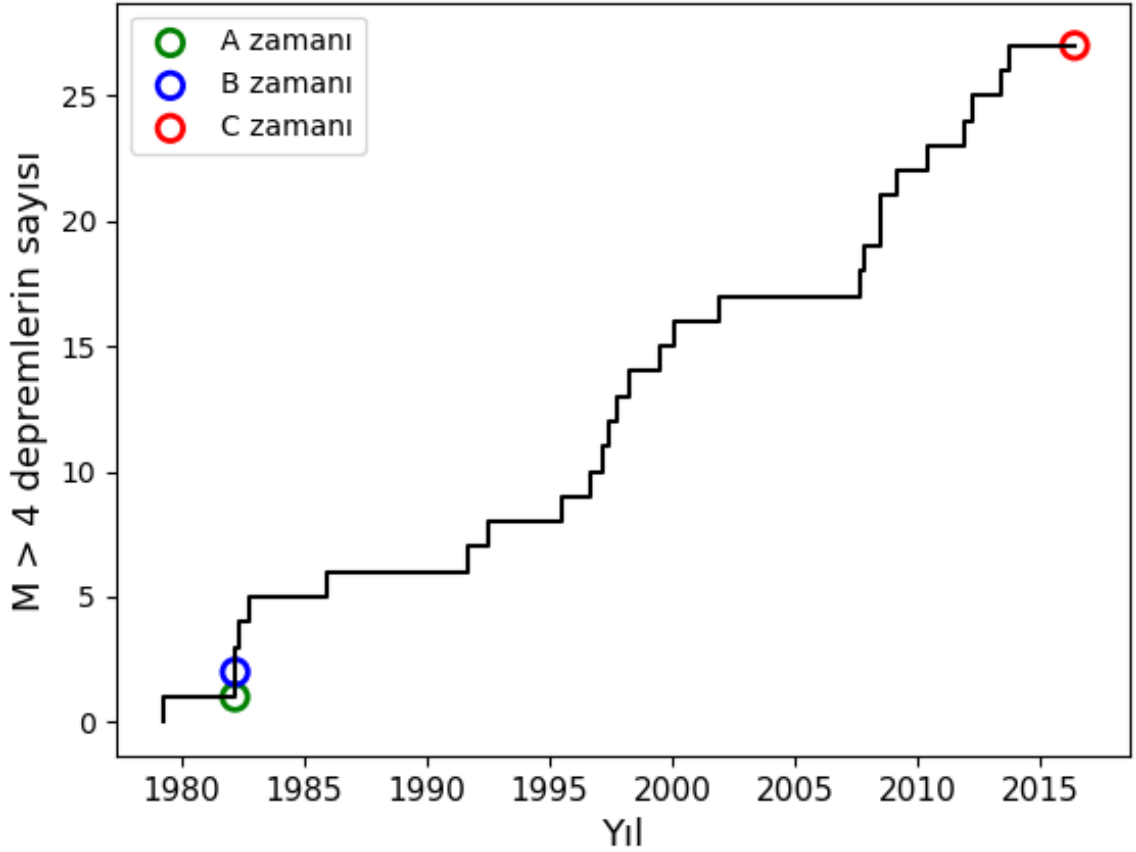
Şekil 4.7: Zamana karşı ortalama sonsal olasılık deprem oranı ve sıklıkçılık oranı. Ortalama değişim ve değişimsiz noktaları ortalama sonsal olasılık oranlarıdır ve sırası ile değişim ve değişimsiz noktaları temsil etmektedirler.



Şekil 4.8: Zamanda belirlenen üç noktadaki sonsal olasılık deprem oranları için ortalama tehlike eğrileri.

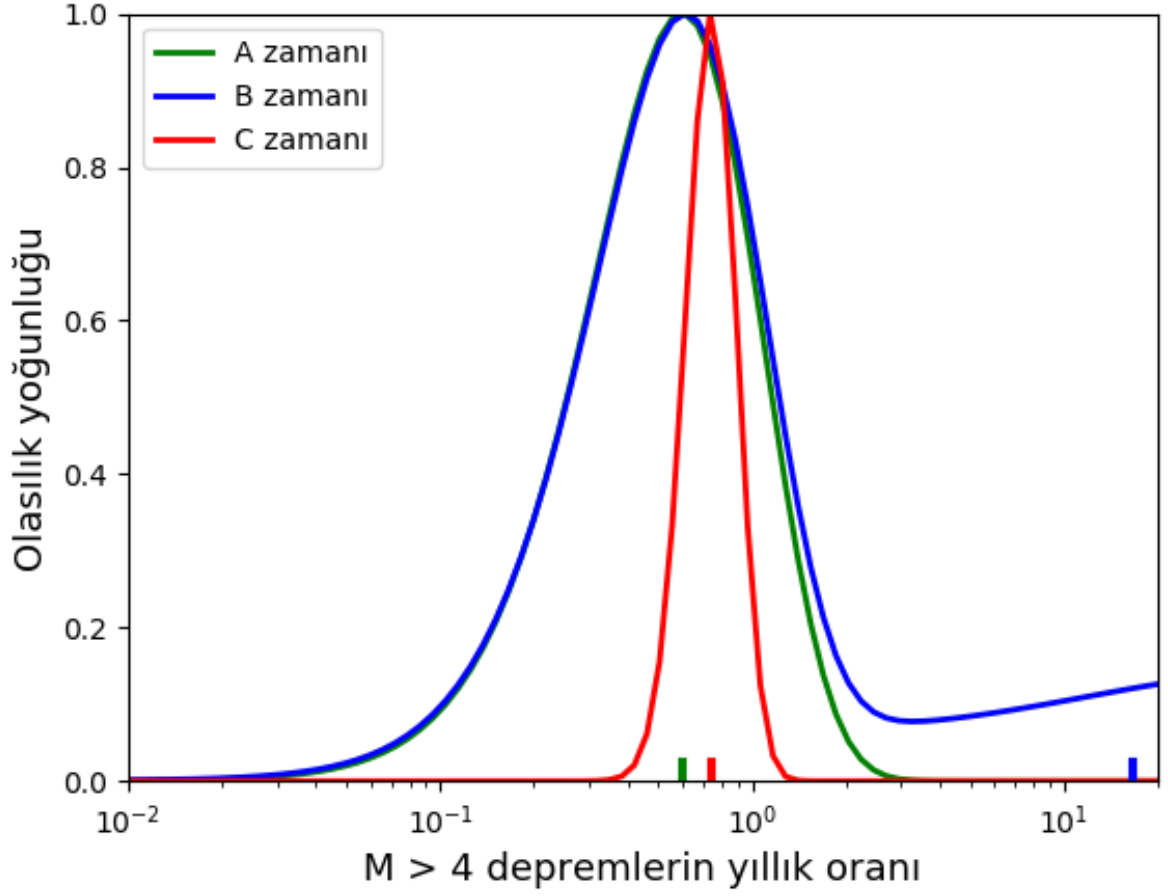
4.1.3. Erzurum

Yeniden kümelenmiş katalog verilerinin (Tablo 3.6) yıllara göre kümülatif deprem sayısı hesaplanmıştır (Şekil 4.9). Bu bilgi, ani artış gözlenen bölgeleri tespit etmek ve yıl odaklı diğer bilgiler ile ilişkilendirmek için kullanılabilir. Böylece depremlerin deprem sıklıklarının kontrolü sağlanmaktadır. Kümülatif deprem sayılarının yükseliş gösterdiği zamanlar detaylı incelenmek üzere işaretlenmiştir. Bu bölgelerde deprem sayılarındaki artışın etkilerini incelemek için; yükseliş öncesi ve yükselişi temsil etmeleri nedeni ile A ve B zamanları işaretlenmiştir. Ayrıca son dönemin de bu dönemler ile kıyaslanması için C zamanı işaretlenmiştir.



Şekil 4.9: 50 km'lik bir yarıçap ile Erzurum ilinin çevresinde gözlemlenen depremlerin kümülatif sayısı.

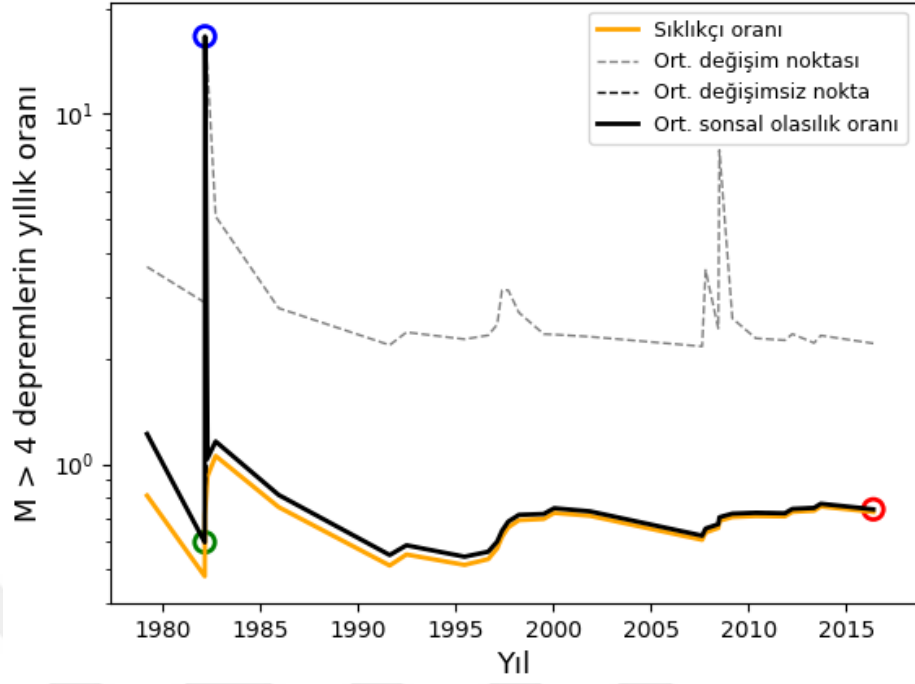
Şekil 4.9'da işaretlenen işaretlenen A, B ve C zamanlarındaki yıllık deprem oranları için olasılık yoğunlukları hesaplanmıştır (Şekil 4.10). Bu sayede işaretlenen zamanlardaki deprem oranlarının olasılık yoğunluklarının aralıkları gözlenebilmektedir.



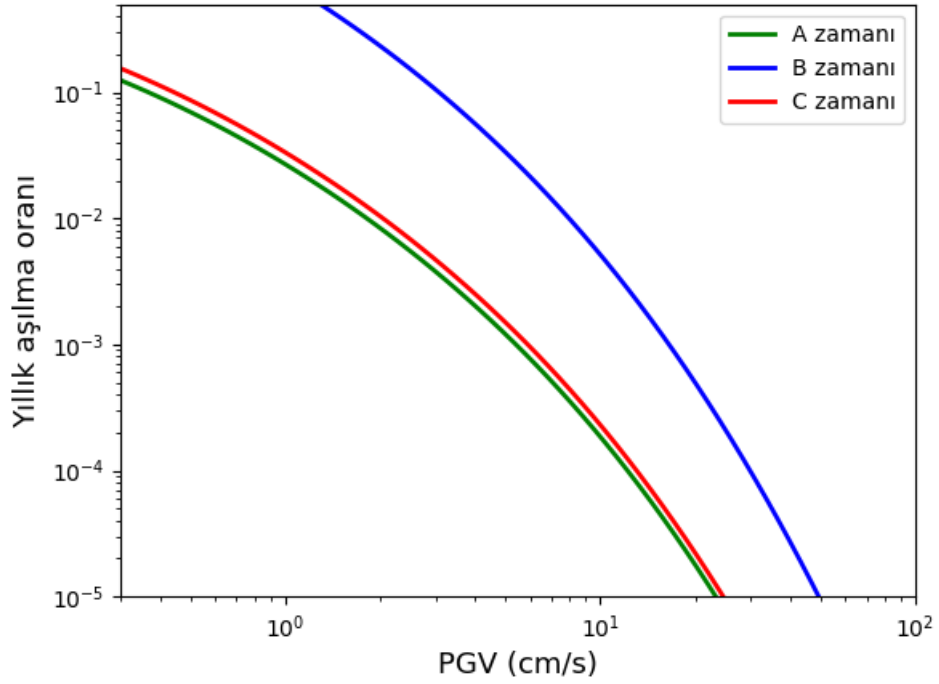
Şekil 4.10: Seçilmiş üç bölgede Şekil 4.9’da işaretlenen A, B ve C zamanları için sonsal olasılık deprem oranı dağılımları.

Yıllara göre depremlerin yıllık oranları; sıklıkçı oran, değişim noktası, değişimsiz nokta ve sonsal olasılık oranı olarak hesaplanmıştır (Şekil 4.11). Bu hesaplamalar farklı oranları gösterdiğinden; değişim noktalarının ayrıştırılmasında fayda sağlamaktadır.

Belirlenen A, B ve C zamanlarındaki sonsal olasılık deprem oranları için tehlike eğrileri hesaplanmıştır (Şekil 4.12). Aşılma oranlarına karşılık gelen PGV değerleri; bölgenin aşılma oranları karşısında değişimi hakkında yapılacak çıkarımlar için bir kaynak niteliği taşımaktadır.



Şekil 4.11: Zamana karşı ortalama sonsal olasılık deprem oranı ve sıklıkçılık oranı. Ortalama değişim ve değişimsiz noktaları ortalama sonsal olasılık oranlarıdır ve sırası ile değişim ve değişimsiz noktaları temsil etmektedirler.



Şekil 4.12: Zamanda belirlenen üç noktadaki sonsal olasılık deprem oranları için ortalama tehlike eğrileri.

4.1.4. Sonuçların İstemcide Gösterimi

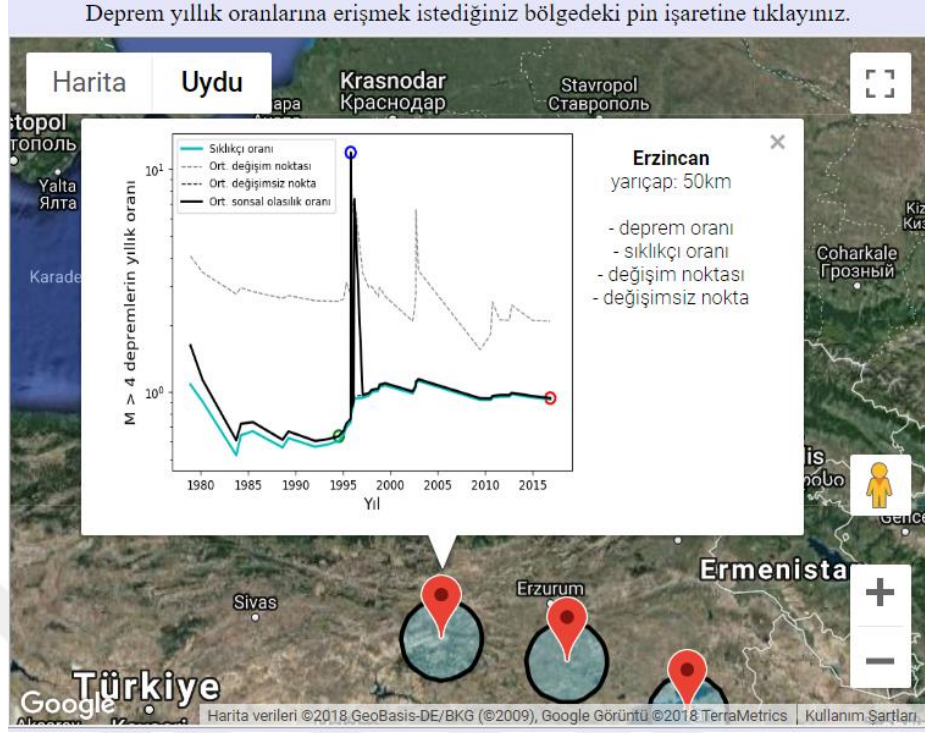
API kullanılarak elde edilecek sonuçlar pek çok farklı platform üzerinde, pek çok farklı arayüz tasarımı ile görselleştirilebilmektedir. Bu sayede hali hazırda işleyen programlara entegre olmak daha kolay bir hal almaktadır. Yeni geliştirilen programlarda ise, geliştiricinin aşına olduğu platformlarda çalışarak elde ettiği veriyi istediği gibi görselleştirebilmesi mümkündür.

Bu altyapı ile aynı anda bir bölgeye ait farklı jeofiziksel veriler gösterilebilir. Bu yaklaşımı örneklendirmek için harita bileşeni içeren bir web uygulaması geliştirilmiştir. Geliştirilen bu uygulamada analizi gerçekleştirilen bölgeler işaretlenmiş ve kapsadıkları çevre daire içerisine alınarak gösterilmiştir. Bu gösterimler programatik biçimde yapılmıştır.

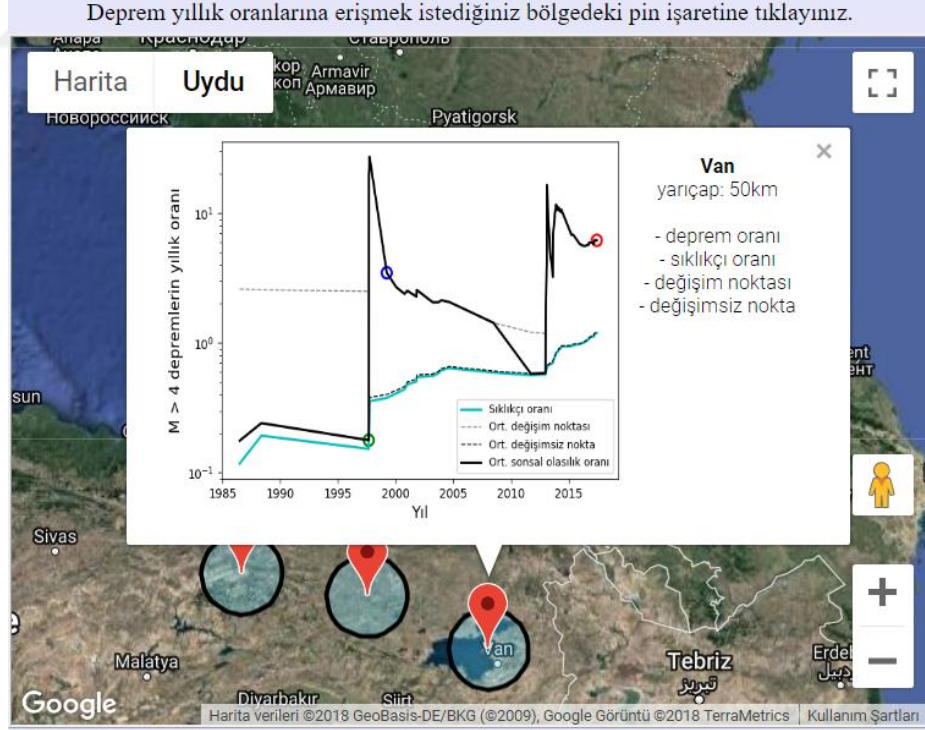
Analizi gerçekleştirilen Erzincan, Van ve Erzurum çevreleri; harita üzerinde işaretlenmiş şekilde gösterilmiştir (Şekil 4.13). Erzincan, Van ve Erzurum için yapılan analizlerin sonuçları da kullanıcının seçimli olarak görebileceği şekilde aynı harita üzerinde konumlandırılmıştır (Şekil 4.14, 4.15 ve 4.16).



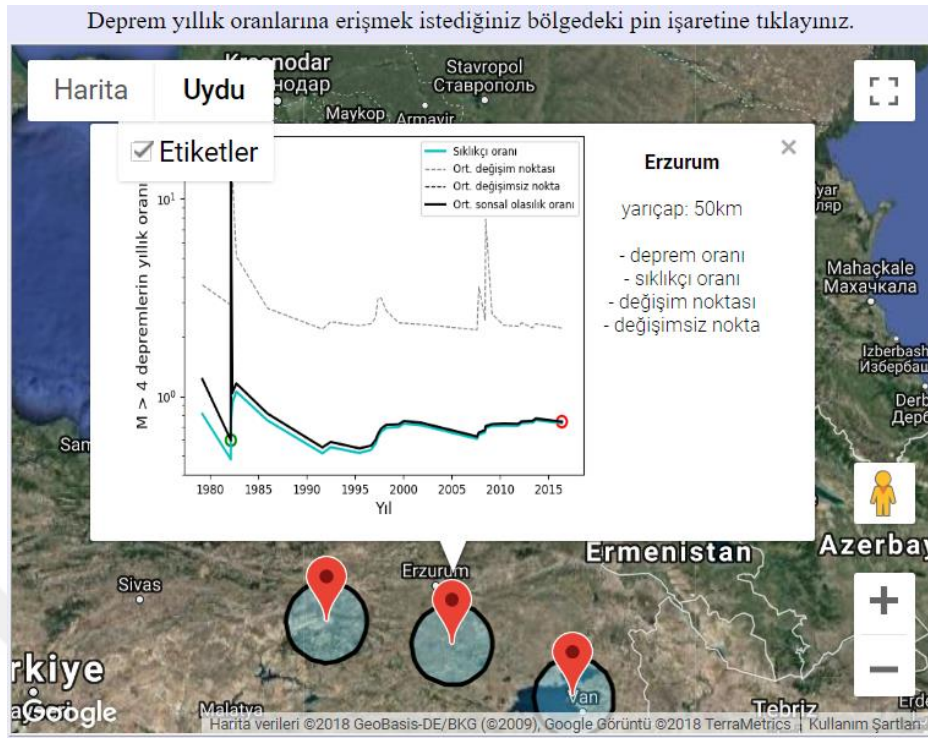
Şekil 4.13: Analizleri yapılan bölgelerin harita üzerinde gösterimi için geliştirilen web tabanlı istemci.



Şekil 4.14: Erzincan için yapılan analizin sonucunun geliştirilen web tabanlı istemci ile harita üzerinde gösterimi.



Şekil 4.15: Van için yapılan analizin sonucunun geliştirilen web tabanlı istemci ile harita üzerinde gösterimi.



Şekil 4.16: Erzurum için yapılan analizin sonucunun geliştirilen web tabanlı istemci ile harita üzerinde gösterimi.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

5.1. TARTIŞMA

5.1.1. Jeofiziksel Yazılım Geliştirme

Jeofiziksel yazılım geliştirme süreçlerinde araştırmacıların yoğun olarak tercih ettiği Matlab vb. teknolojilerin orta ve uzun vadede, geliştirilen uygulamaları kullanılamaz hale getirebildiği gözlenmektedir. Bu teknolojilerin, uygulama geliştirme endüstrisindeki teknolojilere kıyasla daha kolay olması, araştırmacıların yazılım geliştirme süreçlerini hızlandırmaktadır. İlerleyen dönemlerde karşılaşılan sorunlar ise uygulama geliştirme ve yayınlama sürecinde kazanılan süreden fazlasını götürmektedir.

Bu tezde geliştirmeleri Python ile yaparak; bilimsel hesaplama ve API programlamayı aynı platformdan yürütmek ve geliştirme süresini optimize etmek hedeflenmiştir. Bu şekilde geliştirilen bir yazılıma bütününe bakım yapmak daha kolaydır. Pek çok farklı eklenti bu platform üzerinde kullanılabilmektedir. Bu sayede elle yapılmak zorunda kalınan pek çok işlem otonom hale getirilmektedir.

İlerleyen yıllarda bu tercihler tekrar şekillenebilir fakat Python ile geliştirilecek bu tip uygulamalar, kolaylıkla başka platformlara entegre edilebilir veya dönüştürülebilir. Dolayısı ile geliştirilen yazılımda, soyutlamanın ölçüsüne dikkat edilmelidir.

5.1.2. Jeofizikte Bayesçi Yaklaşımlar

Jeofizik, ters çözümün en baskın branşlarından biridir. Buna; bilinmeyen uzayları ve yeraltı yapılarını modelleme gerekliliğinin neden olduğu düşünülmektedir. Ayrıca bu ortamlar üzerinde zaman ve frekans alanlarında simüle edilen işlemler, pek çok diğer analiz sorunlarını da meydana getirmektedir.

Bu sorunların çözümünde Bayesçi yaklaşımların artması gerektiği düşünülmektedir. Çünkü Bayesçi yöntemler ile veri olmadan önsel dağılımlar yapılabilir. Güçlü bir önsel bilgi ile bir veri noktasından bile, işe yarar bir kestirim yapmak mümkün olabilmektedir.

5.2. SONUÇ

5.2.1. Erzincan

Erzincan'da magnitüd değeri 4'ten büyük olan depremlerin sayısında 13 Mart 1992 depreminden sonra meydana gelen artış miktarı dikkat çekmektedir. İşaretlenen A ve B zamanlarının (Şekil 4.1) olasılık yoğunluklarına bakıldığında (Şekil 4.2), B zamanının yıllık oran aralığının diğerlerine oranla genişlediği gözlenmektedir. Buna, seçilen noktadaki ani artışın neden olduğu düşünülmektedir.

Magnitüd değeri 4'ten büyük olan depremlerin sıklıkçı oranı, ortalama değişim noktası, ortalama değişimsiz nokta ve ortalama sonsal olasılık oranı değerlerine bakıldığında ise (Şekil 4.3); meydana gelen sayı artışlarında Bayesçi yaklaşımın ani artışları yakalayabildiği görülmüştür. Sıklıkçı oran değerlerinde ise ani artış gözlenmemektedir. Ani artışı net şekilde gösteren ortalama sonsal olasılık oranının ise 2000 yılından itibaren gözlenen artışları aynı netlikte gösteremediği gözlenmiştir. Bu noktada değişim noktası değerlerine bakıldığında, ilgili yıllardaki artış net şekilde görülmektedir.

Yıllık aşılma oranlarına karşılık gelen PGV değerlerinde (Şekil 4.4), B zamanının A ve C zamanlarına kıyasla daha yüksek değerler alabileceği görülmektedir. B zamanında yıllık deprem olma sıklığındaki artışın maksimum noktalara yaklaştığı gözlenmektedir.

5.2.2. Van

Van'da magnitüd değeri 4'ten büyük olan depremlerin sayısında 23 Ekim 2011 depreminden sonra meydana gelen artış miktarı dikkat çekmektedir. İşaretlenen A ve C zamanlarının (Şekil 4.5) olasılık yoğunluklarına bakıldığında (Şekil 4.6), B zamanının yıllık oran aralığının minimum değerlerine yakın bölgesinde küçük bir ek tırmanış yaptığı gözlenmektedir. Buna, seçilen noktanın; artış yönelimi esnasındaki kısa süreli sabit ilerleyişinin neden olduğu düşünülmektedir.

Magnitüd değeri 4'ten büyük olan depremlerin sıklıkçı oranı, ortalama değişim noktası, ortalama değişimsiz nokta ve ortalama sonsal olasılık oranı değerlerine bakıldığında ise (Şekil 4.7); meydana gelen sayı artışlarında Bayesçi yaklaşımın ani artışları yakalayabildiği görülmüştür. Ayrıca deprem oranlarındaki artışların ardından yaşanan ani duraksamaların;

ortalama sonsal olasılık oranı değerlerinde ani düşüşler gözlenmesine neden olduğu düşünülmektedir. Sıklıkçı oran değerlerinde ise ani artış yakalanmakla birlikte, artışlardaki yavaşlama bölgelerinin daha yumuşak geçişler yaptığı gözlenmiştir. Değişim noktası değerlerinde; 2011 sonrası yükseliş başlayana dek, deprem sıklıklarındaki yavaşlayan artışın yumuşak bir azalım olarak gösterildiği gözlenmiştir.

Yıllık aşılma oranlarına karşılık gelen PGV değerlerinde (Şekil 4.8), A zamanının diğer iki zaman için hesaplanan değerlerden daha düşük üst PGV değerine sahip olduğu görülmektedir. A zamanında deprem oluş sayılarının stabil ve en düşük düzeylerde olduğu gözlenmektedir.

5.2.3. Erzurum

Erzurum'da magnitüd değeri 4'ten büyük olan depremlerin sayısında 1982 yılından sonra meydana gelen artış dikkat çekmektedir. İşaretlenen C zamanının (Şekil 4.9) olasılık yoğunluğuna bakıldığında (Şekil 4.10), A ve B zamanlarına kıyasla dar bir yıllık oran aralığında bulunduğu gözlenmektedir. İşaretlenen B zamanına ait hesaplamaların, düşük olasılık yoğunluğu bandında yüksek yıllık deprem oranları almasının nedeninin; artış sürecinde bulunması olduğu düşünülmektedir.

Magnitüd değeri 4'ten büyük olan depremlerin sıklıkçı oranı, ortalama değişim noktası, ortalama değişimsiz nokta ve ortalama sonsal olasılık oranı değerlerine bakıldığında ise (Şekil 4.11); meydana gelen sayı artışlarında Bayesçi yaklaşımın ani artışları yakalayabildiği görülmüştür. Ortalama sonsal olasılık oranı değerlerinin; 1982 sonrası artışlarda sıklıkçı oran ile benzer sonuçlar gösterdiği gözlenmiştir. Değişim noktası değerlerinin özellikle 2005-2010 yılları arasında gözlenen artış ve azalışları tespit ettiği görülmüştür.

Yıllık aşılma oranlarına karşılık gelen PGV değerlerinde (Şekil 4.12), B zamanının A ve C zamanlarına kıyasla daha yüksek değerler alabileceği görülmektedir. B zamanında yıllık deprem olma sıklığındaki artışın maksimum noktalara yaklaştığı gözlenmektedir.

5.2.4. Otonom PSHA

Sismik tehlike analizinin; yaşayan bir süreç haline getirilmesi gerektiği düşünülmektedir. Tezin hedeflerinden biri olan, süreçlerin tek parçada toplandığı ve sürekli çalışır halde olduğu bir

sistem tasarımına ulaşılmıştır. Bu hedefin; araştırmacılara bulut tabanlı bilimsel hesaplama gücü sunarak ilerleyişi hızlandıracağı düşünülmektedir.

Veri analizinde Bayesçi yaklaşımlar tercih edilerek; belirli ve uygun ön bilgi kullanımı ile daha stabil sonuçlar elde etme hedefine de ulaşılmıştır. Bu doğrultuda Bayesçi yöntem ile elde edilen sonuçların; hali hazırda yaygın olarak kullanılan hesaplamalar ile kıyaslanması gerektiği düşünülmektedir.

Bu çalışmada temel alınan jeofizikte bulut bilişim ve Bayesçi veri analizi yaklaşımları ile; PSHA süreçlerini daha tutarlı ve erişilebilir hale getirmek hedefine ulaşılmış ve Doğu Anadolu'da seçilen üç bölgeye uygulanarak PSHA çalışmalarına katkı sağlanmıştır.

KAYNAKLAR

- Alonzi, P. (2016, Şubat 16). *Workshops | University of Virginia Library Research Data Services Sciences*.<http://static.lib.virginia.edu/statlab/materials/workshops/2016-02-16-python.pdf> [Ziyaret Tarihi: 1 Mayıs 2018].
- Alpaydın, E. (2011). *Yapay Öğrenme*. İstanbul: Boğaziçi Üniversitesi Yayınevi.
- Ambraseys, N. (1971). Value of historical records of earthquakes. *Nature*, 232, 375-379.
- Arpat, E., Şaroğlu, F. (1972). The east Anatolian fault system: thoughts on its development. *Bulletin of the Mineral Research and Exploration Institute of Turkey*, 78, 33-39.
- Atkinson, G. M. (2015). Ground-Motion Prediction Equation for Small-to-Moderate Events at Short Hypocentral Distances, with Application to Induced-Seismicity Hazards. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 105(2A), 981-992.
- Baker, J. (2008). *Baker Research Group*. Mayıs 1, 2018 tarihinde Stanford University: [https://web.stanford.edu/~bakerjw/Publications/Baker_\(2008\)_Intro_to_PSHA_v1_3.pdf](https://web.stanford.edu/~bakerjw/Publications/Baker_(2008)_Intro_to_PSHA_v1_3.pdf) [Ziyaret Tarihi: 1 Mayıs 2018].
- Baker, J. W., Gupta, A. (2016). Bayesian Treatment of Induced Seismicity in Probabilistic Seismic-Hazard Analysis. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 106(3), 860-870.
- Bulut, F., Bohnhoff, M., Eken, T., Janssen, C., Kılıç, T., Dresen, G. (2012). The East Anatolian Fault zone: seismotectonic setting and spatiotemporal characteristics of seismicity based on precise earthquake locations. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 117, B07304.
- Burke, K., Şengör, A. M. (1986). Tectonic escape in the evolution of the continental crust. M. Barazangi, L. Brown içinde, *Reflection Seismology the Continental Crust* (Cilt 14, s. 41-53). AGU Geodyn. Ser.
- Fielding, R. T. (2000). *Architectural Styles and the Design of Network-based Software Architectures, Doktora Tezi*. University of California, Irvine.

- Giessler, P., Gebhart, M., Sarancin, D., Steinegger, R., Abeck, S. (2015). Best Practices for the Design. *ICSEA 2015 : The Tenth International Conference on Software Engineering Advances* (s. 392-397). Barselona: IARIA.
- Google, D. (2016, Ağustos 5). *Python Introduction | Python Education | Google Developers*. Google for Education: <https://developers.google.com/edu/python/introduction#code-checked-at-runtime> [1 Mayıs 2018].
- Gupta, A., Baker, J. W. (2015). A Bayesian change point model to detect changes in event occurrence rates, with application to induced seismicity. *12th International Conference on Applications of Statistics and Probability in Civil Engineering* (s. 8). Vancouver, Kanada: ICASP12.
- Hempton, M. R. (1985). Structure and deformation history of the Bitlis suture near Lake Hazar, southeastern Turkey. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 96, 233–243.
- Jackson, J., McKenzie, D. (1988). The relationship between plate motions and seismic moment tensors and the rate of active deformation in the Mediterranean and Middle East. *Geophysical Journal International*, 93(1), 45-73.
- KOERI. (2018). *B.Ü. Kandilli Rasathanesi BDTİM Deprem Sorgulama Sistemi*. B.Ü. Kandilli Rasathanesi: <http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/zeqdb/> [Ziyaret Tarihi: 1 Mayıs 2018].
- Kozyrakis, C., Zaharia, M. (2017). *CS349D: Cloud Computing Technology*. Stanford University: https://web.stanford.edu/class/cs349d/docs/L01_overview.pdf [1 Mayıs 2018].
- Muller, R. P. (2000). *Python Short Course*. California Institute of Technology: http://www.wag.caltech.edu/home/rpm/python_course/Lecture_1.pdf [Ziyaret Tarihi: 1 Mayıs 2018].
- NumPy. (2018). *NumPy*. NumPy: <http://www.numpy.org/> [Ziyaret Tarihi: 1 Mayıs 2018].
- Reilinger, R., McClusky, S., Vernant, P., Lawrence, S., Ergintav, S., Cakmak, R., . . . Dmitrotsa, A. (2006). GPS constraints on continental deformation in the Africa-Arabia-Eurasia

- continental collision zone and implications for the dynamics of plate interactions. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, B05411.
- Schwartz, D. P., Coppersmith, K. J. (1984). Fault behavior and characteristic earthquakes: Examples from the Wasatch and San Andreas fault zones. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 89(B7), 5681-5698.
- SciPy (2018). *SciPy Documentation*. SciPy: <https://scipy.org/docs.html> [Ziyaret Tarihi: 1 Mayıs 2018].
- Sezgin, N., Pınar, A., Utkucu, M. (2002). Maraş Üçlü Eklem Bölgesinde Günümüzde Etkin Olan Tektonik Rejim. *İstanbul Üni. Müh. Fak. Yerbilimleri Dergisi*, Cilt 15(1), 43-55.
- Şaroğlu, F., Emre, Ö., Kuşçu, İ. (1992). Türkiye Diri Fay Haritası (Active Fault Map of Turkey), Scale 1:2,000,000. *Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü*, Bir Sayfa.
- Şengör, A. M., Görür, N., Şaroğlu, F. (1985). Strike slip faulting and related basin formation in zones of tectonic escape Turkey as a case study. K. T. Biddle, K. Christie-Blick içinde, *Strike-slip Deformation Basin Formation and Sedimentation* (Cilt 37, s. 227-264). Society of Economic Paleontologists and Mineralogists.
- Türkelli, N., Sandvol, E., Zor, E., Gök, R., Bekler, T., Al-Lazki, A., . . . Barazangi, M. (2003). Seismogenic zones in Eastern Turkey. *Geophysical Research Letters*, 30(24), 8039.
- Türkoğlu, E., Unsworth, M., Bulut, F., Çağlar, İ. (2015). Crustal structure of the North Anatolian and East Anatolian Fault Systems from magnetotelluric data. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 241, 1-14.
- Wiemer, S. (2001). A Software Package to Analyze Seismicity: ZMAP. *Seismological Research Letters*, 72(3), 373–382. doi:10.1785/gssrl.72.3.373

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı Onur Uyanık
Doğum Yeri İstanbul
Doğum Tarihi 04.08.1993
Uyruğu ☒ T.C. ☐ Diğer:
Telefon +905074870468
E-Posta Adresi uyanikonur@protonmail.ch
Web Adresi

Eğitim Bilgileri

Lisans

Üniversite İstanbul Üniversitesi
Fakülte Mühendislik Fakültesi
Bölümü Jeofizik Mühendisliği
Mezuniyet Yılı 2015

Yüksek Lisans

Üniversite İstanbul Üniversitesi
Enstitü Adı Fen Bilimleri Enstitüsü
Anabilim Dalı Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı
Programı Jeofizik Mühendisliği Programı

Makale ve Bildiriler

Uyanık O., Hoşkan N., "Sismik Yansıma Verilerinde Ön İşleme Süreci Üzerine: Otomatik Kazanç Kontrolü (AGC) ve T-kare (t₂) Yönteminin Karşılaştırması", *Genç Yerbilimciler Kongresi*, İzmir, Türkiye, 5-7 Haziran 2015, ss.124-125