



**ESKİŞEHİR İLİ**  
**SİSMİK TEHLİKE ANALİZİ**

**Yüksek Lisans Tezi**  
**Hasan Burak ÖZMEN**  
**Eskişehir, 2018**

# ESKİŞEHİR İLİ SİSMİK TEHLİKE ANALİZİ

**Hasan Burak ÖZMEN**

## YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Anabilim Dalı  
Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Emrah PEKKAN**

**Eskişehir  
Anadolu Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Temmuz, 2018**

*Bu tez çalışması BAP Komisyonunca Kabul Edilen Proje No: 080000240 no.lu  
Anadolu Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi kapsamında desteklenmiştir.*

## **JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI**

Hasan Burak ÖZMEN'in "Eskişehir İli Sismik Tehlike Analizi" başlıklı tezi 13/07/2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından değerlendirilerek "Anadolu Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği"nin ilgili maddeleri uyarınca, Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Anabilim dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

| <b><u>Jüri Üyeleri</u></b> | <b><u>Unvanı Adı Soyadı</u></b> | <b><u>İmza</u></b> |
|----------------------------|---------------------------------|--------------------|
| Üye (Tez Danışmanı)        | : Dr. Öğr. Üyesi Emrah PEKKAN   | .....              |
| Üye                        | : Dr. Öğr. Üyesi Muammer TÜN    | .....              |
| Üye                        | : Doç. Dr. Orhan POLAT          | .....              |

**Prof.Dr. Ersin YÜCEL**  
**Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü**

## ÖZET

### ESKİŞEHİR İLİ SİSMİK TEHLİKE ANALİZİ

Hasan Burak ÖZMEN

Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Anabilim Dalı

Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Temmuz, 2018

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Emrah PEKKAN

İnsanoğlu geçmişten günümüze birçok doğal afetle mücadele etmektedir. Bu doğal afetlerin başında depremler gelmektedir. Depremler meydana geldikleri bölgelerde ve etki alanları içerisinde bulunan canlı ve cansız varlıklar üzerinde olumsuz etkilere neden olmaktadır. Depremler meydana geldikten sonra açığa çıkan deprem dalgalarının etki mesafesi depremin büyüklüğüne göre değişkenlik göstermektedir. Büyük depremlerin etki mesafeleri küçük depremlere göre daha fazla olmaktadır. Depremlerin binalarda yaratacağı etkiler, binanın deprem dalgasına karşı koyduğu direnç ile ilişkilidir. Bu nedenle bölgesel deprem tehlikesinin belirlenerek yapıların belirlenen olası etkilere göre tasarlanması, yapıların deprem anında yıkılmasını önleyecektir. Depremlerin tehlikesinin büyüklüğü, faydan uzaklık, deprem üreten fayların konumu, fayların aktivitesi gibi parametreler nedeniyle bölgesel olarak değişkenlik göstermektedir. Bu nedenle bölgesel olarak deprem tehlikelerinin belirlenmesi ve yapıların bölgeye özgü deprem tehlikesine göre tasarlanması önemlidir. Deprem tehlikesinin belirlenmesi için geçmişte meydana gelmiş deprem konumları ve bölgedeki aktif fayların uzunlukları ile yaratabileceği deprem büyüklükleri kullanılarak Sismik Tehlike Analizleri yapılmaktadır. Bu çalışmada Eskişehir yerleşim yeri ve çevresinde\_1900-2018 yılları arasında meydana gelmiş ve büyüklükleri 4,5 ve 4,5'ten büyük deprem verileri kullanılarak Eskişehir İli için Sismik Tehlike Analizi yapılmış Coğrafi Bilgi Sistemleri kullanılarak Sismik tehlike haritaları oluşturulmuştur.

**Anahtar Sözcükler:** Deprem, Coğrafi Bilgi Sistemleri, Sismik Tehlike Analizi.

## **ABSTRACT**

### **SEISMIC HAZARD ANALYSIS OF ESKİŞEHİR**

Hasan Burak ÖZMEN

Department of Remote Sensing and Geographic Information Systems

Anadolu University, Graduate School of Sciences, July, 2018

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Emrah PEKKAN

Humankind has been struggling with many natural disasters from past to present. The leading disaster among others are earthquakes. Earthquakes cause negative effects on the living and non-living assets in the areas where they occur and in the areas of their influence. The effective distance of the earthquake waves after the earthquakes vary mostly according to the magnitude of the earthquake. The impact distances of large earthquakes are greater than those of small earthquakes. The effects of earthquakes to the buildings are related to the resistance of the building to the earthquake waves. Therefore, the design of the buildings according to the possible earthquake hazard could save the buildings from collapsing during an earthquake event. The severity of the earthquake hazard varies locally due to parameters such as distance from the fault, location of and the activity of the faults. For this reason, the earthquake hazard should be determined locally and the structures should be designed according to this earthquake hazard. Seismic Hazard Analyzes are carried out by using locations of the earthquakes occurred in the past, active fault lengths and their maximum earthquake magnitude which could produce. In this study, Seismic Hazard Mapping for Eskişehir Province was made by using Geographical Information Systems and the data of earthquakes occurred in Eskişehir and its surroundings from 1900 to 2018 which are larger than 4,5 in magnitude.

**Keywords:** Earthquake, Geographic Information System, Seismic Hazard Analysis.

## TEŞEKKÜR

Bu tez çalışma sürecimde tüm bilgi birikimini benimle paylaşan, sabrını esirgemeyen, yardım ve katkılarıyla bana yol gösteren değerli hocam **Sn. Dr. Öğr. Üyesi Emrah PEKKAN**'a teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam sırasında yaşadığım sorunları her an danışabildiğim **Prof. Dr. Yücel GÜNEY, Doç. Dr. Uğur AVDAN** ve **Dr. Öğr. Üyesi Muammer TÜN**'e teşekkür ederim.

Hayatım boyunca her zaman yanımda olan ve desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Hasan Burak ÖZMEN

## **ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ**

Bu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; bu çalışma kapsamında elde edilemeyen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi; bu çalışmanın Anadolu Üniversitesi tarafından kullanılan “bilimsel intihal tespit programıyla tarandığını ve hiçbir şekilde “intihal içermediğini” beyan ederim. Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçlara razı olduğumu bildiririm.

Hasan Burak ÖZMEN

## İÇİNDEKİLER

|                                                       | <u>Sayfa</u> |
|-------------------------------------------------------|--------------|
| BAŞLIK SAYFASI .....                                  | i            |
| JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI .....                           | ii           |
| ÖZET .....                                            | iii          |
| ABSTRACT.....                                         | iv           |
| TEŞEKKÜR .....                                        | v            |
| ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ.....      | vi           |
| İÇİNDEKİLER .....                                     | vii          |
| TABLolar DİZİNİ .....                                 | ix           |
| ŞEKİLLER DİZİNİ .....                                 | xi           |
| KISALTMALAR .....                                     | xiv          |
| 1. GİRİŞ .....                                        | 1            |
| 1.1. Çalışmanın Amacı.....                            | 1            |
| 1.2. Çalışmanın Kapsamı .....                         | 2            |
| 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....                             | 3            |
| 3. ÇALIŞMA ALANI VE ÖZELLİKLERİ.....                  | 10           |
| 3.1. Coğrafi Konum .....                              | 11           |
| 3.2. İklim ve Bitki Örtüsü .....                      | 12           |
| 3.3. Bölgenin Jeolojisi .....                         | 13           |
| 3.4. Bölgenin Tektoniği ve Depremselliği .....        | 18           |
| 4. KURAMSAL TEMELLER .....                            | 25           |
| 4.1. Deprem ve Deprem Parametreleri.....              | 25           |
| 4.2. Azalım İlişkileri.....                           | 32           |
| 4.3. Gutenberg-Richter Tekrarlanma Yasası.....        | 37           |
| 4.4. Poisson Olasılık Dağılım Fonksiyonu .....        | 39           |
| 4.5. Coğrafi Bilgi Sistemleri .....                   | 42           |
| 5. MATERYAL VE METOD .....                            | 46           |
| 5.1. Deprem Verileri .....                            | 47           |
| 5.2. Deprem Kaynaklarının Belirlenmesi .....          | 48           |
| 5.3. Deprem Kataloğunun Belirlenmesi.....             | 48           |
| 5.4. Çalışmada Kullanılan Azalım İlişkileri .....     | 49           |
| 5.5. Deterministik Sismik Tehlike Analizi (DSTA)..... | 60           |

|                                                        |    |
|--------------------------------------------------------|----|
| 5.6. Probabilistik Sismik Tehlike Analizi (PSTA) ..... | 61 |
| 6. BULGULAR.....                                       | 62 |
| 7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....                           | 85 |
| KAYNAKÇA.....                                          | 87 |
| ÖZGEÇMİŞ .....                                         | 98 |



## TABLolar DİZİNİ

|                                                                                                                                                          | <u>Sayfa</u> |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| <b>Tablo 4.1.</b> Değiştirilmiş Mercalli Ölçeği .....                                                                                                    | 31           |
| <b>Tablo 4.2.</b> DBYBHE, 2007 de bulunan zemin grupları .....                                                                                           | 34           |
| <b>Tablo 4.3.</b> Yerel Zemin Sınıfları (DBYBHE, 2007) .....                                                                                             | 35           |
| <b>Tablo 4.4</b> DEABTİE, (2018)'de tanımlanan zemin grupları .....                                                                                      | 35           |
| <b>Tablo 4.5.</b> Farklı Deprem Büyüklüklerinin istenilen zaman diliminde meydana gelme olasılıkları ve periyodları .....                                | 41           |
| <b>Tablo 5.1.</b> Campbell, (1981) azalım ilişkisi katsayıları .....                                                                                     | 50           |
| <b>Tablo 5.2.</b> Joyner ve Boore, (1981) azalım ilişkisi katsayıları.....                                                                               | 51           |
| <b>Tablo 5.3.</b> Boore vd. (1993) azalım ilişkisi katsayıları .....                                                                                     | 52           |
| <b>Tablo 5.4.</b> Boore vd., (1993) azalım ilişkisi zemin parametresi katsayıları.....                                                                   | 52           |
| <b>Tablo 5.5.</b> Boore vd., (1997); azalım ilişkisi katsayıları.....                                                                                    | 53           |
| <b>Tablo 5.6.</b> Boore vd., (1997) azalım ilişkisi zemin parametresi katsayıları.....                                                                   | 53           |
| <b>Tablo 5.7.</b> Gülkan ve Kalkan., (2002) azalım ilişkisi katsayıları.....                                                                             | 54           |
| <b>Tablo 5.8.</b> Gülkan ve Kalkan., (2002) azalım ilişkisi zemin parametresi katsayıları                                                                | 54           |
| <b>Tablo 5.9.</b> Özbey vd., (2003) azalım ilişkisi katsayıları .....                                                                                    | 55           |
| <b>Tablo 5.10.</b> Özbey vd. (2003) azalım ilişkisi zemin parametresi katsayıları.....                                                                   | 55           |
| <b>Tablo 5.11.</b> Kalkan ve Gülkan, (2004) azalım ilişkisi katsayıları.....                                                                             | 56           |
| <b>Tablo 5.12.</b> Kalkan ve Gülkan, (2004) azalım ilişkisi zemin parametresi katsayıları .....                                                          | 56           |
| <b>Tablo 5.13.</b> Ulusay vd., (2004) azalım ilişkisi katsayıları .....                                                                                  | 57           |
| <b>Tablo 5.14.</b> Ulusay vd., (2004) azalım ilişkisi zemin parametresi katsayıları.....                                                                 | 57           |
| <b>Tablo 5.15.</b> Çeken vd., (2008) azalım ilişkisi katsayıları.....                                                                                    | 58           |
| <b>Tablo 5.16.</b> Çeken vd., (2008) azalım ilişkisi zemin parametresi katsayıları .....                                                                 | 58           |
| <b>Tablo 5.17.</b> Akkar ve Çağnan, (2010) azalım ilişkisi katsayıları.....                                                                              | 59           |
| <b>Tablo 6.1.</b> Sismik zonların Eskişehir yerleşim yerine olan en yakın mesafe değerleri .....                                                         | 63           |
| <b>Tablo 6.2.</b> Sismik zonlarda 1900-2018 yılları arasında meydana gelen en büyük deprem değerleri.....                                                | 63           |
| <b>Tablo 6.3.</b> Fay zonlarında meydana gelen en büyük depremin Eskişehir Yerleşim Yerine olan etkisi (PGA, g, Genel Zemin Özelliklerine göre).....     | 63           |
| <b>Tablo 6.4.</b> Fay zonlarında meydana gelen en büyük depremin Eskişehir Yerleşim Yerine olan etkisi (PGA, g, AB Zemin Sınıfı Özelliklerine göre)..... | 64           |
| <b>Tablo 6.5.</b> Fay zonlarında meydana gelen en büyük depremin Eskişehir Yerleşim Yerine olan etkisi (PGA, g, C Zemin Sınıfı Özelliklerine göre).....  | 64           |
| <b>Tablo 6.6.</b> Fay zonlarında meydana gelen en büyük depremin Eskişehir Yerleşim Yerine olan etkisi (PGA, g, D Zemin Sınıfı Özelliklerine göre).....  | 64           |
| <b>Tablo 6.7.</b> Fay zonlarına ait Gutenberg-Richter tekrarlanma yasası katsayıları .....                                                               | 72           |
| <b>Tablo 6.8.</b> KAFZ için meydana gelebilecek depremlere ait olasılık değerleri ve tekrarlanma periyodları .....                                       | 72           |
| <b>Tablo 6.9.</b> EFZ için meydana gelebilecek depremlere ait olasılık değerleri ve tekrarlanma periyodları .....                                        | 73           |
| <b>Tablo 6.10.</b> KFZ için meydana gelebilecek depremlere ait olasılık değerleri ve tekrarlanma periyodları .....                                       | 73           |

|                                                                                                                       |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tablo 6.11.</b> SFZ için meydana gelebilecek depremlere ait olasılık değerleri ve<br>tekrarlanma periyodları ..... | 73 |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|



## ŞEKİLLER DİZİNİ

|                                                                                                                                                 | <b>Sayfa</b> |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| Şekil 3.1. Çalışma Alanı Sınırları .....                                                                                                        | 10           |
| Şekil 3.2. Sakarya Nehri, Porsuk Çayı Sarısu Çayı.....                                                                                          | 12           |
| Şekil 3.3. Eskişehir Yerleşim Yeri ve Çevresi ayrıntılı stratigrafik kesiti (Gözler vd., 1985; 1986, Güney vd., 2014).....                      | 14           |
| Şekil 3.4. Eskişehir Yerleşim Yeri ve Çevresinin Jeoloji Haritası (DSİ, 1976, MTA jeoloji haritalarından güncellenmiştir, Güney vd., 2014)..... | 15           |
| Şekil 3.5. I-I' - GB-KD kesiti (DSİ, 1976'dan geliştirilmiştir, Güney vd., 2014) ....                                                           | 16           |
| Şekil 3.6. II-II' - GD-KB kesiti (DSİ, 1976'dan geliştirilmiştir, Güney vd., 2014)..                                                            | 16           |
| Şekil 3.7. III-III' - GGD-KKB kesiti (DSİ, 1976'dan geliştirilmiştir, Güney vd., 2014) .....                                                    | 16           |
| Şekil 3.8. IV-IV' - GGD-KKB kesiti (DSİ, 1976'dan geliştirilmiştir, Güney vd., 2014) .....                                                      | 16           |
| Şekil 3.9. Türkiye ve çevresinin ana neotektonik bölgeleri ve birbirleri ile olan ilişkilerini gösteren harita (Özsayın, 2007) .....            | 19           |
| Şekil 3.10. Eskişehir ve çevresinin tektonik haritası (Altunel ve Barka, 1998; Ocakoğlu, 2007; Emre vd. 2011; Seyitoğlu vd., 2015).....         | 23           |
| Şekil 3.11. Eskişehir Yerleşim Yeri ve Çevresinde 1900-2018 yılları arasında meydana gelen depremler.....                                       | 23           |
| Şekil 4.1 AFAD Sismik Ağı Kuvvetli Yer Hareketi İstasyonları (http-4) .....                                                                     | 26           |
| Şekil 4.2 AFAD Sismik Ağı Zayıf Yer Hareketi İstasyonları (http-5).....                                                                         | 27           |
| Şekil 4.3. BDTİM Sismik Ağı (http-6).....                                                                                                       | 28           |
| Şekil 4.4. EskişehirNet Sismik Ağı .....                                                                                                        | 29           |
| Şekil 4.5. KYHD <sub>TF</sub> > KYHD <sub>DAF</sub> > KYHD <sub>NF</sub> (McGarr, 1984; Çeken, 2007) .....                                      | 36           |
| Şekil 4.6. Gutenberg-Richter Tekrarlanma Yasası grafiği konulacak.....                                                                          | 37           |
| Şekil 4.7. Farklı “b” değerlerine sahip alanlarda meydana gelen deprem sıklıkları .                                                             | 39           |
| Şekil 4.8. Coğrafi Bilgi Sistemleri ana bileşenleri .....                                                                                       | 44           |
| Şekil 5.1. 1900-2018 yıllarını kapsayan zaman diliminde Fay Zonlarında Meydana gelen depremler .....                                            | 47           |
| Şekil 5.2. Campbell, (1981) azalım ilişkisi grafiği.....                                                                                        | 50           |
| Şekil 5.3. Joyner ve Boore, (1981) azalım ilişkisi grafiği .....                                                                                | 51           |
| Şekil 5.4. Boore vd., (1993) azalım ilişkisi grafiği.....                                                                                       | 52           |
| Şekil 5.5. Boore vd., (1997) azalım ilişkisi grafiği.....                                                                                       | 53           |
| Şekil 5.6. Gülkan ve Kalkan., (2002) azalım ilişkisi grafiği .....                                                                              | 54           |
| Şekil 5.7. Özbey vd., (2003) azalım ilişkisi grafiği.....                                                                                       | 55           |
| Şekil 5.8. Ulusay vd., (2004) azalım ilişkisi grafiği.....                                                                                      | 56           |
| Şekil 5.9. Ulusay vd., (2004) azalım ilişkisi grafiği .....                                                                                     | 57           |
| Şekil 5.10. Çeken vd., (2008) azalım ilişkisi grafiği .....                                                                                     | 58           |
| Şekil 5.11. Akkar ve Çağnan (2010), azalım ilişkisi grafiği .....                                                                               | 59           |
| Şekil 5.12. Deterministik Sismik Tehlike Analizi Aşamaları (Kramer, 1996).....                                                                  | 60           |
| Şekil 5.13. Olasılıksal Sismik Tehlike Analizi Aşamaları (Kramer, 1996) .....                                                                   | 61           |
| Şekil 6.1. Eskişehir yerini etkileyen fay zonları ve bu fay zonlarında meydana gelen deprem büyüklükleri .....                                  | 62           |

|                                                                                                                                                                                                                                  |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Şekil 6.2.</b> Eskişehir Yerleşim Yeri ve Çevresinde Bulunan Fayların meydana getirebileceği deprem büyüklüğü değerleri.....                                                                                                  | 66 |
| <b>Şekil 6.3.</b> Joyner ve Boore (1981) azalım ilişkisi kullanılarak ve 20.02.1956 depremi ve Emre vd., (2011)'de bulunan fayların meydana getireceği ivme değerleri haritası (Güney vd., 2014'ten güncellenmiştir.).....       | 66 |
| <b>Şekil 6.4.</b> Joyner ve Boore (1981) azalım ilişkisi kullanılarak ve 20.02.1956 depremi, Emre vd., (2011)'de bulunan fayların ve Seyitoğlu vd., (2015)'te önerilen fayların meydana getireceği ivme değerleri haritası ..... | 67 |
| <b>Şekil 6.5.</b> KAFZ'nda meydana gelen depremlerin histogram grafiği .....                                                                                                                                                     | 68 |
| <b>Şekil 6.6.</b> KAFZ için Gutenberg Richter tekrarlanma doğrusu.....                                                                                                                                                           | 69 |
| <b>Şekil 6.7.</b> EFZ'nda meydana gelen depremlerin histogram grafiği.....                                                                                                                                                       | 69 |
| <b>Şekil 6.8.</b> EFZ için Gutenberg Richter tekrarlanma doğrusu .....                                                                                                                                                           | 70 |
| <b>Şekil 6.9.</b> KFZ meydana gelen depremlerin histogram grafiği .....                                                                                                                                                          | 70 |
| <b>Şekil 6.10.</b> KFZ için Gutenberg Richter tekrarlanma yasası doğrusu .....                                                                                                                                                   | 71 |
| <b>Şekil 6.11.</b> Simav Fay Zonu meydana gelen depremlerin histogram grafiği .....                                                                                                                                              | 71 |
| <b>Şekil 6.12.</b> SFZ için Gutenberg Richter tekrarlanma yasası doğrusu.....                                                                                                                                                    | 72 |
| <b>Şekil 6.13.</b> KAFZ Kalkan ve Gülkan, (2004) azalım ilişkisi AB zemin sınıfına göre STA haritası (DD-2, 50 yılda %10 aşılma olasılığı ve 475 yıllık tekrarlanma periyodu) .....                                              | 74 |
| <b>Şekil 6.14.</b> KAFZ Kalkan ve Gülkan, (2004) azalım ilişkisi C zemin sınıfına göre STA haritası (DD-2, 50 yılda %10 aşılma olasılığı ve 475 yıllık tekrarlanma periyodu) .....                                               | 75 |
| <b>Şekil 6.15.</b> KAFZ Kalkan ve Gülkan, (2004) azalım ilişkisi D zemin sınıfına göre STA haritası (DD-2, 50 yılda %10 aşılma olasılığı ve 475 yıllık tekrarlanma periyodu) .....                                               | 75 |
| <b>Şekil 6.16.</b> EFZ Kalkan ve Gülkan, (2004) azalım ilişkisi AB zemin sınıfına göre STA haritası (DD-2, 50 yılda %10 aşılma olasılığı ve 475 yıllık tekrarlanma periyodu) .....                                               | 76 |
| <b>Şekil 6.17.</b> EFZ Kalkan ve Gülkan, (2004) azalım ilişkisi C zemin sınıfına göre STA haritası (DD-2, 50 yılda %10 aşılma olasılığı ve 475 yıllık tekrarlanma periyodu) .....                                                | 76 |
| <b>Şekil 6.18.</b> EFZ Kalkan ve Gülkan, (2004) azalım ilişkisi D zemin sınıfına göre STA haritası (DD-2, 50 yılda %10 aşılma olasılığı ve 475 yıllık tekrarlanma periyodu) .....                                                | 77 |
| <b>Şekil 6.19.</b> KFZ Kalkan ve Gülkan, (2004) azalım ilişkisi AB zemin sınıfına göre STA haritası (DD-2, 50 yılda %10 aşılma olasılığı ve 475 yıllık tekrarlanma periyodu) .....                                               | 77 |
| <b>Şekil 6.20.</b> KFZ Kalkan ve Gülkan, (2004) azalım ilişkisi C zemin sınıfına göre STA haritası (DD-2, 50 yılda %10 aşılma olasılığı ve 475 yıllık tekrarlanma periyodu) .....                                                | 78 |
| <b>Şekil 6.21.</b> KFZ Kalkan ve Gülkan, (2004) azalım ilişkisi D zemin sınıfına göre STA haritası (DD-2, 50 yılda %10 aşılma olasılığı ve 475 yıllık tekrarlanma periyodu) .....                                                | 78 |
| <b>Şekil 6.22.</b> SFZ Kalkan ve Gülkan, (2004) azalım ilişkisi AB zemin sınıfına göre STA haritası (DD-2, 50 yılda %10 aşılma olasılığı ve 475 yıllık tekrarlanma periyodu) .....                                               | 79 |

|                                                                                                                                                                                   |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Şekil 6.23.</b> SFZ Kalkan ve Gülkan, (2004) azalım ilişkisi B zemin sınıfına göre STA haritası (DD-2, 50 yılda %10 aşılma olasılığı ve 475 yıllık tekrarlanma periyodu) ..... | 79 |
| <b>Şekil 6.24.</b> SFZ Kalkan ve Gülkan, (2004) azalım ilişkisi C zemin sınıfına göre STA haritası (DD-2, 50 yılda %10 aşılma olasılığı ve 475 yıllık tekrarlanma periyodu) ..... | 80 |
| <b>Şekil 6.25.</b> KAFZ Akkar ve Çağnan, (2010) azalım ilişkisi STA haritası (DD-2, 50 yılda %10 aşılma olasılığı ve 475 yıllık tekrarlanma periyodu) .....                       | 80 |
| <b>Şekil 6.26.</b> EFZ Akkar ve Çağnan, (2010) azalım ilişkisi STA haritası (DD-2, 50 yılda %10 aşılma olasılığı ve 475 yıllık tekrarlanma periyodu) .....                        | 81 |
| <b>Şekil 6.27.</b> KFZ Akkar ve Çağnan, (2010) azalım ilişkisi STA haritası (DD-2, 50 yılda %10 aşılma olasılığı ve 475 yıllık tekrarlanma periyodu) .....                        | 81 |
| <b>Şekil 6.28.</b> SFZ Akkar ve Çağnan, (2010) azalım ilişkisi STA haritası (DD-2, 50 yılda %10 aşılma olasılığı ve 475 yıllık tekrarlanma periyodu) .....                        | 82 |
| <b>Şekil 6.29.</b> Kalkan ve Gülkan, (2004), azalım ilişkisi kullanılarak AB zemin sınıfına göre elde edilen Yıllık Meydana gelme Sayısı-İvme grafiği .....                       | 83 |
| <b>Şekil 6.30.</b> Kalkan ve Gülkan, (2004), azalım ilişkisi kullanılarak C zemin sınıfına göre elde edilen Yıllık Meydana gelme Sayısı-İvme grafiği .....                        | 83 |
| <b>Şekil 6.31.</b> Kalkan ve Gülkan, (2004), azalım ilişkisi kullanılarak D zemin sınıfına göre elde edilen Yıllık Meydana gelme Sayısı-İvme grafiği .....                        | 84 |
| <b>Şekil 6.32.</b> Akkar ve Çağnan, (2010), azalım ilişkisi kullanılarak elde edilen Yıllık Meydana gelme Sayısı-İvme grafiği .....                                               | 84 |

## KISALTMALAR

|                |                                                             |
|----------------|-------------------------------------------------------------|
| <b>CBS</b>     | : Coğrafi Bilgi Sistemleri                                  |
| <b>EFZ</b>     | : Eskişehir Fay Zonu                                        |
| <b>KAFZ</b>    | : Kuzey Anadolu Fay Zonu                                    |
| <b>KFZ</b>     | : Kütahya Fay Zonu                                          |
| <b>SFZ</b>     | : Simav Fay Zonu                                            |
| <b>DSTA</b>    | : Deterministik Sismik Tehlike Analizi                      |
| <b>PSTA</b>    | : Probabilistik Sismik Tehlike Analizi                      |
| <b>GPS</b>     | : Global Positioning System (Küresel Konumlandırma Sistemi) |
| <b>BKB</b>     | : Batı Kuzey Batı                                           |
| <b>DGD</b>     | : Doğu Güney Doğu                                           |
| <b>D</b>       | : Doğu                                                      |
| <b>B</b>       | : Batı                                                      |
| <b>KB</b>      | : Kuzey Batı                                                |
| <b>GD</b>      | : Güney Doğu                                                |
| <b>PGA</b>     | : Maksimum Yatay Yer İvmesi                                 |
| <b>DBYBHE</b>  | : Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik |
| <b>ABSKR</b>   | : Afet Bilgi Sistemi Komisyonu Raporu                       |
| <b>KKB</b>     | : Kuzey Kuzey Batı                                          |
| <b>GGD</b>     | : Güney Güney Doğu                                          |
| <b>K</b>       | : Kuzey                                                     |
| <b>G</b>       | : Güney                                                     |
| <b>DEABTİE</b> | : Deprem Etkisi Altında Binaların Tasarım İçin Esaslar      |
| <b>DD-1</b>    | : Deprem Yer Hareketi Düzeyi-1                              |
| <b>DD-2</b>    | : Deprem Yer Hareketi Düzeyi-2                              |
| <b>DD-3</b>    | : Deprem Yer Hareketi Düzeyi-3                              |
| <b>DD-4</b>    | : Deprem Yer Hareketi Düzeyi-4                              |

## 1. GİRİŞ

Doğal Afetler ülkemizde ve dünyada milyonlarca kişiyi olumsuz etkilemektedir. Jeotektonik konumu itibarı ile Türkiye bir deprem bölgesidir. Türkiye’de doğal afetlerden etkilenen afetzede sayısı olarak sıralandığında sırasıyla en fazla heyelan, kaya düşmesi, su baskını, depremler ve diğer afetler olarak sıralanabilir (Gökçe vd., 2008; Özmen, B., 2017). Türkiye’de meydana gelen doğal afetlerin konutlara verdiği zararlar sıralamasında ise depremler ilk sırada yer alır (Özmen, B., 2003). Meydana gelen doğal afetlerin Türkiye’de yarattığı ekonomik kayıpları incelendiğinde 17.08.1999 İzmit Depremi ilk sırada, 23.10.2011 Van Depremi ikinci sırada, 12.11.1999 Düzce-Kaynaşlı Depremi ise üçüncü sırada yer almaktadır (Özmen, B., 2017). Tüm doğal afetlerde olduğu gibi depremlerde canlı ve cansız varlıklar üzerinde olumsuz birçok etkiye neden olmaktadır. Bu etkilerin başında ekonomik, psikolojik ve sosyal etkiler gelmektedir. Depremler sonrasında meydana gelen can ve mal kayıpları insanoğlunu yıllarca etkileyecek ekonomik, psikolojik ve sosyal zararlara sebep olmaktadır. Bu olumsuz etkiler depremin meydana geldiği bölgenin nüfusuna ve ekonomik gelişmişliğe göre farklılıklar göstermektedir. Depremlerin meydana getireceği olumsuz etkileri en aza indirmek için konutları, okulları, hastaneleri, enerji santrallerini, fabrikaları ve yaşam için gerekli olan tüm yapıları depremlere karşı güvenli bir şekilde inşaa etmek gerekmektedir. Deprem etkilerine karşı güvenli yapıların yapılabilmesi için meydana gelebilecek depremlerin, yapılar üzerinde meydana getireceği etkileri belirlemek gerekir. Meydana gelebilecek depremlerin etkileri ise Sismik Tehlike Analizi (STA) yöntemleri ile belirlenmektedir.

Konumsal olan verilerin depolanmasında, sınıflandırılmasında, çeşitli analizler yapılmasında ve haritalandırılmasında ve farklı yazılımlar kullanılarak elde edilen analiz sonuçlarının haritalandırılmasında Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) oldukça etkin bir araç olarak kullanılmaktadır.

### 1.1. Çalışmanın Amacı

Depremler canlı ve cansız varlıklar üzerinde olumsuz etkilere neden olmaktadır. Bu etkiler meydana gelen depremin büyüklüğüne, meydana gelen depremin etkilediği yapıların bulunduğu zemin koşullarına, yapıların mühendislik hizmeti almış olup olmamasına, mühendislik hizmeti almış yapıların depreme dayanıklı olarak tasarlanıp tasarlanmamasına bağlı olarak farklı boyutlarda hasarlara neden olmaktadır. Depremlerin bu etkileri sosyal yaşamı ve ekonomiyi oldukça olumsuz etkilemektedir. Jeoloji, jeofizik

ve inşaat mühendisliği gibi disiplinlerde yapılan çalışmalar depremlerin çevrede ve yapılarda meydana getireceği etkileri araştırarak, deprem sonrasında meydana gelen olumsuz etkileri en aza indirmeyi amaçlar.

Depremlerin etkilerini araştırmak için yapılan çalışmaların başında STA çalışmaları gelmektedir. STA hesaplamaları Deterministik (Tanımsal) ve Probabilistik (Olasılıksal) Sismik Tehlike Analizi olmak üzere ikiye ayrılır.

Eskişehir yerleşim yeri ve çevresi için STA çalışması yaparak, meydana gelmiş ve gelebilecek depremlerin ivme değerlerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Yapılan STA çalışması sonucunda Eskişehir yerleşim yeri ve çevresin ait ivme haritaları elde edilmiştir.

## **1.2. Çalışmanın Kapsamı**

Meydana gelmiş ve gelebilecek depremlerin etkilerinin belirlenmesi amacı ile yapılan STA hesaplamaları Eskişehir yerleşim yeri ve çevresini kapsamaktadır. STA hesaplamalarında kullanılacak olan deprem kaynakları Orhan vd., (2007)'de önerilen Eskişehir Fay Zonu (EFZ), Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ), Kütahya Fay Zonu (KFZ) ve Simav Fay Zonu (SFZ) alansal kaynaklarıdır. Çalışma kapsamında Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü Bölgesel Deprem-Tsunami İzleme ve Değerlendirme Merkezi (BDTİM) Deprem Sorgulama Sisteminden elde edilen ve 1900-2018 yıllarını kapsayan 118 yıllık deprem kataloğu kullanılarak Deterministik ve Probabilistik Sismik Tehlike Analizi hesaplamaları yapılmıştır. STA hesaplamalarının en önemli verisini mekânsal veri olan deprem verileri oluşturmaktadır. Çalışmada kullanılan alansal kaynaklarda meydana gelen deprem verilerinin düzenlenmesinde, gruplandırılmasında, haritalandırılmasında ve STA analizlerinde kullanmak üzere düzenlenmesinde ve elde edilen sonuçların haritalandırılmasında CBS kullanılmıştır.

Deterministik Sismik Tehlike Analizi (DSTA) aşamasında alansal kaynaklarda meydana gelen en büyük depremlerin Eskişehir yerleşim yerinde meydana getirebileceği en büyük yatay yer ivmesi değeri hesaplanmıştır. Probabilistik Sismik Tehlike Analizi (PSTA) aşamasında ise sismik zonlarda belirli zaman periyotlarında, belirli deprem büyüklüklerinin meydana gelme olasılıkları ve meydana getirebilecekleri en büyük yatay yer ivmesi değerleri hesaplanmıştır.

## 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Öcal, (1959); 20 Şubat 1956 yılında Eskişehir Yerleşim Yerinde meydana gelen depremin makrosismik incelemesini yapmış ve depremin büyüklüğünü M: 6,4, depremin merkez derinliğini 22 km olarak belirlemiştir.

Gözler vd., (1985); Eskişehir yerleşim yerinin güney ve kuzeyinden geçen düşey atımlı fay sistemlerinin genel olarak Doğu-Batı doğrultulu olduğunu ve kuzey bölümde yer alan fayların güneye, güney bölümde yer alan fayların ise kuzeye eğimli olduklarını belirtmişlerdir. Kuzey ve güneyde yer alan düşey atımlı faylar ile bu bölgede yer alan doğrultu atımlı faylar ve ters fayların bölgenin bugünkü jeolojik yapısının meydana gelmesinde oldukça etkili olduklarını belirtmişlerdir.

Şaroğlu vd., (1992); Eskişehir Fay Zonunun batıda Bursa Uludağ'dan doğuda Sivrihisardan Kaymaza kadar BKB-DGD doğrultulu uzandığını belirtmiştir. Eskişehir Fay Zonunu incelerken bu fay zonunu Türkiye Diri Fay haritasında İnönü-Dodurga, Eskişehir ve Kaymaz fayları olarak ayrı ayrı incelemişler ve adlandırmışlardır.

Barka vd., (1995); güncel GPS ölçümleri, tarihsel ve aletsel deprem verilerini kullanarak Eskişehir Fayının yıllık hareket hızını belirlemişler ve bu hızın düşük olduğunu gözlemleyerek bu zonda meydana gelebilecek büyük depremlerin yıllık tekrarlanma periyotlarının geniş olduğunu belirtmişlerdir.

Reilinger vd., (1996), GPS ölçümlerine dayanan çalışmada Eskişehir Fay Zonunun yıllık ortalama kayma hızını belirlemişlerdir.

Altunel ve Barka, (1998); Eskişehir Fay Zonunun BKB-DGD doğrultulu olduğunu, batıda Bursa Uludağ'dan başlayarak Sivrihisar Kaymaza kadar geldiğini belirtmişlerdir. Eskişehir Fay Zonunun sağ yanal doğrultu atımlı ve normal bileşenli bir fay zonu olarak belirtmişlerdir. Eskişehir Fay Zonunun Eskişehir yerleşim yeri civarında D-B ile KB-GD değişkenlik gösterdiğini belirtmişlerdir. 20 Şubat 1956 da M: 6,4 büyüklüğünde Eskişehir'de meydana gelen depremin Oklubal-Turgutlar arasında uzanan BKB-DGD doğrultulu segmentinde meydana geldiğini belirtmişlerdir. Eskişehir Fay Zonunu oluşturan farklı segmentlerin İnönü ve Eskişehir havzalarının oluşumunda etkili olduklarını belirtmişlerdir.

Koyuncu, (2001); Eskişehir Yerleşim Yeri merkezini kapsayan ve Coğrafi Bilgi Sistemlerini kullanarak mühendislik jeolojisi haritalarını hazırlamıştır.

Özmen (2001), Kastamonu ilinin depremselliğini, deprem tehlikesini incelemiş ve deterministik yöntem kullanarak Kastamonu ilinin eş-şiddet ve eş ivme dağılım haritalarını hazırlamıştır.

Ayday vd., (2001); Eskişehir Yerleşim Yeri Mühendislik Jeolojisi Haritalarını hazırlamış ve Eskişehir yerleşim yerinin zeminine ait mühendislik parametrelerini Coğrafi Bilgi Sistemleri kullanarak belirlemişlerdir.

Genç (2004), Eskişehir yerleşim yeri için farklı zemin sınıflarında %10 aşılma olasılığı için, 50 ve 100 yıllık süreler için en büyük yer ivmelerini içeren olasılığa bağlı tehlike haritalarını oluşturmuş ve kullandığı Abrahamson ve Silva, (1997); Boore vd., (1997), Ambraseys vd., (1996), Gülkan ve Kalkan, (2002) azalım ilişkilerinden Boore vd., 1997 azalım ilişkisinden elde edilen en büyük yatay yer ivme değerlerinin Eskişehir yerleşim yeri için uygulanabilir olduğunu belirlemiştir.

Sezer (2004), çeşitli deprem kataloglarını kullanarak İzmir yöresinin depremselliği ve deprem etkinliğini incelemiştir. Çalışmada, 1900-2000 yılları arasında İzmir yöresinde meydana gelen 4 büyüklüğüne eşit ve büyük depremlerin standart sapma analizi ve Gumbel-Gutenberg-Richter yöntemlerini uygulayarak İstanbul ve Muğla sismotektonik yöreleri ile karşılaştırarak İzmir yöresinin deprem riskini ortaya koymuştur. İzmir deprem yöresinde maksimum büyüklük M: 4,9 ve yıllık ortalama riski ise %63 olarak hesaplamıştır.

Beliceli vd., (2005), Balıkesir'in depremselliğini incelemişler ve Yenice-Gönen Fayı üzerinde M: 7,2 moment büyüklüğünde meydana gelebileceğini ve bu depremin oluşturacağı ivme değerlerini belirlemişlerdir. Balıkesir ilinde ana kaya seviyesinde oluşabilecek en büyük yatay yer ivmesi değerlerini hesaplamışlardır.

Deniz ve Yüçemen (2005), stokastik yöntemler kullanılarak Antalya yöresinin deprem tehlikesini belirlemeye çalışmışlardır. Yaptıkları çalışma kapsamında yörenin 250 km yakınlığında son yüzyıl içinde meydana gelen depremleri kullanarak, yeniledikleri sismik zonları kullanmışlardır. Çalışma kapsamında 475 yıllık tekrarlanma süresi için en büyük yer ivmesi değerlerini hesaplamışlardır.

Ocakoğlu vd., (2005a); Eskişehir Fay Zonuna ait segmentlerinde hendek çalışmalarında ihtiyaç duyulan güncel sedimantasyonun bulunmadığını belirtmişlerdir. Yapmış oldukları çalışmaları dört fay segmenti için ve toplam yedi lokasyonda yürüttüklerini belirtmişler ve genellikle beş metreden derin kazılarda hiçbir paleosismolojik olaya rastlamamışlardır. Eskişehir Fay Zonu üzerinde yapılan farklı

hendek çalışmalarında bazı yerlerde kalın kalüvyonları örten kalın toprak profilini paleosismik olayların kesitiğini gözlemlendiğini, Eskişehir Fay Zonunun İnönü segmentinde gözlemlenmiş bir olayın derinlerde gerçekleştiğini belirtmişlerdir. Segmentler üzerindeki bu gözlemlerin ile segmentlerde meydana gelebilecek depremlerin geniş tekrarlanma periyotlarına sahip olmasına ve segmentlerde meydana gelen kısmen yüksek sedimantasyon oranları ile ilişkili olduğunu belirtmişlerdir.

Ocakoğlu vd., (2005b); Eskişehir Fay Zonunun, Eskişehir havzasını kuzey ve güneyden sınırladığını ve 20 km genişliğe sahip iki kuşak halinde BKB-DGD doğrultulu uzandığını güney kuşağın kuzey kuşağına göre daha parçalı olduğunu belirtmişlerdir.

Açıkalin ve Ocakoğlu (2005); Eskişehir’de 20 Şubat 1956 yılında meydana gelen depremin ana ve artçı şoklarına ait deprem konumlarını, Kandilli, USGS ve Deprem Araştırma Enstitüsü verilerine göre incelemişler ve Kandilli verilerine ait konumların Eskişehir grabeni içerisine düşmesinden dolayı daha gerçekçi sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir. Bu kayıtlara göre yapılan analizlerde bu depreme ait ve artçı şoklara ait verilerin deprem üsleri Eskişehir yerleşim yerinin 10 km kadar kuzeyinde kümелendiğini ve bu veriler ışığında 20 Şubat 1956 Eskişehir depreminin Eskişehir havzasının kuzeyinde bulunan Kavacık segmenti üzerinde meydana geldiğini belirtmişlerdir.

Dirik vd., (2005); Eskişehir Fay Zonunun tek bir fay zonundan meydana gelmediğini, farklı uzunluklarda ve konumları hemen hemen birbirine paralel üç fay zonundan oluştuğunu, Eskişehir yerleşim yerinin kuzey batısından Tuzgölünün güneyindeki Sultanhanına kadar uzandığını belirtmişler ve Eskişehir Fay Zonuna ait faylar ve çevresinde deprem büyüklüğü 4,0 ve 6,0 arasında depremler meydana geldiğini ve meydana gelen depremlerin episantr dağılımlarını bağlı olarak bu fay sisteminin aktif olduğunu belirtmişlerdir.

Orhan, (2005); Eskişehir il merkezine bağlı Odunpazarı ilçesinin geniş bir bölümünde jeolojik çalışmalar, arazi gözlemleri ve laboratuvar çalışmaları yaparak çalışma alanı zemininin jeo-mühendislik özelliklerini belirlemiş ve bu veriler çerçevesinde Coğrafi Bilgi Sistemleri kullanarak bir imar planı modellemiştir. Çalışma kapsamında belirlediği farklı jeo-mühendislik özelliklerini birbirleri ile ilişkilendirmiş, yorumlamalar yapmıştır.

Tokay ve Altunel, (2005); Eskişehir fay zonunun Batı Anadolu genişleme bölgesinin kuzey-kuzeydoğu sınırını oluşturduğunu ve batıda İnegöl ve doğuda Tuz Gölü arasında yer aldığını belirtmişlerdir. Eskişehir fay zonunda yirminci yüzyılda 4,0 ve

4,0'dan büyük birçok deprem meydana geldiğini ve meydana gelen bu depremlerden 20 Şubat 1956 tarihinde M: 6,4 büyüklüğündeki Eskişehir (Çukurhisar) depremi olduğunu belirtmişlerdir. GPS ölçümleri ve morfolojik özellikleri incelendiğinde aktif halen aktif olduğu bilinen Eskişehir Fay Zonu içerisinde yer alan İnönü-Dodurga segmentinde tarihsel ve aletsel kayıtlar incelendiğinde önemli bir depreme rastlanmadığını belirtmişlerdir. İnönü-Dodurga segmentinin sağ yönlü doğrultu atım bileşenli oblik fay olduğunu ve yaklaşık BKB-DGD ve D-B doğrultulu olduğunu ve morfolojide keskin bir çizgisellikle gözlemlendiğini belirtmişlerdir.

Şaroğlu vd., (2005); Eskişehir Fay Zonunun Bursa Tahtaköprü ile Eskişehir Sivrihisar arasında yaklaşık 150 km uzunluğunda sağ yönlü doğrultu atımlı aktif bir fay zonu olduğunu belirtmişlerdir. Eskişehir Fay Zonunun batı ucunun Bursa bendine birleştiğini doğu ucunda ise Tuz Gölü fayı ile bağlantılı olduğunu ve bu fay zonunun Anadolu açılmalı tektonik rejiminin Anadolu Levhasındaki doğu sınırını oluşturduğunu belirtmişlerdir. 20 Şubat 1956 yılında meydana gelen depremin İnönü segmentinden kaynaklandığını ayrıca segmentler üzerinde eski depremlerin tekrarlanma sıklığını ortaya koyabilecek paleosismolojik bulguların mevcut olmadığını, kayma hızı ve jeomorfolojik ölçütler dikkate alınarak fay zonundaki segmentlerde deprem dönüş periyotlarının geniş aralıklı olduğunu belirtmişlerdir.

Deniz (2006), deprem sigorta primlerinin gerçekçi tahminlerini elde etmek için önceden bilinen bir modelin geliştirilmesi için istatistiksel yöntemleri kullanmıştır. Yaptığı bu model, gelecekteki deprem tehlikesi hakkındaki bilgi ile binalarda beklenen deprem hasarı hakkındaki bilgiyi birleştirmeye çalışmışlardır.

Ocakoğlu, (2007); Eskişehir Fay Zonunun Anadolu Levhasının en önemli yapılarından biri olduğunu, bu zonun Bozüyük ile Alpu arasında, 15 km genişliğinde 100 km uzunluğunda olduğunu ve uzunlukları 5-25 km arasında olan 21 fay segmentinden oluştuğunu belirtmiş, Eskişehir yerleşim yerinin güneyinde bulunan fayların kuzeye doğru Eskişehir yerleşim yeri güneyinde bulunan fayların ise kuzeye doğru eğimli olduklarını belirtmiştir. Çalışma kapsamında incelenen fayların genel olarak eğim atımlı normal faylar olduğunu, daha batıda bulunan fayların sağ yönlü bileşeninin de olduğunu belirtmiştir.

Orhan vd., (2007); Eskişehir yerleşim yerinin 1956 yılında 5 büyüklüğünden büyük bir çok deprem meydana geldiğini ve bu depremlere ilaveten M<sub>s</sub>6.4 büyüklüğünde bir depremin meydana geldiğini ve çalışma kapsamında 100 yıllık bir dönemde büyüklüğü

$M_s$ : 4,0 ve üzeri olan depremler kullanılarak Eskişehir yerleşim yeri için STA yapılmış ve maksimum pik ivme (PGA) değerinin kaya zeminde 50 yıl içerisinde %10 aşılma olasılığı için 0.4 g olduğunu belirtmişlerdir.

Ayday (2008), Eskişehir yerleşim yeri için Deterministik ve Probabilistik Sismik Tehlike analizi yöntemlerini kullanarak STA'ni yapmıştır. Çalışma sonucunda Eskişehir için yapılacak tasarımların emniyetli olması bakımından, en büyük yatay yer ivmesi değerinin 0.4 g alınması gerektiğini önermektedir.

Gündoğdu, (2009); Eskişehir Fayını KB'da Bursa ile GD'da Sivrihisar arasında uzanan 150 km uzunluğuna sahip bir fay zone olarak belirtmiştir. Eskişehir fayında iki farklı tektonik sürecin gerçekleştiğini ve bu süreçlerin Kuvaternerde gerçekleştiğini belirtmiştir. Birinci eski sürecin transpresiyonel, yeni sürecin ise transtansiyonel olduğu ve bu iki süreçteki değişimlerin, Anadolu levhası ile sınırlı olan Arap-Afrika levha sınırlarındaki farklı etkileşimler sonucu kaynaklandığını belirtmiştir. Bu iki süreç arasında gerçekleşen değişimin Doğu Anadolu'da Arap-Anadolu levhalarının çarpışması, Ege'de Afrika levhasının Anadolu levhasını kendine çekmesi, Afrika levhasının Kıbrıs ve Helen yitim bölgeleri sınırları boyunca kopması ve Anadolu levhasının BGB olan rotasyonu ile ilişkili olduğunu belirtmiştir.

Kartal (2010), olasılık ve istatistiksel yöntemler kullanarak Amasya ilinin sismik tehlikesini tahmin etmeye çalışmıştır. Çalışma kapsamında deprem büyüklüğü 4,0'dan büyük ve eşit depremler kullanarak sismik tehlike eğrileri ve eş ivme haritaları elde etmiştir. Yapılan bütün hesaplamalar sonucunda Taşova ilçesi sismik tehlikesi en fazla olan yerleşim yeri, Hamamözü ilçesi ise sismik tehlike bakımından en az tehlikeli yerleşim yeri olarak belirlemiştir.

Erturaç ve Tüysüz (2010), Amasya ve çevresinin deprem tehlikesini belirlemek amacıyla aktif fayların uzanımları ve özelliklerini, aletsel dönem içerisinde gerçekleşen depremleri derlemişler, GPS verileri kullanarak bölgede biriken yıllık atımı değerlerini kullanmışlardır. Fay segmentlerinin uzunlukları ve olası büyüklükleri hesaplamışlar ve sonuç olarak elde ettikleri tüm veriler ile her bir fay segmenti üzerinde deprem seneryoları kurgulanmış ve CBS ortamında ivme azalım ilişkileri kullanılarak bu depremlerin şiddet dağılımını hesaplamışlardır.

Tün vd., (2010); sismik yansıma yöntemi ile Eskişehir Vadisi çökeklerinden geçen KB-GD doğrultulu, sağ yönlü doğrultu atımlı bir fayın varlığını belirlemişler ve bu fayın Sarısu Çayı eski yatağından geçtiğini ve yapılan analizler sonucunda bu fayın 150 yılda

bir M6.4 büyüklüğünde bir deprem yaratabilecek potansiyele sahip olduğunu belirtmişlerdir.

Kartal vd., (2011), Mersin ili için olasılık ve istatistik yöntemler kullanarak sismik tehlikesini araştırmışlar ve 250 km yarıçaplı bir çalışma alanı için belirledikleri zaman diliminde meydana gelen depremleri kullanarak çalışma alanını etkileyebilecek en büyük yatay yer ivme değerini Tarsus ilçesinin kuzeydoğusunda 0.15 g olarak hesaplamışlardır.

Özmen (2011), Ankara ili için 50 yılda %40, %20, %10, %5 ve %2 aşılma olasılığına sahip yer ivmelerine göre deprem tehlike haritalarını hazırlamıştır.

Ulutaş, (2012), Van ili için olasılıksal yöntem kullanarak sismik tehlike analizini yapmış, kaya zeminler için uygun azalım ilişkileri kullanarak 50 yıl için %2, %10 ve %50 aşılma olasılıkları için olasılıksal sismik tehlike analizi eğrilerini elde etmiştir. Olasılıksal sismik tehlike analizi sonucunda kaya zeminler için maksimum ivme değerlerini %50 aşılma olasılığı ile 50 yıl için 0.47 g, %10 aşılma olasılığı ile 50 yıl için 1.09 g ve %2 aşılma olasılığı ile 50 yıl için 1.91 g olarak bulmuştur.

Köker, (2013), Siirt ilinin maksimum magnitüd, aşılma olasılığı, dönüş periyodu, pik zemin ivme değerlerini ve azalım ilişkilerini araştırmıştır.

Özmen, (2013), Ankara kent merkezini 50, 100 ve 150 metre çevreleyecek şekilde çizilen ve sismotektonik bölge olarak kabul edilen yerlerde meydana gelmiş  $M \geq 4.0$  olan deprem verilerinden yararlanarak her bölge için Gutenberg-Richter büyüklük-sıklık eşitliğindeki a ve b parametrelerini hesaplamış, bu parametrelerden yararlanarak ve Poisson yöntemine göre farklı deprem büyüklüklerine ait meydana gelme olasılıklarını ve dönüş periyotlarını belirlemiştir.

Kazmacı, (2014), Isparta merkezinde yapılması planlanan Isparta Bölge Hastanesinin, depremlere maruz kalması sonucu oluşacak sismik tehlikenin ortaya konmasını amaçlamış ve bu amaç kapsamında deterministik ve olasılıksal sismik tehlike analizi hesaplamalarını yapmıştır.

Harman, (2015), Sakarya ilini etkileyen en güncel aktif deprem kaynakları etkisinde, 50 yılda %10 ve %2 aşılma olasılıklarına karşılık gelen pik yer ivmesi değerlerini hesaplamıştır.

Seyitoğlu vd., (2015), Eskişehir Fay Zonu Türkiye'nin önemli neotektonik yapılarından biridir olduğunu ve İnegöl'den (Bursa), Cihanbeyli'ye (Konya) kadar uzandığını belirtmişlerdir. Eskişehir Fay Zonunun sağ yönlü doğrultu atımlı ve K60B doğrultulu olduğunu belirtmişler ve çalışma sonucunda elde ettikleri verilerden

Çukurhisar-Sultandere segmentinin yaklaşık 40 km uzunluğunda bir fay olduğunu belirtmişlerdir.

Karaca, (2016), merkezi Eskişehir olan 300 km yarıçaplı daire alan içerisinde kalan güncel tektonik ve depremsellik verileri ile alan içerisindeki fay hatları ve ilgili parametreleri, sismik aktivite kayıtlarını ve alan kaynakları kullanarak Olasılıksal Sismik Tehlike Analizi çalışması yapmıştır. Yapılan çalışmada tüm güncel verileri kullanarak mevcut (DBYBHE, 2007) deprem bölgesi haritası ve ivme eğrileri ile karşılaştırmış ve yaptığı çalışmadan elde ettiği sismik tehlike haritasının daha detaylı olduğunu belirtmiştir.



### 3. ÇALIŞMA ALANI VE ÖZELLİKLERİ

Çalışma alanı Eskişehir il sınırlarını içermektedir (Şekil. 3.1). Eskişehir yerleşim yeri tarihte oldukça eski bir yerleşim merkezidir, ilk yerleşim merkezi günümüzdeki şehir merkezinin 6 km. kuzeyinde bulunan Dorylaion'dur ve tarihinin çok eskilere dayanmasından dolayı Eskişehir adını almıştır (http-1).



Şekil 3.1. Çalışma Alanı Sınırları

Tarih boyunca birçok uygarlığın önemli yerleşim merkezlerinden biri olan Eskişehir günümüzde gelişmiş sanayisi ile ekonomiye önemli katkılarda bulunmaktadır. Eskişehir'de bulunan Anadolu Üniversitesi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi ve Eskişehir Teknik Üniversitesi ile ülkemizin için gerekli olan nitelikli nüfusa oldukça önemli katkılar sağlamaktadır. Adrese bağlı nüfus kayıt sistemine göre 2017 yılında Eskişehir nüfusu 860.020'dir (http-2). Gerek eğitim öğretim düzeyindeki kalitesi ile gerek gelişmiş sanayisi ile Eskişehir her geçen gün dışarıdan göç almaktadır.

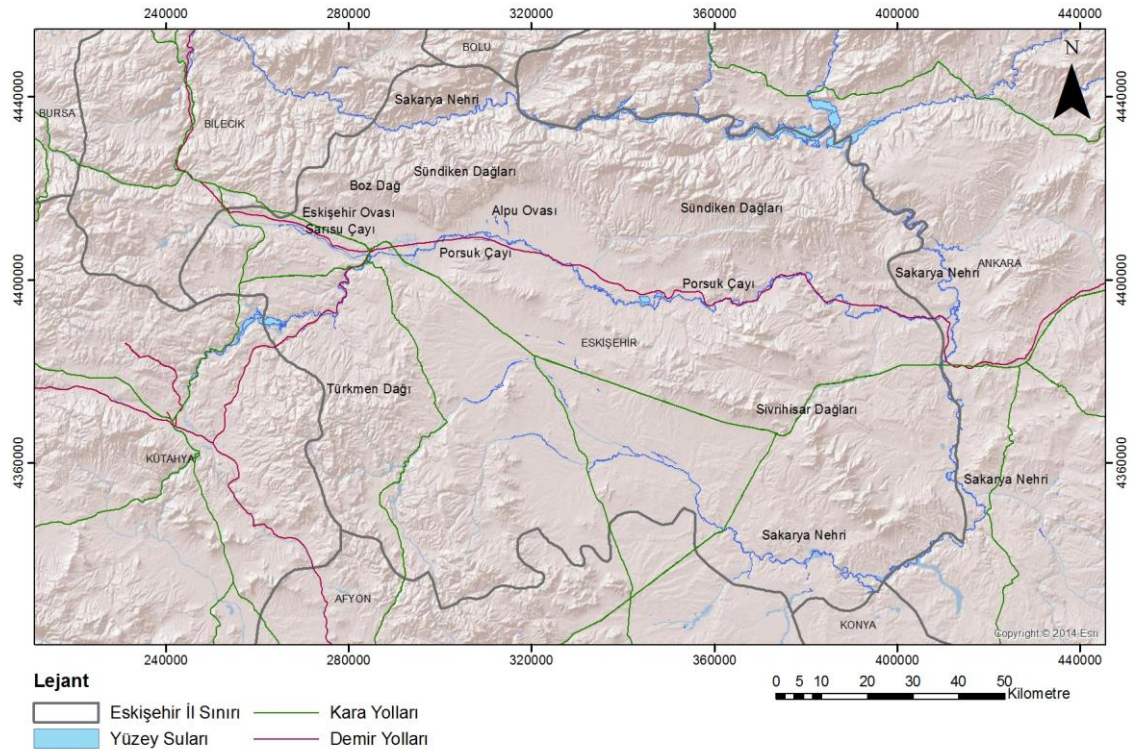
### 3.1.Coğrafik Konum

Eskişehir yerleşim yeri ulaşım bakımından kilit bir konuma sahiptir. Doğu-Batı doğrultulu uzanan Ankara-Eskişehir-Bozüyük karayolu, Bozüyük'ten sonra Bursa ve İstanbul'a ayrılan karayolu Eskişehir yerleşim yeri merkezinden geçmektedir (Şekil 3.2). Ankara-Polatlı-Beylikahır-Alpu-Eskişehir yerleşim yerlerinden geçen demiryolu Eskişehir'de ikiye ayrılarak İstanbul ve İzmir'e kadar uzanır (Gözler vd., 1996).

Eskişehir yerleşim yeri, güneyde Afyonkarahisar'ın Emirdağ ve İhsaniye; güneydoğuda Konya'nın Yunak; doğuda Ankara'nın Polatlı, Nallıhan ve Beypazarı; kuzeybatıda Bolu'nun Göynük; batıda Bilecik'in Gölpazarı, Söğüt, Bozüyük ilçeleri ve Kütahya'ya sınır komşusu konumdadır (Şekil 3.2). Eskişehir yerleşim yeri İç Anadolu Bölgesi'nin kuzey batısında yer almakta ve kuzeyde Karadeniz, kuzeybatıda Marmara, batı ve güneybatıda ise Ege Bölgeleri ile komşu sınırlara sahiptir. Seyitgazi ilçesinin küçük bir bölümü ile Sarıcakaya İlçesinin tamamının Karadeniz Bölgesinde yer almasına rağmen Eskişehir yerleşim yerinin coğrafi özelliklerini İç Anadolu Bölgesi'nden almaktadır. (Güder, 2010).

Eskişehir yerleşim yerinin yaklaşık olarak %22'si dağlardan, %26'sı ise ovalardan oluşmaktadır ve topografik yapısına bakıldığında (Şekil 3.2) Sakarya ile Porsuk havzalarındaki düzlükler ile bunları çevreleyen dağlardan oluşmaktadır. Eskişehir Havzası düzlüklerini kuzeyde Bozdağ-Sündiken Sıradağları, batı ve güneyden ise Türkmen Dağı, Yazılıkaya Yaylası ve Emirdağ çevreler. Eskişehir yerleşim yeri kuzeyinde Batı-Doğu doğrultulu Bozdağ ve Sündiken Dağları yer alır, güneydoğusunda ise Güneydoğu-Kuzeybatı doğrultulu Sivrihisar Dağları yer almaktadır (Güder, 2010).

Sakarya Irmağı ve bu ırmağın bir kolu olan Porsuk Çayı en önemli akarsulardır. Sakarya Irmağı Çifteler civarında doğu-batı doğrultulu akar ve kuzeye doğru kıvrımlanır yaklaşık olarak Ankara-Eskişehir il sınırı boyunca ilerledikten sonra Doğu-Batı doğrultulu ilerler ve Sakarya Vadisinden geçerek Bilecik il sınırına giriş yapar (Şekil 3.2). Eskişehir yerleşim yerini yaklaşık olarak tam ortadan bölen Porsuk Çayı Batı-Doğu doğrultulu ilerler ve Eskişehir il sınırını geçtikten sonra Polatlı yakınlarında Sakarya Irmağına karışır. Sarısu Çayı ise İnönü Ovasında ilerleyerek Eskişehir yerleşim yerinde Porsuk Çayı ile birleşir (Gözler vd., 1996).



Şekil 3.2. Sakarya Nehri, Porsuk Çayı Sarısu Çayı

### 3.2. İklim ve Bitki Örtüsü

Eskişehir yerleşim yeri ve çevresinin coğrafi konumu nedeni ile İç Anadolu karasal iklimi hakimdir. Genel olarak yazları sıcak ve kurak, kışları soğuk, sert, uzun ve yağışlı geçmektedir (Orhan, 2005). Eskişehir yerleşim yeri ve çevresinde T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü kayıtlarına göre, 1927-2017 yılları arasında yıllık ortalama yağış miktarı 366.0 mm, yıllık ortalama yağışlı gün sayısı 83 gündür ve yıllık ortalama sıcaklık değeri ise 10.9 C°'dir (http-3).

Eskişehir yerleşim yeri ve çevresi kuzeyde Karadeniz, kuzeybatıda Marmara, batı ve güney batıda Ege Bölgesin ile komşudur. Coğrafi özellikleri, iklim özellikleri ve bitki örtüsü özellikleri ile Karadeniz, Marmara, Ege ve İç Anadolu bölgelerinin özellikleri gözlemlenmektedir. Kuzey bölgeler Karadeniz ve Marmara bölgelerinin iklim özellikleri, Eskişehir yerleşim yeri ise İç Anadolu karasal iklimi özellikleri hakimdir (Orhan, 2005).

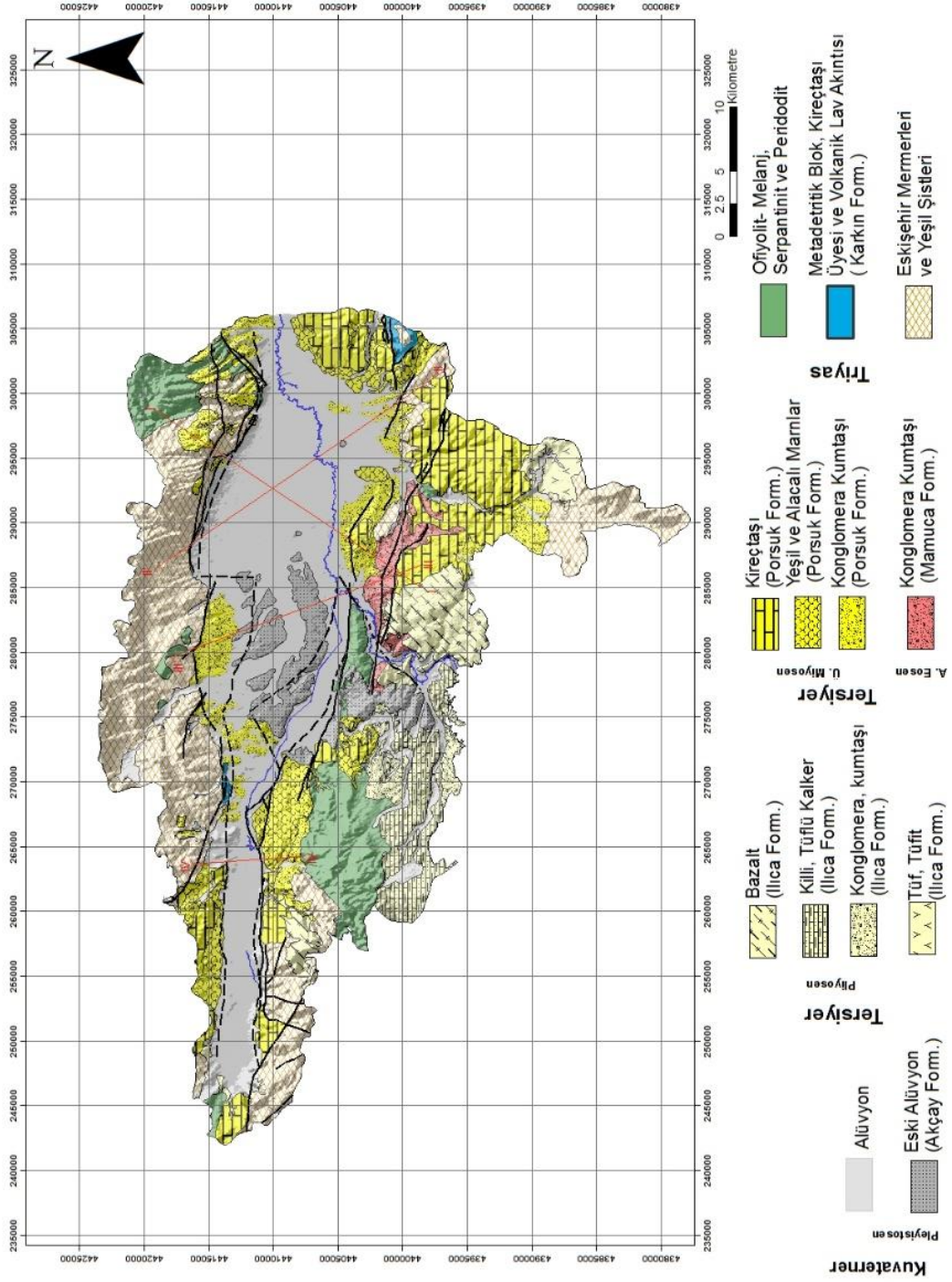
Eskişehir yerleşim yeri ve çevresinde 58 familyaya ve 268 cinse ait 531 adet bitki grubu gözlemlenmektedir. Gözlemlenen bu bitki gruplarının yaklaşık %10.31'i ise Eskişehir yerleşim yeri ve çevresine özgü bitkilerdir (Orhan, 2005).

### 3.3.Bölgenin Jeolojisi

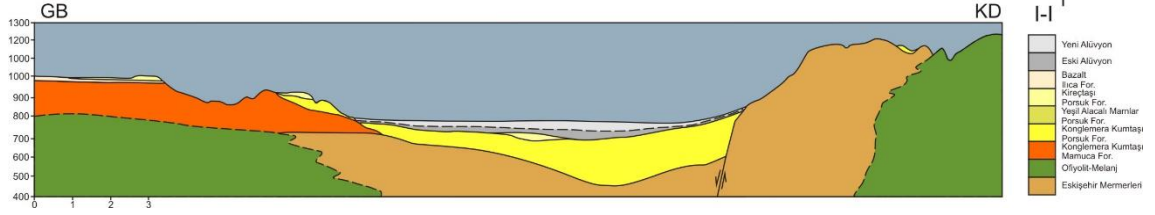
Eskişehir yerleşim yeri ve çevresinde gözlemlenen jeolojik birimlerin yaşları Triyas ve Kuvaterner arasında değişmektedir (Şekil 3.3). Bölgeye ait en yaşlı birimler triyas yaşlı olan metamorfik, metadentritik, ofiyolit ve mermerlerdir. Triyas yaşlı birimlerden daha genç birimler Jura, Kratese, Eosen, Miyosen ve Pliyosen yaşlı tortul çökeller ve volkanik kayalardan oluşan jeolojik birimlerdir. Bölgenin en genç birimleri Tortul çökeller ve volkanik kayalardan oluşan birimlerden daha genç olan Kuvaterner yaşlı eski alüvyon ve yeni alüvyon birimleridir (Gözler vd., 1985, 1996).

Eskişehir ve çevresinin jeoloji haritası (Güney vd., 2014) incelendiğinde Karkın Formasyonu, Mamuca Formasyonu, Porsuk Formasyonu, Ilıca Formasyonu ve Akçay Formasyonlarından oluşmaktadır (Şekil 3.3, Şekil 3.4). Harita üzerinde alınan kesitler (Şekil 3.5, Şekil 3.6, Şekil 3.7, ve Şekil 3.8) verilmektedir (Güney vd., 2014).

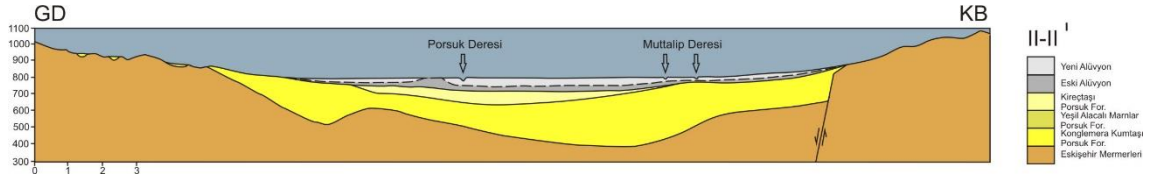




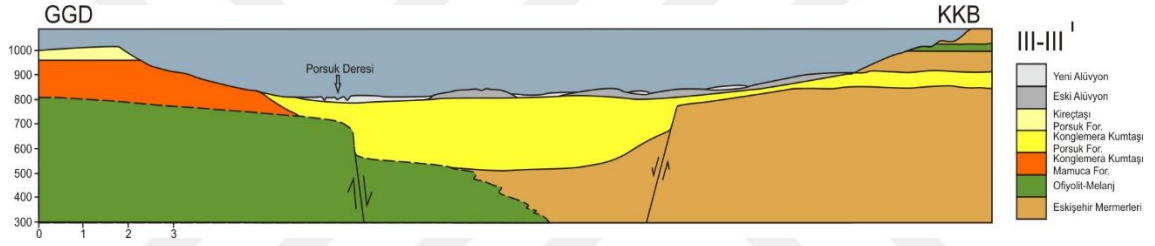
Şekil 3.4. Eskişehir Yerleşim Yeri ve Çevresinin Jeolojisi Haritası (DSİ, 1976, MTA jeoloji haritalarından güncellenmiştir, Güney vd., 2014)



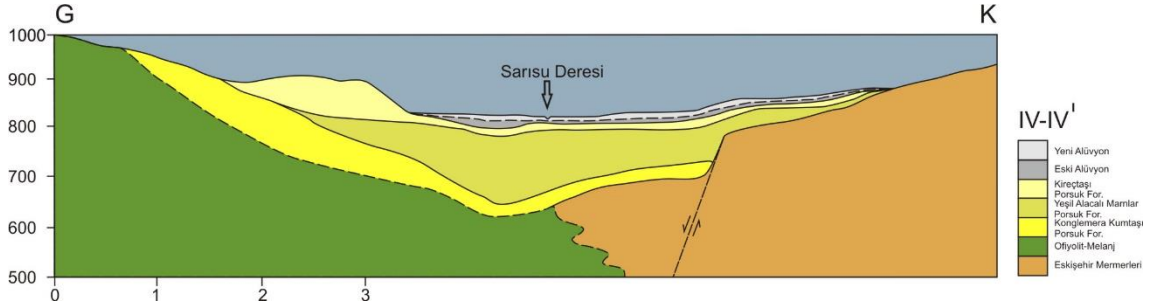
Şekil 3.5. I-I' - GB-KD kesiti (DSİ, 1976'dan geliştirilmiştir, Güney vd., 2014)



Şekil 3.6. II-II' - GD-KB kesiti (DSİ, 1976'dan geliştirilmiştir, Güney vd., 2014)



Şekil 3.7. III-III' - GGD-KKB kesiti (DSİ, 1976'dan geliştirilmiştir, Güney vd., 2014)



Şekil 3.8. IV-IV' - GGD-KKB kesiti (DSİ, 1976'dan geliştirilmiştir, Güney vd., 2014)

Eskişehir yerleşim yeri ve çevresinde bulunan formasyonların genel özellikleri aşağıdaki gibidir;

Karkın Formasyonu gri, açık gri, siyah, yeşil ve yeşil tonlarında olan metakonglomera, metakumtaşı ve fillitlerden meydana gelmiş kireçtaşları, yer yer kristalize kireçtaşı blokları içeren metadetritikler, yeşil, açık yeşil, morumsu pembe renk

tonlarında spilit, diyabaz, bazalt ve bu birimlerin metamorfizmaya uğramış halleri ile yarı kristalize-kristalize kireçtaşlarından oluşmaktadır (Gözler vd., 1996).

Mamuca Formasyonu, mor, kırmızımsı, şarabi renkli konglomera, kumtaşı birimleri ile başlar ve bu birim üzerinde, yeşil renkli killer çökelmiş ve bu birimlerin üst kısımlarında ise sarımsı renklere sahip kil katkılı kumlu kireçtaşları gözlemlenmektedir (Gözler vd., 1996).

Konglomera ve kumtaşları kırmızı, mor, şarabi, sarımsı boz, gri ve açık renkli gri renk tonlarına sahiptir. Kırmızı ve mor renk tonlarına sahip olan bu birim üzerine kendisinden yaşlı çakıl boyutundan, blok boyutuna kadar değişkenlik gösteren konglomera yer almaktadır. Konglomera biriminin içerdiği çakıllar şist, mermer, radyolarit, çört, gabro, diyabaz, serpantinit, granodiyorit ve kireçtaşlarından oluşmaktadır. Farklı özelliklere sahip bu konglomeralar, kumtaşı olan birim ile aralanmalı olarak gözlemlenmektedir. Konglomera ve kumtaşları genel olarak Mamuca Köyü ve Karacaşehir Köyü arasında en belirgin olarak gözlemlenmektedir. Konglomera biriminin çimentosu kırmızı renkli karbonat ve demiroksit içermektedir. Mamuca Formasyonunda bulunan kil-marn çoğunlukla yeşil renkli ve sarı renkli olup alacalı renklere sahiptir. Çok ince katmanlar halinde gözlemlenen kil ve marn biriminin alt seviyelerde kırmızı ve mora yakın renklere sahiptir ve üst seviyelerinde yeşil renkli tonlarda gözlemlenmekte ve en üst kısımları ise sarı renklerde gözlemlenmektedir. Marn biriminde sarı, sarımsı boz renk tonlarına sahip kireçtaşı bantları kuvarsit, mermer, ofiyolit, radyolarit ve granodiyarit çakılları içermektedir. Mamuca Formasyonun da yer yer mercekler halinde kireçtaşları da gözlemlenmektedir (Gözler vd., 1996).

Porsuk Formasyonunu Porsuk çayı ve çevresinde çökelen konglomera, kumtaşı, bazalt akıntıları, tuf, tüfit, marn, kil, jipsli marn ve kil, jips, kireçtaşı ve gölsel çökellerden oluşmaktadır (Gözler vd., 1996).

Porsuk Formasyonuna ait Konglomera ve Kumtaşları koyu tonlarda olan kırmızımsı kahverengi, boz, sarımsı boz, gri, yeşilimsi gri renklerde gözlemlenmektedir. Eskişehir Havzası kenarında meydana gelen volkanizma sonucu oluşan tuf-tüfitler beyaz, alacalı, pembemsi ve koyu kırmızı renklerde ince proklastik malzemelerden oluşmuştur ve sedimantasyonun olduğu bölgelerde marn ve kil arakatlı tuf tüfit olarak gözlemlenmektedir. Yeşil, sarı, boz ve alacalı renklerde gözlemlenen marn ve killer içeriklerinde jips bulundurmazlar ve Eskişehir Havzasının en derin bölümlerinde gözlemlenirler. Marn ve killer arasında yer yer ince bantlar halinde kireçtaşları

gözlemlenmektedir. Yeşil, alacalı, sarı renklerde gözlemlenen jipsli marn ve killeri içerdikleri birkaç santimetrelilik jips seviyeleri ile marn ve killerden ayıran en önemli özellik içerdikleri jipstir. Porsuk Formasyonunda kırmızı renkleri ile jipsli çamurtaşı birimi diğer birimlerden kolaylıkla ayrılır ve jipsli mineraller içeren bu birim ince ve büyük kristaller halinde gözlemlenmektedir. Porsuk Formasyonuna ait kireçtaşları beyaz, gri ve sarımsı renk tonlarındadır ve havzanın batısında yer yer silis bantları içeren kireçtaşları, havzanın doğusunda ise poroziteli killi ve tüflü bir yapıya sahiptir. Porsuk Formasyonuna ait bazaltlar ise marn ve killeri arasında akıntı yapıları halinde gözlemlenen volkanitlerdir (Gözler vd., 1996).

Ilıca Formasyonu genel olarak karasal ve gölgesel konglomeralar ile kumtaşlarından; aglomeralardan, tuf ve tüfitlerden; marn ve killerden; killi, kumlu, tüflü kireçtaşlarından oluşan karasal ve gölgesel çökellerden ve andezitik, bazaltik volkanizmayla kesilen birimlerden oluşmaktadır. Konglomera ve kumtaşları yeşil, gri, alacalı kremit renklerinde ve ani birikim sonucu oluşmuştur. Marn ve killeri genel olarak yeşil, kirli beyaz, kremit kırmızı renklerde gözlemlenmektedir. Killi, kumlu, tüflü kireçtaşları beyaz, sarımsı boz renk tonlarında gözlemlenmektedir. Siyah, koyu gri ve yeşilimsi renklerde gözlemlenen aglomeralar iri ve orta boyda volkanit kayaç parçalarından ve proklastiklerden meydana gelmiştir. Tuf ve tüfitler beyaz sarımsı boz ve pembe renklerde gözlemlenmektedir ve silisifiye olmuş birimlerdir. Karasal ve gölgesel çökeller yüksek poroziteli beyaz, sarımsı boz renkli killi, kumlu ve tüflü kireçtaşlarından oluşmaktadır (Gözer vd., 1996).

Akçay Formasyonu'nda Kuvaterner öncesi litolojik birimlerin renklerine sahip olan ve farklı tane boyutlarından oluşan blok, çakıl ve kumlar, çamur ve şistler gözlemlenmektedir. Akçay Formasyonu Orta-Üst Miyosen çökelleri ve eski alüvyon olarak bilinen temel birimler üzerinde uyumsuz olarak bulunmakta ve yeni alüvyon birimi ile örtülmektedir (Tokay ve Altunel, 2005). Eskişehir ve çevresinin en genç birimi olan yeni alüvyon; Sarısu Çayı ve diğer akarsuların taşıyıp getirmiş olduğu ve genellikle birbirlerine tutturulmamış olan çakıl, kum, silt ve kil gibi birimlerden oluşmaktadır (Tokay ve Altunel, 2005).

### **3.4.Bölgenin Tektoniği ve Depremselliği**

Türkiye'nin bulunduğu Anadolu yarımadası, bulunduğu konumu itibarı ile yeryüzünde diri fayların oldukça sık ve yoğun görüldüğü ülkeler arasında yer alır. Anadolu yarımadası dünyada önemli deprem kuşaklarından biri olan Alp-Himalaya



Türkiye’de neotektonik sürecin başlamasıyla birlikte meydana gelen jeolojik süreçler sonucunda Türkiye’yi tektonik olarak Doğu Anadolu Sıkışma Bölgesi, Kuzey Anadolu Bölgesi, Orta Anadolu Ova Bölgesi ve Batı Anadolu (Ege) Açılma Bölgesi bulunmaktadır (Şengör vd., 1985; Özsayın, 2007). Doğu Anadolu Sıkışma Bölgesi genel doğrultusu K-G olan sıkışmalı rejimle temsil edilir; Kuzey Anadolu Fay Sistemi’nin kuzeyinde yer alan Kuzey Anadolu Bölgesi ters bileşene sahip doğrultu atımlı faylarla temsil edilir; genel doğrultusu D-B horst-graben sisteminin hakim olduğu Batı Anadolu (Ege) Açılma Bölgesi yaklaşık olarak KKB-GGD doğrultulu kıtasal açılma ile temsil edilir (Şengör vd., 1985; Özsayın, 2007). Anadolu yarımadasının ve bu üç tektonik bölgenin ortasında Orta Anadolu Ova Bölgesi bulunan geçiş zonu konumundadır (Dirik ve Göncüoğlu, 1996; Koçyiğit ve Beyhan, 1998; Dirik, 2001; Koçyiğit ve Erol, 2001; Dirik ve Erol, 2003; Koçyiğit ve Özacar, 2003; Koçyiğit, 2005; Özsayın, 2007).

Anadolu yarımadasının orta kesimlerinde yer alan Tuzgölü’nün doğusunda doğrultu atımlı fayların hakim olduğu sıkışmalı-genişlemeli tektonik rejim gözlemlenmektedir ve Tuzgölü’nün batısında bulunan Konya-Eskişehir bölgesi ve batı-güneybatı Anadolu da etkili olan genişlemeli tektonik rejimin devamı niteliğindedir (Dirik ve Erol, 2003; Özsayın, 2007). Konya-Eskişehir bölgesinin içerisinde yer alan en önemli yapı İnönü-Eskişehir Fay Sistemidir (Özsayın, 2007) ve bu sistemi ilk kez Dirik ve Erol (2003) Eskişehir-Sultanhanı Fay Sistemi ve Koçyiğit ve Özacar (2003) İnönü-Eskişehir Fay Zonu olarak tanımlanmıştır (Özsayın, 2007). İnönü-Eskişehir Fay Zonunun genel özelliklerinin belirli bir şekilde gözlemlenmekte olduğu İnönü ilçesi olması ve bu fay zonunun özelliklerinin batıdan doğuya doğru değişmesi ve birden fazla fay zonundan meydana gelmesi nedeniyle “İnönü-Eskişehir Fay Sistemi” olarak isimlendirilmiştir (Özsayın, 2007).

Gözler vd., 1996’ya göre Eskişehir ve çevresindeki faylar meydana gelme mekanizmaları bakımından üç farklı fay sistemi bulunmaktadır. Bu fay sistemleri;

Bindirme faylar, Triyas sonunda kıtasal kabuk üzerine ilerleyen jeosenklinal malzeme ile okyanus kabuğu malzemesinin tekrarlanması ile oluşan bindirme fayları D-B, KD-GB ve KB-GD doğrultulu olup genel olarak eğimleri de K-KB ve KD’ya doğrudur (Gözler vd., 1996).

Bindirme faylar özellikle Paleosen’de görülen ve güneye devrik kıvrımlı yapılar gösterir. Paleosen sonrası sıkışmalardan ve Miyosen sonrası oluşan düşey faylardan etkilenmiştir (Gözler vd., 1996).

Normal Faylar; Eskişehir ve çevresinde halen aktif olan bu faylar Eosen ve Pleyistosen sonrası oluşan faylardır. Normal Fayların eğimleri genel olarak D-B doğrultulu olup eğimleri ise K ve G’ye doğrudur. Normal Fay sistemi D-B yönünde gelişen sıkışmaların sonucunda K-G yönlü gerilmelere neden olması ile oluştuğu düşünülmektedir. Normal Faylar, Eskişehir Havzasının kuzeyinde ve güneyinde birkaç Normal Faydan oluşmaktadır. Eskişehir Havzasının güneyinde bulunan Normal Faylar mermerlerin ve ofiyolitik kayaçların yüzeylenmelerine neden olmuştur. Eskişehir Havzasının kuzeyinden geçen Normal Faylar ofiyolit ve metamorfik kayaçlar olduğu bölgelerde gözlemlenmektedir. (Gözler vd., 1996).

Doğrultu Atımlı Faylar; Eskişehir ve çevresinde bulunan metamorfik-ofiyolitik ve Jura yaşlı kayaçlarda Doğrultu Atımlı Fayların izlerine rastlanmaktadır. Sultandere ve Mamuca köylerindeki mermerlerde, Zenzemiye ve Yukarı Karacaören köylerindeki Jura yaşlı kireçtaşlarında doğrultu atımlı fayların izlerine rastlanmaktadır (Gözler vd., 1996).

Kaymaz ve Karakaya köyünün hemen kuzeyinden, özellikle granit-mermer dokanağından geçen sağ yönlü doğrultu atımlı fayın Eskişehir-Kaymaz-Tuz Gölü uzantısında devam ettiği söylenebilir (Gözler vd., 1996).

EFZ, doğrultu atım özelliği ile bilinen Kuzey Anadolu Fayı ile birçok normal faydan oluşan ve bu normal fayların temsil ettiği Ege açılma bölgesi arasında bir sınır oluşturmaktadır. Farklı araştırmacılar Anadolu yarımadasının Kuzey Anadolu Fay Zonu ve Doğu Anadolu Fay Zonu boyunca batıya doğru hareket ettiğini belirtmişlerdir ve bu görüş üzerinde yoğunlaşmışlardır (McKenzie, 1972, 1978; Dewey ve Şengör, 1979; Şengör, 1982; Şengör vd., 1985). Barka ve diğ., 1995 yaptıkları çalışmalarında mevcut GPS verileri ile Batı Anadolu’nun KD-GB doğrultulu Fethiye-Burdur Fay Zonu ve BKB-DGD doğrultulu EFZ’nu boyunca Orta Anadolu’dan ayrıldığını belirtmişler ve batı güney batıya hareketinin daha hızlı gerçekleştiğini belirtmişlerdir.

Şaroğlu vd., 1992 yılında tarafından hazırlanan Türkiye Diri Fay haritasında Batıda Bursa Uludağ’dan doğuda Sivrihisar Kaymaza kadar uzanan BKB-DGD doğrultulu İnönü-Dodurga fay zonu, Eskişehir Fay Zonu ve Kaymaz Fay Zonu olarak iki farklı zon olarak çizilmiş ve adlandırılmıştır (Altunel ve Barka., 1998). Şengör vd., 1985 ve Barka

vd., 1995 Bursa Uludağ ve Sivrihisar Kaymaz arasında yer alan fay zonunu Eskişehir Fay Zonu olarak adlandırmışlardır (Altunel ve Barka., 1998).

Eskişehir Fay Zonu Sultandere ile İnönü arasında hemen hemen aynı doğrultu ile uzanan farklı segmentlerden meydana gelmektedir ve bu fay zonunu BKB-DGD doğrultulu olup detaylı incelemeler sonucunda D-B ile KB-GD doğrultulu uzanmaktadır (Altunel ve Barka., 1998). Altunel ve Barka., (1998)'de yaptıkları çalışmalarında Eskişehir Fay Zonunun İnönü'nün batısında KB-GD doğrultulu, İnönü-Oklubalı arasında D-B doğrultulu, Oklubalı-Turgutlar-Eskişehir arasında BKB-DGD, Eskişehir yerleşim yerinin güneyinde yaklaşık olarak D-B ve Eskişehir-Sultandere arasında ise KB-GD doğrultulu uzandığını belirtmişlerdir.

Eskişehir Fay Zonunun Bozüyük-Alpu arasında BKB doğrultulu uzandığını ve yaklaşık 15 km genişliğinde birçok fay segmentinden oluşur (Ocakoğlu, 2007). Eskişehir Fay Zonunu oluşturan fayların genel olarak eğim atımlı normal fay olduğunu ve batıda sağ yönlü bileşeninde olduğunu belirtmiştir (Ocakoğlu, 2007).

Seyitoğlu vd., (2015)'e göre Eskişehir Fay Zonu Türkiye'nin önemli neotektonik yapılarından biridir ve İnegöl'den (Bursa) Cihanbeyli'ye (Konya) kadar uzanmaktadır. Yapmış oldukları saha çalışmalarından elde ettikleri verilere göre Eskişehir Fay Zonunun sağ yönlü doğrultu atımlı ve K60B doğrultulu olduğunu belirlemişlerdir. Yapılan sismik yansıma çalışmalarından elde ettikleri veriler pozitif çiçek yapıları göstermekte ve Çukurhisar-Sultandere segmenti hipotezlerini doğrulamaktadır. 1956, 1990, 2010 ve 2013 yıllarında meydana gelen depremlerin merkez üssü ve odak mekanizma çözümlerinin tekrar analiz edilerek konumlandırılması, Çukurhisar-Sultandere segmentinin 1956 yılında meydana gelen Eskişehir depreminin kırılma kaynağı olabileceği ve Eskişehir yerleşim yerini ciddi bir şekilde etkileyebilecek bir deprem meydana getirebilecek bir sismik kaynak olabilir (Seyitoğlu vd., 2015).

Farklı araştırmacılara göre Eskişehir yerleşim yeri ve çevresini etkileyebilecek faylar Şekil 3.10'da görülmektedir (Altunel ve Barka, 1998, Ocakoğlu, 2007 ve Seyitoğlu vd., 2015).



Eskişehir Yerleşim Yeri ve Çevresinde faylanmalara bağlı olarak birçok sıcak su kaynağı bulunmaktadır. Eskişehir yerleşim yeri merkezinde bulunan sıcak su kaynaklarının çıkış yaptığı kayaçlar genç birimlerden oluşmakta ve bu birimler genellikle kongolomera, kumtaşı, kilitaşı ve killi kireçtaşlarıdır (Gözler vd., 1985). Eskişehir yerleşim yeri çevresinde bulunan sıcak su kaynakları genellikle ofiyolitik kayaçların metamorfik kayaçlarla oluşturduğu bindirme zonlarında veya ofiyolitik kayaçların kendi içlerindeki kırık sistemlerinden çıkmaktadır. Eskişehir yerleşim yeri yakınlarındaki Kızılınler kaplıcaları en genç tektonik olaylarla gelişen faylanma ile yüzeylenmektedir. Alpu-Uyuzhamamı ılıcası ofiyolit-metamorfik kayaçların bindirme zonlarında yüzeylenmektedir. Hasırca ve Ilıca-Alpanos kaplıcaları ise Pliyosen sonrası gelişen genç tektonik olaylar sonrasında gelişen tektonik hatlardan yüzeylenmektedir (Gözler, 1996).

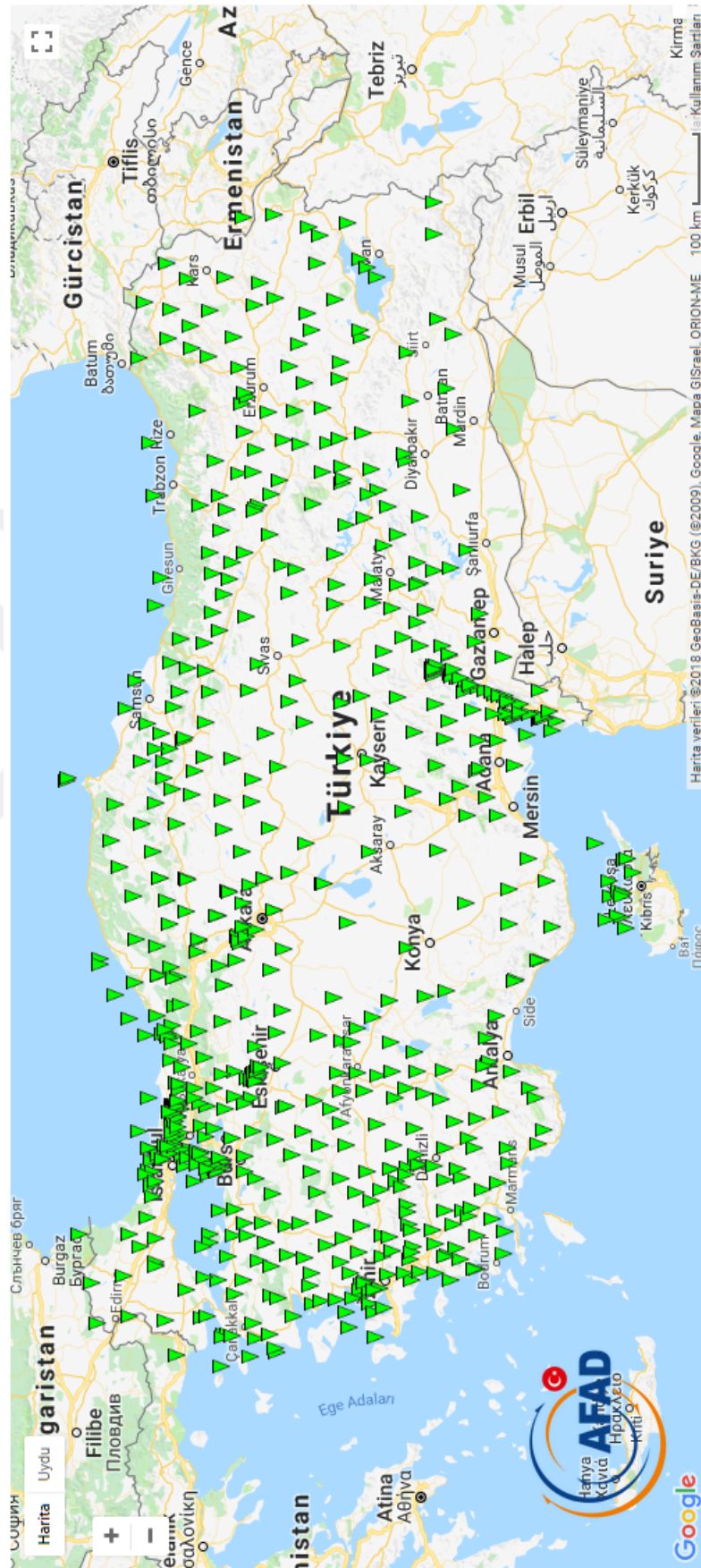
## 4. KURAMSAL TEMELLER

### 4.1. Deprem ve Deprem Parametreleri

Depremler meydana geldikten sonra açığa çıkan sismik dalgaların farklı zemin ve ortamlarda etkilerini, depremlerin büyüklüklerini, şiddetini ve süresini belirleyebilmek için sismograf denilen kayıt cihazları kullanılmaktadır. Deprem dalgaları sismograflara ulaştıklarında sismografta bulunan sarkaç düzeneği ile tambura sarılı olan kağıt üzerine kayıt edilmektedir. Günümüzde sismografların yerini deprem dalgalarının hareketini elektrik voltaja dönüştürerek deprem dalgalarını elektronik ortamda kayıt eden sismometreler kullanılmaktadır.

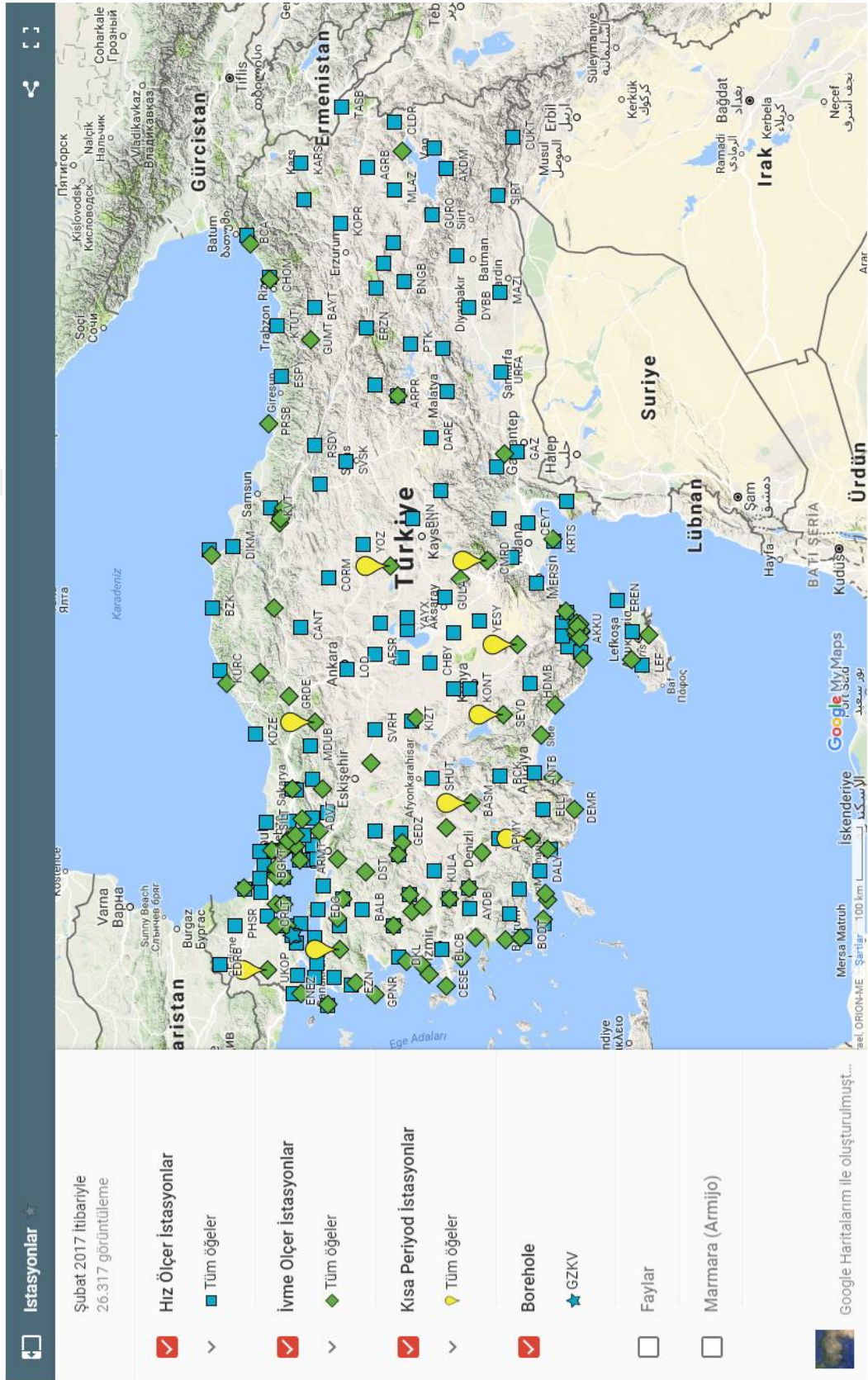
Türkiye’de depremlerin etkilerini ve deprem dalgalarının farklı zemin koşulları ve ortamlardaki davranışlarını gözlemlemek amacıyla T.C. Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD, Şekil 4.1; Şekil 4.2), Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi Deprem Araştırma Enstitüsü Bölgesel Deprem ve Tsunami İzleme ve Değerlendirme Merkezi (BDTİM, Şekil 4.3) sismik ölçüm istasyonları ve ağıları kurulmuştur.

Türkiye genelinde kurulan bu sismik ağlara ilaveten farklı üniversite, belediye gibi kamu kurumlarının da bölgesel deprem etkinliğini izlemek amacıyla sismik ağıları mevcuttur. Eskişehir Teknik Üniversitesi Yer ve Uzay Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir yerleşim yeri ve çevresindeki deprem etkinliğini EskişehirNet Kuvvetli Yer Hareketi Sismik Ağı ile gözlemlemektedir (Şekil 4.4). EskişehirNet sismik ağında 13 adet ivmeölçer Eskişehir yerleşim yeri ve çevresinde farklı zemin koşullarında bulunan ivmeölçer istasyonları ile kesintisiz olarak deprem etkinliğini deprem sunucularına kayıt etmekte ve gerekli kurum ve kuruluşlarla işbirliği içerisinde deprem kayıtlarını ilgili kurum ve kuruluşlarla paylaşmaktadır.



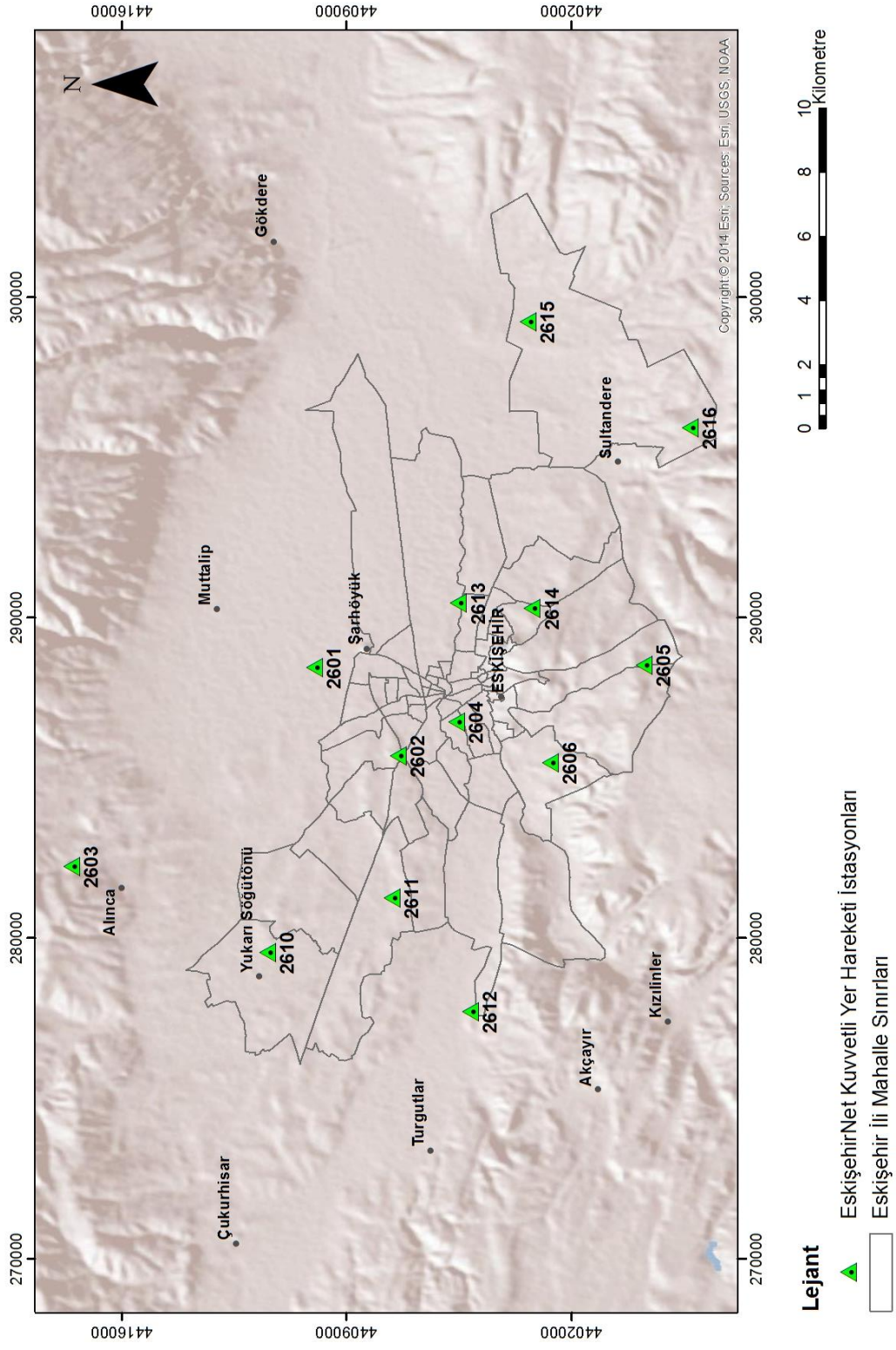
Şekil 4.1 AFAD Sismik Ağ Kuvvetli Yer Hareketi İstasyonları (<http-4>)





Şekil 4.3. BDTİM Sismik Ağı (<http-6>)

# Eskişehir Teknik Üniversitesi EskişehirNet Kuvvetli Yer Hareketi Sismik Ağı



Şekil 4.4. EskişehirNet Sismik Ağı

Depremler meydana geldikten sonra depremin konumun, açığa çıkan deprem enerjisinin, depremin meydana geldiği fayın özelliklerinin belirlenmesi, deprem sonrasında meydana gelen hasarın vb. bir takım özelliklerin belirlenmesi gerekmektedir. Bu özelliklerin belirlenebilmesi için farklı araştırmacılar tarafından bazı deprem parametreler tanımlanmıştır ve bu parametreler aşağıdaki gibi sıralanabilir;

Deprem Büyüklüğü; Richter C. 1930’lu yıllarda yapmış olduğu çalışmalar sonrasında deprem ait maksimum genliklerinin 10 tabanına göre logaritması olarak tanımlamıştır. İlerleyen zaman diliminde farklı araştırmacılar deprem büyüklüğü değerini hesaplarken çeşitli büyüklük hesaplama yöntemleri kullanarak Yerel Büyüklük ( $M_l$ ), Süreye Bağlı Büyüklük ( $M_d$ ), Yüzey Dalgası Büyüklüğü ( $M_s$ ), Cisim Dalgası Büyüklüğü ( $M_b$ ) ve Moment Büyüklüğü ( $M_w$ ) olmak üzere deprem büyüklüğü değerlerini geliştirmişlerdir.

Deprem Şiddeti; meydana gelen deprem anında açığa çıkan enerjinin yayılarak ulaşabildiği konumlarda canlı ve cansız varlıklar üzerindeki etkisi olarak tanımlanır. Farklı birçok araştırmacı tarafında geliştirilen Deprem Şiddeti ölçeği bulunmaktadır. Bu ölçeklerden günümüzde geçerli ve yaygın olarak kullanılanı ise Değiştirilmiş (Modified) Mercalli Ölçeğidir. Bu ölçeğe göre deprem şiddeti 12 sınıftan oluşmaktadır (Tablo 4.1).

Deprem Enerjisi; depremler meydana geldikleri anda açığa çıkan enerji olarak tanımlanmaktadır. Gutenberg ve Richter, (1956)’da yapmış oldukları çalışmalarında, deprem enerjisini Yüzey Dalgası Büyüklüğü ( $M_s$ ) ile ilişkilendirerek aşağıdaki eşitlik (4.1) ile hesaplamışlardır.

$$\log(E) = 11,8 + 1,5 \times M_s \quad (4.1)$$

Deprem Odak Noktası (İç Merkez, Hiposantr); depremler meydana geldiklerinde enerjinin ilk olarak açığa çıktığı noktadır.

Deprem Dış Merkezi (Merkez Üssü, Episantr); depremlerin meydana geldiği odak noktasının dik izdüşümünün yer yüzünü kestiği noktadır.

**Tablo 4.1. Değiştirilmiş Mercalli Ölçeği**

| <b>Şiddet<br/>Derecesi</b> | <b>Açıklama</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|----------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| I                          | İnsanlar tarafından hissedilmemekte, hassas sismograflar tarafından kaydedilebilmektedir.                                                                                                                                                                                                                           |
| II                         | Yapıların üst katlarında hareket halinde olmayan kişiler tarafından hissedilmektedir.                                                                                                                                                                                                                               |
| III                        | Yapıların üst katlarında bulunan kişiler tarafından hissedilebilmektedir. Deprem sarsıntısı yakından geçen bir kamyonun sarsma etkisi gibidir. Dışarıda park halindeki araçlar sarsılabilir. Yapılarda asılı halde bulunan eşyalar sallanabilir.                                                                    |
| IV                         | Yapılar içerisinde deprem çok kişi tarafından hissedilebilir. Uyku halindeki kişileri uyandırabilir. Mutfak eşyaları, pencereler ve kapılar titreşime geçer duvarlardan çatlama sesleri gelir. Büyük Bir kamyonun binaya çarpmasına benzer bir etki uyandırır. Park halindeki araçlar görünür bir şekilde sarsılır. |
| V                          | Hemen herkes tarafından sarsıntı hissedilir ve uyku halindeki çoğu insanı uyandırır. Pencerelerde ve mutfak eşyalarında kırılmalar gözlemlenebilir. Dengesiz nesneler devrilebilir.                                                                                                                                 |
| VI                         | Sarsıntı herkes tarafından hissedilir ve korku yaratır. Bazı ağır eşyalar hareket eder. Yapılardaki sıvalarda dökülmeler gözlemlenir. Genel olarak hafif hasarla sonuçlanır.                                                                                                                                        |
| VII                        | İyi yapılmış yapılarda göz ardı edilebilecek hasara yol açarken, ortalama yapılarda hafif ya da orta ölçekte hasara, kötü yapılmış yapılarda ise önemli ölçüde hasara neden olur ve bazı bacalar yıkılır.                                                                                                           |
| VIII                       | İyi yapılmış yapılarda hafif hasara, ortalama yapılarda göçmeye varabilen hasarlara, kötü yapılmış yapılarda ise ağır hasara neden olur. Bacalar, raflar, kolonlar ve ağır mobilyalar yıkılır. Su kuyularında su seviyelerinde değişiklikler olur. Seyir halindeki araçlar etkilenebilir.                           |
| IX                         | Özel olarak yapılmış yapılarda orta derecede hasar, çelikten yapılan yapılarda eksenlerde kaymalar meydana gelir. Ortalama yapılarda büyük hasar olur ve yıkılmalar görülür. Yapıların temellerinde kaymalar görülür. Yerde yarıklar gözlemlenir ve alt yapı sistemlerinde kırılmalar meydana gelir.                |
| X                          | İyi yapılmış ahşap yapıların tamamen yıkılması, yığma ve çelik yapıların temeliyle birlikte yıkılır. Demir yolu raylarında eğilmeler gözlemlenir. Yerde önemli büyüklükte yarıklar ve heyelanlar gözlemlenir.                                                                                                       |
| XI                         | Özel olarak yapılmış yapılar dışında tüm yapılar köprüler yıkılır. Demir yolu raylarında ileri derecede eğilmeler gözlemlenir. Yerde geniş yarıklar ve zeminlerde kaymalar ve kütle hareketleri gözlemlenir.                                                                                                        |
| XII                        | Yapılar tamamen yıkılır, yeryüzünde dalgalanmalar gözlemlenir. Ufuk çizgisinde sapmalar meydana gelir. Nesneler oldukları yerden fırlarlar.                                                                                                                                                                         |

#### 4.2. Azalım İlişkileri

Azalım ilişkileri, deprem büyüklüğüne, uzaklığa, kaynak mekanizmasına ve yerel zemin koşullarına bağlı olarak kuvvetli yer hareketine ait farklı parametrelerin medyan ve standart sapmalarını veren, log-normal dağılıma sahip olduğu kabul edilen ampirik bir tanımlamadır (Ansal vd., 2004).

Azalım ilişkileri, zemin hareketi parametrelerinin özelliklerinin depremlerin odak noktasından ya da belirlenen sismik kaynağın seçilen herhangi bir noktasından uzaklaştıkça nasıl değişeceğini gösteren denklemlerdir (Çeken, 2007).

Farklı araştırmacılar tarafından geliştirilen azalım ilişkilerinin genelleştirilmiş eşitliği (4.2) aşağıdaki gibidir (Kramer, 1996).

$$Y = f ( M, R, P_i ) \quad (4.2)$$

Y: Tahmin edilmek istenen kuvvetli yer hareketi parametresi,

M: Deprem büyüklüğü

R: Meydana gelen depremin çalışma alanına olan uzaklık değeri,

Pi: Deprem kaynağı, yerel zemin koşulları, dalga yayılma hattı ile ilgili parametreler.

Azalım ilişkilerinin genel eşitliği göz önünde bulundurularak geliştirilen farklı azalım ilişkileri genel olarak şu gözlemlere dayanmaktadır (Kramer, 1996; Beyaz, 2004; Çeken, 2007; Güney vd., 2013):

- a. Azalım ilişkileri kullanılarak elde edilecek olan pik ivme değerleri (PGA) genel olarak log-normal dağılım gösterirler ve regresyon analizi pik ivme değerinin kendisi ile değil logaritmasının alınmış hali ile yapılır (Boore vd., 1993; Ambraseys vd., 1996; İnanc vd., 1996; Beyaz, 2004; Özbey vd., 2004; Akkar ve Bommer, 2010). Birçok araştırmacı azalım ilişkilerinin log-normal dağılım gösterdiğini belirtse de bazı araştırmacılar da ln-normal dağılıma uygunluk gösterdiğini kabul etmişlerdir (Cornell vd., 1979; Abrahamson ve Silva, 1993; Youngs ve diğ., 1997; Gülkan ve Kalkan, 2002; Campell ve Bozorgnia, 2003; Beyaz, 2004; Kalkan ve Gülkan, 2004a, 2004b; Özbey vd., 2003; Akkar ve Çağnan, 2010; Ulutaş ve Özer, 2010).
- b. Deprem büyüklüğü belirli bir pik ivme hareket parametresinin logaritması olarak tanımlanır ve logY ile deprem büyüklüğü (M) birbirleri ile pozitif ve

doğru orantılı ilişkili olmalıdır (Ambraseys ve Simpson, 1996). Bazı araştırmacılara göre bu ilişkinin  $\ln Y$  ile deprem büyüklüğü ( $M$ ) ile doğru orantılıdır (Youngs vd., 1988; Campbell, 1989 ve Crouse, 1991).

- c. Gerilme dalgalarının deprem kaynağından dışa doğru uzaklaşırken yayılımları cisim dalgaları genliklerinin  $1/R$ 'ye göre azalmasına ve yüzey dalgalarının genliklerinin ise  $1/\sqrt{R}$ 'ye göre azalmasına neden olmaktadır.
- d. Fay yırtılması ile meydana gelen alanın büyüklüğü deprem büyüklüğü ile doğru orantılı olarak değişmektedir.
- e. Depremler meydana geldikten sonra açığa çıkan deprem enerjisi deprem dış merkezinden itibaren aldığı yol boyunca karşılaştığı malzemelerce soğurulmaktadır ve enerji sönümlenmesi yer hareketi genliklerinin mesafeye göre üssel olarak azalmasına etki eder.
- f. Yer hareketi parametreleri deprem kaynağının özellikleri (doğrultu atımlı fay, normal fay veya ters fay gibi) ile proje sahasının özelliklerinden (sağlam kaya, yumuşak kaya, alüvyon vb. gibi) etkilenebilir.

Azalım ilişkileri geliştirilirken araştırmacılar tarafından bir takım model parametreleri kullanılmıştır. Bu parametreler aşağıda verilmektedir (Çeken, 2007);

Kuvvetli Yer Hareketi Parametreleri; azalım ilişkileri geliştirilirken kullanılan kuvvetli yer hareketi kayıtları en önemli parametreler arasındadır. Her hangi bir bölge için geliştirilmek istenen azalım ilişkisinde kullanılacak olan kuvvetli yer hareketi kayıtları bu bölgede meydana gelen depremlere ait kayıtlar olmalıdır.

Deprem Büyüklüğü (Magnitüd); azalım ilişkileri farklı deprem büyüklüğü türlerine ( $M_b$ ,  $M_s$ ,  $M_l$ ,  $M_d$  ve  $M_w$ ) göre geliştirilmiş olabilir. Azalım ilişkileri geliştirilirken kullanılan deprem büyüklüğü yaygın olarak Moment ( $M_w$ ) Büyüklüğü türündedir. Geliştirilen azalım ilişkilerinde kullanılan kuvvetli yer hareketi kayıtlarına ait deprem büyüklüğü aralığı geliştirilen azalım ilişkisine ait geçerli deprem büyüklüğü sınırlarını belirler.

Mesafe (Uzaklık); Araştırmacılar tarafından Azalım ilişkileri farklı mesafe parametresi tanımlamaları yapılmıştır. Bazı araştırmacılar  $R_{rup}$ : kırılan fay düzlemin en kısa mesafeyi (Abrahamson ve Silva, 2008; Campbell ve Bozorgnia, 2008; Chiou ve Youngs, 2008), bazı araştırmacılar  $R_{jb}$ : fay kırılmasının yatay projeksiyonuna en kısa mesafeyi (Boore ve Atkinson, 2008; Abrahamson ve Silva (1997); Idriss, 2008; Akkar ve Çağnan, 2010; Akkar ve Bommer, 2010; Kalkan ve Gülkan, 2004; Özbey vd., 2003;

Boore, Joyner ve Fumal, 1997) kullanmışlardır (Şenyurt vd., 2011). Azalım ilişkilerinde yırtılma alanına en kısa mesafe ve fay yırtılmasının yer yüzeyindeki izine en kısa mesafe parametreleri sıkça kullanılır (Kramer, 1996).

Yerel Zemin Koşulları; azalım ilişkilerin geliştirilirken kullanılan yerel zemin koşulları genel olarak zemine ait tabakaların kalınlıklarına, zeminin yoğunluğuna, zeminin bulunduğu havzanın geometrisine, topoğrafyaya, zeminin dinamik özelliklerinde gözlemlenen değişikliklere, zeminin ana kaya derinliğine ve zeminde bulunan yer altı suyunun seviyesine bağlı olarak gibi özelliklere bağlı olarak farklılıklar gösterir ve yerel zemin koşullarındaki bu farklılıklar deprem dalgalarının yüzeydeki etkilerini önemli derecede etkileyebilir (Çeken, 2007).

Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Esaslar (DBYBHE), 2007’de ve Deprem Etkisi Altında Binaların Tasarımı İçin Esaslar (DEABTİE), 2018’de yerel zemin koşulları aşağıdaki gibi tanımlanmıştır;

DBYBHE, (2007); 6.2. Zemin Koşullarının Belirlenmesi başlığında bu yönetmelikte yer alan yerel zemin koşullarının tanımlanması için esas alınan zemin grupları Tablo 4.2.’de ve yerel zemin sınıfları ise Tablo 4.3.’te verilmiştir,

**Tablo 4.2.** DBYBHE, 2007 de bulunan zemin grupları (DBTBHY, 2007)

| Zemin Grubu | Zemin Grubu Tanımı                                                                                                    | Standart Pentr. (N/30) | Relatif Sıkılık (%) | Serbest Basınç Direnci (kPa) | Kayma Dalgası Hızı (m/s) |
|-------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|---------------------|------------------------------|--------------------------|
| (A)         | 1. Masif Volkanik kayalar ve ayrışmamış sağlam metamorfik kayalar, sert çimentolu tortul kayalar,                     | -                      | -                   | >1000                        | >1000                    |
|             | 2. Çok sıkı kum, çakıl,                                                                                               | >50                    | 85-100              | -                            | >700                     |
|             | 3. Sert kil ve siltli kil.                                                                                            | >32                    | -                   | >400                         | >700                     |
| (B)         | 1. Tüf ve aglomera gibi gevşek volkanik kayalar, süreksizlik düzlemlerinde bulunan ayrışmış çimentolu tortul kayalar, | -                      | -                   | 500-1000                     | 700-1000                 |
|             | 2. Sıkı kum, çakıl,                                                                                                   | 30-50                  | 65-85               | -                            | 400-700                  |
|             | 3. Çok katı kil ve siltli kil.                                                                                        | 16-32                  | -                   | 200-400                      | 300-700                  |
| (C)         | 1. Yumuşak süreksizlik düzlemlerinde bulunan ayrışmış metamorfik kayalar ve çimentolu tortul kayalar,                 | -                      | -                   | <500                         | 400-700                  |
|             | 2. Orta sıkı kum, çakıl,                                                                                              | 10-30                  | 35-65               | -                            | 200-400                  |
|             | 3. Yumuşak kil, siltli kil.                                                                                           | 8-16                   | -                   | 100-200                      | 200-300                  |
| (D)         | 1. Yeraltı su seviyesinin yüksek olduğu yumuşak, kalın alüvyon tabakaları,                                            | -                      | -                   | -                            | <200                     |
|             | 2. Gevşek kum,                                                                                                        | <10                    | <35                 | -                            | <200                     |
|             | 3. Yumuşak kil, siltli kil.                                                                                           | <8                     | <                   | <100                         | <200                     |

**Tablo 4.3. Yerel Zemin Sınıfları (DBYBHE, 2007)**

| Yerel Zemin Sınıfı | Tablo 6.1'e Göre Zemin Grubu ve En Üst Zemin Tabakası Kalınlığı ( $h_1$ )                       |
|--------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Z1                 | (A). grubu zeminler, $h_1 \leq 15$ m olan (B) grubu zeminler                                    |
| Z2                 | $h_1 > 15$ m olan (B) grubu zeminler, $h_1 \leq 15$ m olan (C) grubu zeminler                   |
| Z3                 | $15 \text{ m} < h_1 \leq 50$ m olan (C) grubu zeminler, $h_1 \leq 10$ m olan (D) grubu zeminler |
| Z4                 | $h_1 > 50$ m olan (C) grubu zeminler, $h_1 > 10$ m olan (D) grubu zeminler                      |

Deprem Etkisi Altında Binaların Tasarımı İçin Esaslar (DEABTİE), 2018'e göre çalışma alanlarına hakim olabilecek zemin grupları aşağıdaki tablodaki gibi sınıflandırılmıştır (Tablo 4.4).

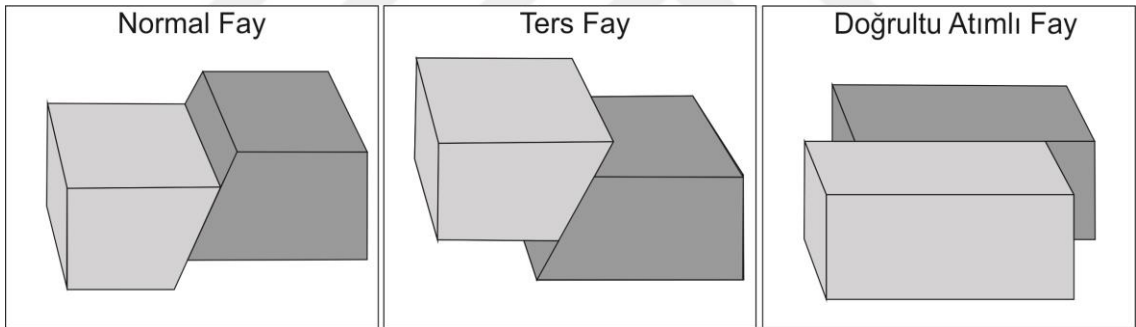
**Tablo 4.4 DEABTİE, (2018)'de tanımlanan zemin grupları (DEABTİE, 2018).**

| Yerel Zemin Sınıfı | Zemin Cinsi                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Üst 30 metrede ortalama   |                               |                         |
|--------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|-------------------------------|-------------------------|
|                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | $(V_s)_{30}$ (m/s)        | $(N_{60})_{30}$ (darbe/30 cm) | $(c_u)_{30}$ (kPa)      |
| ZA                 | Sağlam, sert kayalar                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | $1500 < (V_s)_{30}$       | -                             | -                       |
| ZB                 | Az ayrılmış, orta sağlam kayalar                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | $760 < (V_s)_{30} < 1500$ | -                             | -                       |
| ZC                 | Çok sıkı kum, çakıl ve sert kil tabakaları veya ayrılmış, çok çatlaklı zayıf kayalar                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | $360 < (V_s)_{30} < 760$  | $50 < (N_{60})_{30}$          | $250 < (c_u)_{30}$      |
| ZD                 | Orta sıkı-sıkı kum, çakıl veya çok katı kil tabakaları                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | $180 < (V_s)_{30} < 360$  | $15 < (N_{60})_{30} < 50$     | $70 < (c_u)_{30} < 250$ |
| ZE                 | Gevşek kum, çakıl veya yumuşak-katı kil tabakaları veya $PI > 20$ ve $w > \%40$ koşullarını sağlayan toplamda 3 metreden daha kalın yumuşak kil tabakası ( $c_u < 25$ kPa) içeren profiller                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | $(V_s)_{30} < 180$        | $(N_{60})_{30} < 15$          | $(c_u)_{30} < 70$       |
| ZF                 | Sahaya özel araştırma ve değerlendirme gerektiren zeminler: <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Deprem etkisi altında çökme ve potansiyel çökme riskine sahip zeminler (sıvılaşabilir zeminler, yüksek derecede hassas killer, göçebilir zayıf çimentolu zeminler vb.),</li> <li>2. Toplam kalınlığı 3 metreden fazla turba ve/veya organik içeriği yüksek killer,</li> <li>3. Toplam kalınlığı 8 metreden fazla olan yüksek plastisiteli (<math>PI &gt; 50</math>),</li> <li>4. Çok kalın (<math>&gt; 35</math>m) yumuşak veya orta katı killer.</li> </ol> |                           |                               |                         |

Analizlerde kullanılan azalım ilişkileri eşitliklerinde farklı zemin koşullarına ait ivme değerlerinin elde edilebilmesi için kayma dalgası hızları ve farklı katsayılar tanımlanmıştır. Genel olarak bakıldığında azalım ilişkilerinde kaya, zemin ve yumuşak zemin sınıfları tanımlanmış ve bu sınıflamalara göre önerilen kayma dalgası hızı ve zemin özelliklerini dahil edebilmek için gerekli katsayılar eşitliklerde kullanılmıştır.

Yapısal Etkiler; kuvvetli yer hareketi kayıtlarını toplamada kullanılan ivmeölçer istasyonları çok farklı yapı türlerinde konumlanmış olabilir ve böyle durumlarda ivmeölçer istasyonları bulundukları veya yakınlarındaki yapıların tepkilerinden etkilenebilirler (Çeken, 2007). Çok sık rastlanmasa da ivmeölçer istasyonlarının bulundukları yapıların etkileri de bazı azalım ilişkileri eşitliklerinde bir bileşen olarak bulunmaktadır.

Fay Türü, Fayın Derinliği ve Fayın Tekrarlanma Aralığı Etkisi; kuvvetli yer hareketinin genliğinde önemli etkilere neden olmaktadır (Çeken, 2007). Kuvvetli yer hareketi değeri McGarr, (1984)'e göre normal fayların kırılması ile meydana gelen depremler sonucunda en küçük değerde olup sırası ile doğrultu atımlı faylarda daha büyük, ters faylarda ise en büyük değeri alır (Şekil, 4.5) ve depremlerin derinlikleri arttıkça kuvvetli yer hareketi değeri de artmaktadır (Çeken, 2007). Kanoromi ve Allen, (1986); aynı deprem büyüklüğü değerine sahip fakat uzun tekrarlanma aralığı olan ve kısa fayların yüksek yer hareketi değerleri meydana getirdiğini belirtmiştir (Çeken, 2007).



Şekil 4.5.  $KYHD_{TF} > KYHD_{DAF} > KYHD_{NF}$  (McGarr, 1984; Çeken, 2007)

Fayın Yırtılma Yönü Etkisi; meydana gelen küçük depremlerde fayın yırtılma yönü etkisi kuvvetli yer hareketi değerlerinde önemli derecede rol oynamamaktadır, meydana gelen büyük depremlerde ise kırılan fayın uzunluğu büyük olduğu için kuvvetli yer hareketi değerlerini önemli derecede etkilemektedir (Çeken, 2007).

### 4.3. Gutenberg-Richter Tekrarlanma Yasası

Gutenberg ve Richter, (1944) yılında yapmış oldukları çalışmalarında depremlerin meydana gelme sayıları ile büyüklükleri arasındaki logaritmik ilişkiyi ortaya koymuşlardır. Bu ilişkiye göre deprem büyüklüğü değeri arttıkça depremlerin meydana gelme sayıları logaritmik olarak azalmaktadır.

Gutenberg ve Richter, (1942, 1944, 1956) tarafından geliştirilen aşağıdaki eşitlik (4.3) deprem büyüklüğü değeri Magnitüd (M) ile bir yıllık zaman diliminde meydana gelen tüm depremlerin adedini ( $N_M$ ) ile logaritmik olarak bir ilişki olduğunu söylemişler ve bu ilişki depremsellik ile deprem büyüklüğü değerlerinin olasılık dağılımlarını belirlemek için kullanılmaktadır (Özmen, 2011).

$$\text{Log}(N) = a - bM \quad (4.3)$$

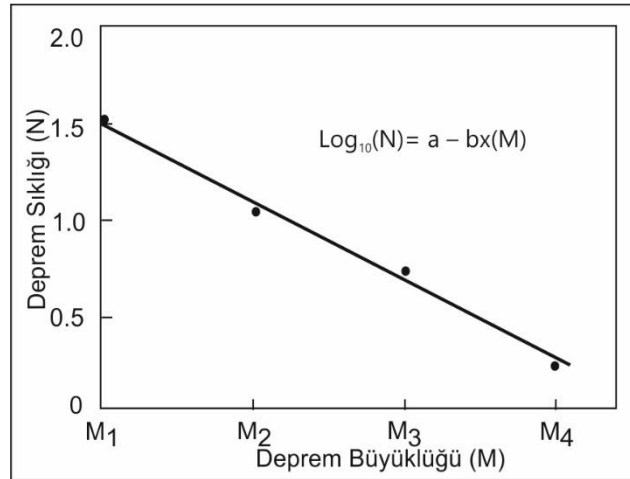
Bu eşitliğe göre,

M: Deprem Büyüklüğü Değeri

N: Büyüklüğü M ve M'den büyük olan depremlerin bir yılda meydana gelme sayısı

a ve b: Regresyon katsayılarıdır.

Bu eşitlik yıllık meydana gelen deprem sayılarının logaritması ile deprem büyüklüğü değerlerine göre çizildiğinde doğrusal bir ilişki gözlemlenmiştir ve ilişki Gutenberg-Richter Tekrarlanma Yasası olarak tanımlanmıştır (Kramer, 1996). Gutenberg-Richter Tekrarlanma Yasası olarak tanımlanan bu eşitliğin grafiksel gösterimi Şekil 4.6'da verilmiştir.



Şekil 4.6. Gutenberg-Richter Tekrarlanma Yasası grafiği konulacak

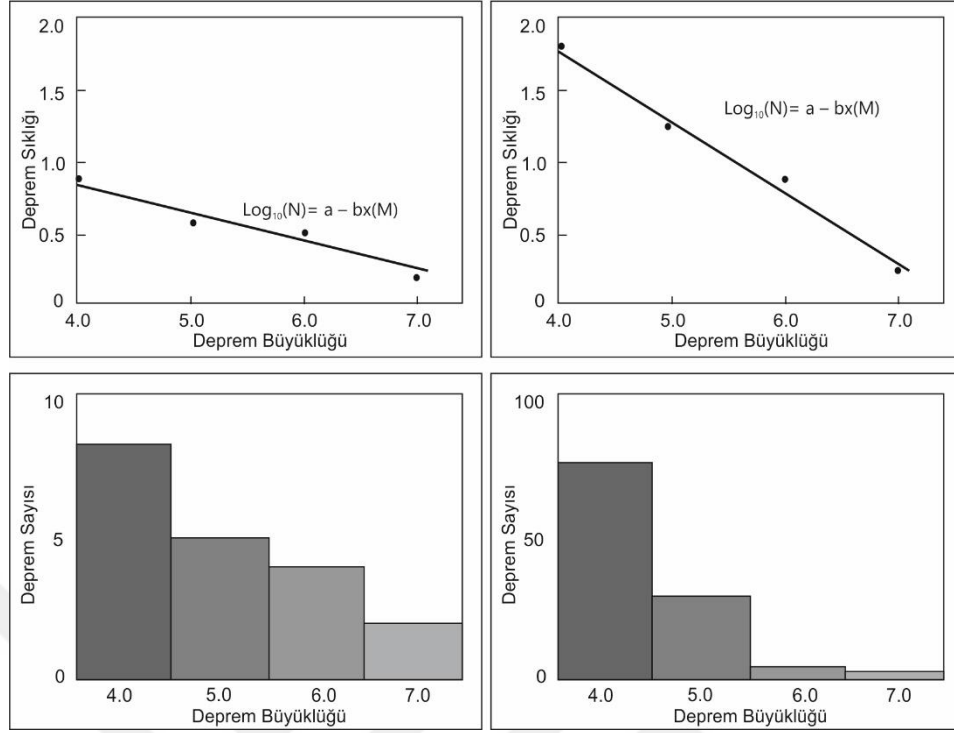
Gutenberg-Richter Tekrarlanma Yasasında bulunan katsayılar, deprem kaynak zonlarının birbirlerinden farklı tektonik özelliklere sahip olması sebebiyle her bir zon için farklı değerlere sahip olacaktır.

Belirlenen kaynak zonlarının büyüklüğüne, yapılacak olan çalışmada kullanılan deprem verilerinin gözlem süresine ve belirlenen bu gözlem süresinde meydana gelen deprem etkinliğine bağlı olarak değişkenlik gösteren “a” katsayısı Ortalama Yıllık Sismik Aktivite İndeksi olarak, belirlenen kaynak zonların tektonik özelliklerine bağlı olarak değişkenlik gösteren “b” katsayısı ise Sismotektonik Parametre olarak tanımlanmaktadır (Gutenberg ve Richter, 1944; Tabban ve Gencoğlu, 1975; Özmen, 2011).

Gutenberg-Richter Tekrarlanma Yasasından elde edilen “a” katsayısı çalışma alanı belirlenen gözlem dönemi hakkında, çalışma alanının genişliği hakkında ve deprem aktivitesinin düzeyi hakkında bilgi sahibi olmamızı sağlarken; “b” katsayısı çalışma alanına ait karakteristik ve tektonik özellikleri hakkında bilgi sahibi olmamıza sağlar (Kalyancuoğlu vd., 2006).

“b” katsayısı meydana gelen depremlerin büyük ve küçük depremlerin bir birlerine göre görece meydana gelmelerini ifade eder ve “b” değeri arttıkça meydana gelen küçük depremlerin sayısına kıyasla büyük depremlerin meydana gelme sayısı azalmaktadır (Kramer, 1996).

Gutenberg-Richter Tekrarlanma Yasası eğrisinden elde edilen “b” değeri bu eğrinin eğim değeridir. Farklı çalışma alanları birbirleri ile karşılaştırıldığında depremsellik açısından daha aktif olan bölgeye ait “b” katsayıları depremsellik açısından daha az aktif olan bölgeye göre daha büyük olacaktır. Eğrinin eğim değeri olan “b” değerinin büyük olduğu çalışma alanlarında deprem büyüklüğü küçük olan depremler daha sık meydana gelmektedir (Şekil 4.7). “b” değerinin küçük olduğu çalışma alanlarında ise deprem büyüklüğü küçük olan depremler daha az meydana gelmekte ve meydana gelen büyük deprem sayısı küçük “b” değerinin elde edildiği çalışma alanlarına göre daha sık meydana gelir (Şekil 4.7).



Şekil 4.7. Farklı “b” değerlerine sahip alanlarda meydana gelen deprem sıklıkları

#### 4.4. Poisson Olasılık Dağılım Fonksiyonu

PSTA çalışmalarında genel olarak depremlerin zaman içerisinde meydana gelmelerinin Poisson Olasılık Dağılım Modeline uyduğu kabul görmüştür (Özmen, 2011). Zaman dağılımlı modeller olmasına rağmen Poisson Olasılık Dağılım Modelinin daha karmaşık olan farklı modellerin sonuçlarına uyumlu sonuçlar vermesi ve uygulamasının basitliği gibi nedenlerle Poisson Olasılık Dağılım Modeli STA çalışmalarında en yaygın şekilde kullanılan olasılık modelidir (Yücemen, 2009; Özmen, 2011). Depremlerin meydana gelme sürecinin Poisson Olasılık Dağılım Modeline uygunluk göstermesi için aşağıdaki varsayımların kabul edilmesi gerekmektedir (Poisson, 1838, Gülkan ve Gürpınar, 1977; Kramer, 1996; Kartal, 2010; Özmen, 2011);

Belirli bir zaman aralığında meydana gelen depremlerin sayısı, farklı bir zaman aralığında meydana gelen depremlerden bağımsızdır. Örnek vermek gerekirse geçmiş senelerde meydana gelen depremlerin gelecekte olabilecek depremin meydana gelmesini etkilemez. Bir başka deyişle depremler zamandan bağımsızdır,

Uzayda depremler birbirlerinden bağımsızdırlar, bir deprem kaynağında meydana gelen veya gelecek deprem farklı bir deprem kaynağında meydana gelebilecek depremi etkilemez,

Aynı zaman ve aynı konumda iki farklı depremin meydana gelme olasılığı sıfırdır.

Poisson Olasılık Dağılım Modeline göre incelenen bir çalışma alanı için, belirlenen t süresinde, belirli bir büyüklük değerinden büyük n sayıda deprem meydana gelme olasılığı aşağıdaki eşitlik (4.4) ile belirlenir (Kartal, 2010; Özmen, 2011).

$$P_n(t) = \frac{e^{-\lambda t} (\lambda t)^n}{n!} \quad (4.4)$$

$P_n(t)$ : t sürede n adet deprem meydana gelme olasılığı

n: olay sayısını

$\lambda$ : incelenen çalışma alanında birim zaman süresinde (genellikle bir yıl) meydana gelen ortalama deprem sayısıdır.

Poisson Olasılık Dağılım Modeli, uygun bir tekrarlanma yasası ile aşağıdaki eşitlik (4.5)'te olduğu gibi ilişkilendirilir (Kramer, 1996),

$$P(N \geq 1) = 1 - e^{-\lambda t} \quad (4.5)$$

Eşitlik (4.5) aşağıdaki gibi düzenlenebilir eşitlik (4.6),

$$P(N_M) = 1 - e^{(-N_M \times t)} \quad (4.6)$$

$P(N_M)$ : Belirli bir t zamanda M büyüklük değerindeki depremin meydana gelme olasılığı

$N_M (\lambda)$ : M'den büyük ve eşit büyüklükteki bir depremin yıllık meydana gelme sıklığı

t: İstenilen süreyi ifade eder.

Gutenberg-Richter eşitlik (4.3)'ten  $N_M$  değeri çekildiğindeki aşağıdaki eşitlik elde edilir eşitlik (4.7),

$$N_M = 10^{a-b \times M} \quad (4.7)$$

$N_M$ : M deprem büyüklüğü değerinden büyük ve eşit depremin Gutenberg-Richter Tekrarlanma Yasasından elde edilen "a" ve "b" değerleri kullanılarak yıllık meydana gelme sıklığı

M: meydana gelen deprem büyüklüğü

a ve b: Gutenberg-Richter Tekrarlanma Yasası eğrisinden elde edilen katsayılar

Depremlerin tekrarlanma periyotları, depremlerin yıllık meydana gelme sayıları kullanılarak aşağıdaki eşitlik (4.8) ile hesaplanmaktadır (Gencoğlu, 1972; Özmen, 2013);

$$Q = 1 / N_M \quad (4.8)$$

Q: M büyüklüğündeki bir depremin tekrarlanma periyodu

$N_M$ : M deprem büyüklüğü değerinden büyük ve eşit depremin Gutenberg-Richter Tekrarlanma Yasasından elde edilen “a” ve “b” değerleri kullanılarak yıllık meydana gelme sıklığı

Belirli bir bölgede, istenilen deprem büyüklüğü, belirlenen zaman diliminde ve istenilen olasılık değerlerinde bir depremin meydana gelme olasılığı değerleri Poisson Olasılık Dağılım Fonksiyonu ile elde edilen eşitlik (4.6) kullanılarak elde edilir. Elde edilen olasılık değerlerine ek olarak Gutenberg-Richter Tekrarlanma Yasasından eşitliğinde bulunan  $N_M$  deprem sıklığı değeri kullanılarak depremlerin tekrarlanma periyotları elde edilir (Tablo 4.5).

**Tablo 4.5.** Farklı Deprem Büyüklüklerinin istenilen zaman diliminde meydana gelme olasılıkları ve periyotları

| $N_{(M)}$ | Deprem Büyüklüğü (M) | Yıl  |      |      |      |      | Periyod |
|-----------|----------------------|------|------|------|------|------|---------|
|           |                      | 10   | 20   | 30   | 40   | 50   |         |
| 0,07      | 5,5                  | 50,3 | 75,3 | 87,8 | 93,9 | 97,0 | 14      |
| 0,05      | 6,0                  | 39,3 | 63,2 | 77,7 | 86,5 | 91,8 | 20      |
| 0,01      | 6,5                  | 9,5  | 18,1 | 25,9 | 33,0 | 39,3 | 100     |

Belirli bir zaman periyodunda ve belirli bir olasılığa sahip depreme ait yıllık meydana geleme sayıları eşitlik (4.6) düzenlenerek  $N_{(M)}$  değerinin çekilerek eşitlik (4.10)’da ile hesaplanır.

$$N(m) = \ln(1 - P) / T \quad (4.9)$$

$N(m)$  : Belirli yıl ve olasılığa karşılık gelen yıllık meydana gelme sayısı,

P: Aşılma olasılığı,

T: Yıl

Eşitlik (4.9)’dan elde edilen yıllık meydana gelme sayısı ile PSTA analizi sonucunda elde edilen yıllık meydana gelme sayısı-ivme grafiklerinden istenilen olasılık ve belirli bir zaman periyodunki bir depremin hangi etkiyi göstereceği belirlenir.

Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Esaslar (DBYBHE) 2007’de 7.8. Binalar İçin Hedeflenen Performans Düzeyleri başlığı altında üç farklı deprem düzeyi

belirlenmiştir. 50 yılda aşılma olasılığı %50, %10 ve %2 olarak belirlenen deprem düzeyleri (DBYBHE, 2007), Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018’de dört farklı Hareket Düzeyi olarak yönetmeliğin 2.2. Deprem Yer Hareketi Düzeyleri başlığı altında tanımlanmıştır.

Belirli bir yılda, belirli bir aşılma olasılığına ve belirli bir tekrarlanma periyodu olarak tanımlanan Hareket Düzeyleri deprem yönetmeliği başlık 2.2. Deprem Yer Hareketi Düzeyleri altında tanımlanmıştır. Yapılan Hareket Düzeyi tanımlamaları sismik tehlike haritalarının hazırlanmasında kullanılmaktadır. Bu düzeyler,

Deprem Yer Hareketi Düzeyi-1 (DD-1): DD-1 Deprem Yer Hareketi, 50 yılda aşılma olasılığı değeri %2 olan ve bu özelliklere karşılık gelen tekrarlanma periyodu 2475 yıl olan Çok Seyrek Meydana Gelebilecek Yer Hareketi olarak tanımlanmaktadır. Tekrarlanma periyodu 2475 yıl olarak tanımlanan deprem yer hareketi Göz önüne Alınan En Büyük Deprem Yer Hareketi olarak tanımlanmıştır.

Deprem Yer Hareketi Düzeyi-2 (DD-2): DD-2 Deprem Yer Hareketi, 50 yılda aşılma olasılığı değeri %10 olan ve bu özelliklere karşılık gelen tekrarlanma periyodu 475 yıl olan Seyrek Deprem Yer Hareketi olarak tanımlanmaktadır. Tekrarlanma periyodu 475 yıl olarak tanımlanan deprem yer hareketi Standart Tasarım Deprem Yer Hareketi olarak tanımlanmıştır.

Deprem Yer Hareketi Düzeyi-3 (DD-3): DD-3 Deprem Yer Hareketi, 50 yılda aşılma olasılığı %50 olan ve bu özelliklere karşılık gelen tekrarlanma periyodu 72 yıl olan Sık Deprem Yer Hareketi olarak tanımlanmaktadır.

Deprem Yer Hareketi Düzeyi-4 (DD-4): DD-4 Deprem Yer Hareketi, 50 yılda aşılma olasılığı %68 olan ve bu özelliklere karşılık gelen tekrarlanma periyodu 43 yıl olan Çok Sık Deprem Yer Hareketi olarak tanımlanmaktadır.

Bu tanımlamalar doğrultusunda çalışma kapsamında DD-2 Deprem Yer Hareketi tanımlaması için ivme haritaları hazırlanmıştır.

#### **4.5. Coğrafi Bilgi Sistemleri**

Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ilk olarak 1960’lı yıllarda Kanada’da arazi kaynaklarının ve kullanımının ortaya çıkarılması çalışması ile ortaya çıkmıştır. İlerleyen zaman içerisinde CBS giderek gelişmeye başlamış ve bu gelişim ile beraber CBS’nin kullanımı giderek yaygınlaşmıştır (Sönmez ve Sarı, 2004).

1963 yılında başlamış ve 1970 yılında tamamlanmış olan Kanada Coğrafi Bilgi Sistemleri projesi CBS'nin ilk olarak kullanılmaya başlanmış ve bu proje CBS'nin temel yapı taşlarının atıldığı bir dönem olmuştur (Tecim, 2008).

Orhan, (2005); yapmış olduğu çalışmasında Coğrafi Bilgi Sistemlerini iki farklı şekilde tanımlamıştır. İlk olarak Coğrafi Bilgi Sistemleri, dünya üzerinde var olan nesnelere ve meydana gelen olaylara ait verilerin toplanması, bu verilerin bilgisayar ortamında depolanması, bu veriler ile farklı sorgulamalar yapılabilmesi, bu verilerin istenilen format ve ölçekte haritalanması, bu veriler ile istenilen analizlerin yapılmasını sağlayan yüksek performanslı bir bilgisayar sistemi olarak tanımlamıştır. Bir diğer tanım ise Coğrafi Bilgi Sistemleri coğrafi konumu olan nesne ve olaylara ait verilerin toplanması ve depolanması yanı sıra güncelleştirilmesi, sorgulanması, sentezlenmesi ve yeni seçenekler üretilmesini çok kısa bir sürede gerçekleştirebilecek özelliğe sahip bir teknolojik sistemler bütünü olarak tanımlamıştır.

Coğrafi Bilgi Sistemlerini (CBS) ihtiyaca uygun olarak yeryüzüne ait bilgileri ve verileri istenilen amaca uygun olarak toplamaya, bilgisayar ortamında depolamaya, güncelleştirmeye, kontrol etmeye, analiz etmeye ve görüntülemeye yarayan bir bilgisayar sistemi olarak tanımlanabilir (Tecim, 2008).

Burrough, (1998); Coğrafi Bilgi Sistemlerini istenilen bir amaç doğrultusunda yeryüzüne ait gerçek verilerin toplanması, depolanması, sorgulanması, transveri ve görüntülenmesi işlevlerini yerine getiren araçların tümü olarak tanımlamıştır (Tecim, 2008).

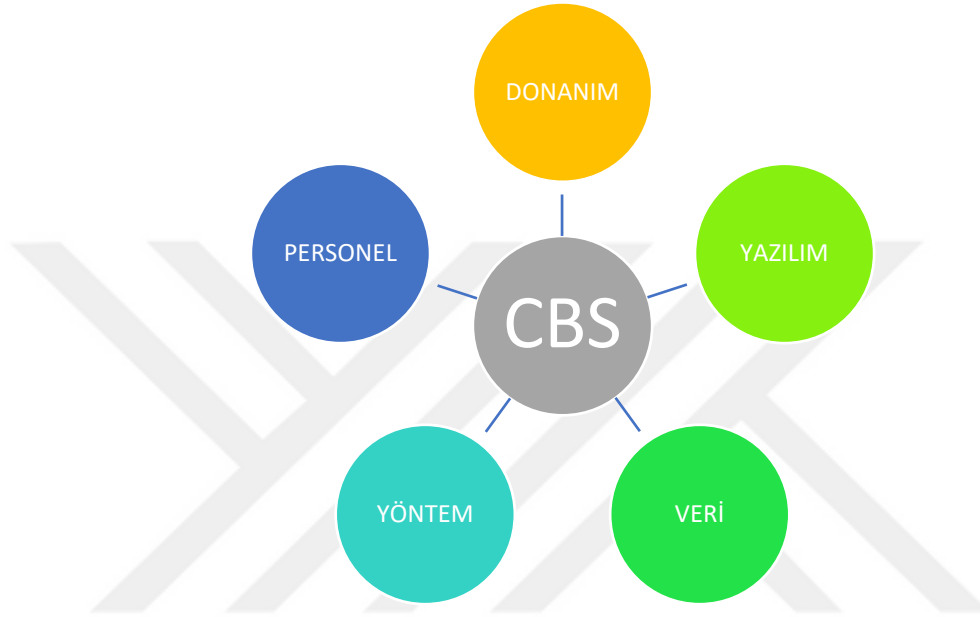
Star ve Estes, (1990); Coğrafi Bilgi Sistemlerini konumsal veya coğrafi koordinatları referans alan ve bu veriler ile çalışmaları dizayn eden bir bilgi sistemi olarak tanımlamıştır (Tecim, 2008).

Grimshaw, (1994); Coğrafi Bilgi Sistemlerini işletmelerdeki faaliyetleri desteklemek amacıyla konumsal olan ve olmayan verilerin girişini, depolanmasını, sorgulanmasını, haritalanmasını ve coğrafi olarak analiz edilmesine yarayan bir grup işlemler olarak tanımlamıştır (Tecim, 2008).

Coğrafi Bilgi Sistemleri, mekânsal özelliği olan verilerin bilgisayar ortamına girilmesi, bilgisayar ortamına giren bu verilerin kullanılarak yeni veriler elde edilmesi, elde edilen bu verilerde çeşitli sorgulamalar yapılması, düzenlenmesi, analiz edilmesi, birbirleri ile ilişkilendirilmesi ve bu ilişkilerin ortaya konulması, elde edilen verilerden

çeşitli sonuçlar elde edilmesi, bu sonuçlardan da istenilen amaca uygun şekilde görsel hâle getirilmesine dayanan bir sistem olarak tanımlanır (İncekara vd., 2009).

CBS'nin ana bileşenleri donanım (bilgisayar bileşenleri), yazılım (CBS programları), yeryüzünde amaca uygun olarak kullanılacak tüm veriler, amaca uygun sonuçların elde edilmesi için kullanılacak yöntem ve tüm bu bileşenleri kullanarak farklı analizler yapacak personelden oluşur (Şekil 4.8).



**Şekil 4.8.** Coğrafi Bilgi Sistemleri ana bileşenleri

Donanım, CBS'nin tüm aşamalarının gerçekleştirildiği en önemli araçtır.

Yazılım, CBS ile yapılacak olan çalışmalarda kullanılacak verilerin düzenlenmesi, depolanması, analizler yapılması ve çeşitli görsel haritaların, grafiklerin, diagramların hazırlanması için kullanılan programların tümünü ifade eder.

Veri, yeryüzünde bulunan ve amaca uygun şekilde çeşitli araştırma yöntemleri ve gözlem yöntemleri ile elde edilen analiz yapılmaya hazırlanmış kaynaklardır.

Yöntem, yapılmak istenen herhangi bir araştırma için elde edilmiş verilerin istenilen amaca uygun şekilde kullanılacağı ve sonuçlar çıkartılacağı işlem zinciridir.

Personel, tüm bu bileşenleri belirlenen amaca uygun şekilde kullanan kişidir.

Coğrafi Bilgi Sistemleri deprem çalışmalarında da oldukça etkin bir araç olarak kullanılmaktadır. Meydana gelen depremlerin konumları belirlendikten sonra depremlere ait tüm bilgiler konumsal olarak Coğrafi Bilgi Sistemleri aracılığıyla veri tabanı haline getirilebilir. Veri tabanı haline gelen deprem verilerinin haritalandırılması, istenilen özelliklere göre sınıflandırılması Coğrafi Bilgi Sistemleri yazılımlarına ait özellikler

kapasitesinde farklı analizlerin yapılması ve sonuçların haritalandırılması deprem çalışmalarında Coğrafi Bilgi Sistemlerinin etkin bir şekilde kullanılabilir bir araç olduğunu gösterir.



## 5. MATERYAL VE METOD

Depremlerin insan hayatı üzerinde meydana getirdiği ve getirebileceği etkiler, yaşamış olduğumuz yapıların ve hastaneler, okullar, üniversiteler, enerji santralleri, fabrikalar vb. yapıların tasarımı sırasında depremlerin göz ardı edilmemesini gerektirmektedir (Kramer, 1996). Deprem sırasında yeryüzünde meydana gelen sarsıntılar sonrasında bu yapıların en az hasarla depremi atlatması depreme dayanıklı tasarımın amacını oluşturmaktadır (Kramer, 1996).

STA, meydana gelen veya gelebilecek depremlerin belirli bir çalışma alanında oluşturacağı yer sarsıntı tehlikesinin nicel olarak hesaplanmasıdır (Kramer, 1996).

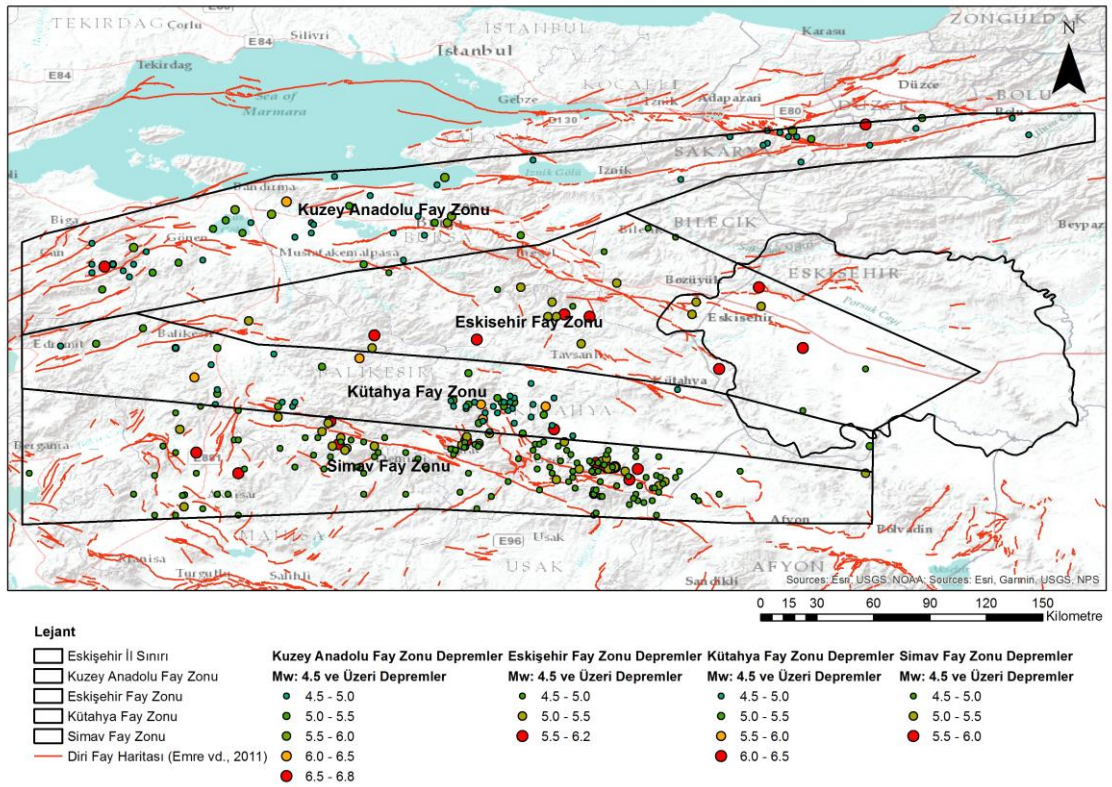
Depremler meydana geldiklerinde açığa çıkan enerji deprem dalgaları halinde yayılır ve etkilerini yer sarsıntısı olarak gösterirler. Deprem dalgaları depremlerin enerjisi ile doğru orantılı olarak sönümlenene kadar mesafeler kat eder ve farklı jeolojik özelliklere sahip zeminlerde ilerlerler. Deprem büyüklüğü değeri arttıkça, depremler meydana geldikten sonra açığa çıkan enerji de o kadar artacak ve deprem dalgaları daha fazla mesafe kat edecektir. Deprem dalgalarının sönümlendiği en uzak mesafe ile depremin meydana geldiği nokta arasında kalan alana depremin etki alanı denmektedir. STA çalışmaları depremlerin etki alanları içerisinde belirli bir mesafe değerlerinde meydana getirecekleri etkilerini, depremlerin belirli zaman aralıklarında meydana gelme olasılıklarını ve belirli aşılma olasılıklarında meydana getirecekleri etkileri belirlemek için yapılan analiz yöntemidir. STA Deterministik ve Probabilistik Sismik Tehlike Analizi olmak üzere ikiye ayrılır.

Deterministik Sismik Tehlike Analizi yönteminde tek bir deprem büyüklüğünün tek bir mesafe değerindeki etkisi hesaplanırken, Probabilistik Sismik Tehlike Analizi yönteminde tüm deprem büyüklükleri ve istenilen tüm mesafe değerleri için hesaplamalar yapılmaktadır. Deterministik Sismik Tehlike Analizi yöntemi Probabilistik Sismik Tehlike Analizi yöntemine göre oldukça pratik bir yöntem olup her hangi bir depremin istenen mesafedeki etkisinin belirlenmesinde hızlıca bilgi sahibi olmamızı sağlamaktadır.

Her iki analiz yöntemi ile analiz yapılmadan önce deprem kaynaklarının belirlenmesi, deprem kataloğunun belirlenmesi ve analizde kullanılacak olan azalım ilişkilerinin belirlenmesi gerekmektedir.

## 5.1. Deprem Verileri

Deprem verileri STA çalışmalarına kullanılan en önemli bileşenlerdendir. Belirli bir bölge için yapılacak olan STA çalışması o bölgede meydana gelen depremler kullanılarak yapılır. Çalışma kapsamında Eskişehir yerleşim yeri ve çevresinde Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü Bölgesel Deprem-Tsunami İzleme ve Değerlendirme Merkezi (BDTİM) Deprem Sorgulama Sisteminden elde edilen ve 1900-2018 yıllarını kapsayan zaman diliminde Orhan vd., (2007)'de önerilen alansal kaynaklardan KAFZ'de 61 adet, EFZ'de meydana gelen deprem sayısı 28 adet, KFZ'de 57 adet ve SFZ 162 adet Mw: 4.5 ve üzeri büyüklüğündeki deprem kataloğu verileri kullanılmıştır (Şekil 5.1.).



Şekil 5.1. 1900-2018 yıllarını kapsayan zaman diliminde Fay Zonlarında Meydana gelen depremler

## 5.2. Deprem Kaynaklarının Belirlenmesi

STA’da deprem kaynakları Noktasal Kaynak, Çizgisel Kaynak ve Alansal Kaynak olmak üzere üçe ayrılır.

Meydana gelen her bir deprem Noktasal Kaynak olarak değerlendirilmektedir. STA çalışmalarında kullanılan deprem verileri ayrı ayrı değerlendirilebilir. Noktasal Kaynak olarak değerlendirilecek deprem verileri ayrı ayrı değerlendirildiğinde kullanılan deprem verilerinden en büyük olan deprem büyüklüğünün etkisi daha büyük olacaktır. STA’da kullanılacak Noktasal Kaynak seçilirken, meydana gelen depremlerden en büyük deprem büyüklüğüne sahip olan depremin STA hesaplamalarında kullanılması depremlerin etkilerine karşı daha güvenilir önlemler almamızı sağlayacak ve daha güvenli tarafta kalmamızı sağlayacaktır.

Belirli bir bölgede bulunan aktif faylar Çizgisel Kaynak olarak değerlendirilmektedir. Çizgisel Kaynakların meydana getirebilecekleri deprem büyüklüğü değerleri boyları ile ilişkilidir. Noktasal Kaynaklarda olduğu gibi Çizgisel Kaynaklarda STA’da kullanılırken meydana getirebilecekleri deprem büyüklüğü değeri en büyük olan Çizgisel Kaynağın analizlerde kullanılması daha güvenilir önlemler almamızı ve daha güvenli tarafta kalmamızı sağlayacaktır.

Benzer özelliklere sahip deprem kaynaklarının belirli sınırlar içerisinde alınarak gruplandırılması ile oluşan kaynaklar Alansal Kaynaklar olarak tanımlanır. Alansal Kaynaklar içerisinde bulunan noktasal kaynaklar ve çizgisel kaynaklar Alansal Kaynağın depremselliğini temsil ederler. STA hesaplamalarında Alansal Kaynaklar değerlendirilirken alan içerisinde bulunan Noktasal ve Çizgisel Kaynaklardan en büyük deprem büyüklüğü değerine sahip Noktasal Kaynağın ve en büyük deprem büyüklüğünü meydana getirebilecek Çizgisel Kaynağın analizlerde kullanılması daha güvenilir önlemler almamızı ve daha güvenli tarafta kalmamızı sağlayacaktır.

## 5.3. Deprem Kataloğunun Belirlenmesi

STA çalışmalarının en önemli bileşenlerinden biri de deprem verilerinin bulunduğu deprem kataloglarıdır. STA hesaplamalarından doğru sonuçlar elde edebilmek için kullanılacak olan deprem verilerinin düzenlenmesi bir katalog haline getirilmesi, eğer varsa katalogda tekrar eden deprem verilerinin katalogdan çıkartılması ve deprem verilerinin büyüklük türlerinin aynı türden olması gerekmektedir.

Çalışma kapsamında kullanılan deprem verileri aletsel dönemin başlangıcı olarak bilinen 1900 yılından başlamış ve 2018 yılına kadar olan 118 yıllık döneme ait deprem verileridir. Kullanılan deprem verileri Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü Bölgesel Deprem-Tsunami İzleme ve Değerlendirme Merkezi (BDTİM) Deprem Sorgulama Sisteminden elde edilmiş ve analizlerde kullanılmak üzere derlenmiştir. Elde edilen deprem verileri çözümlenirken farklı deprem büyüklüğü değerleri kullanılmıştır. Analizlerde kullanılan azalım ilişkileri geliştirilirken kullanılan deprem büyüklüğü türü Moment Magnitüd ( $M_w$ ) türünden olduğu için analizlerde kullanılan deprem büyüklüğü değerleri Moment Magnitüd ( $M_w$ ) değerine dönüştürülmüştür. Deprem büyüklüğü dönüşümleri yapılırken Deniz ve Yüçemen (2010) tarafından geliştirilmiş magnitüd dönüşüm eşitlikleri kullanılmıştır.

$$\begin{aligned} M_w &= 1,27 \times M_d - 1,12 \\ M_w &= 1,57 \times M_l - 2,66 \\ M_w &= 0,54 \times M_s + 2,81 \\ M_w &= 2,25 \times M_b - 6,14 \end{aligned} \tag{5.1}$$

#### 5.4. Çalışmada Kullanılan Azalım İlişkileri

STA çalışmalarında kullanılacak olan azalım ilişkilerinin seçimi doğru sonuçlar elde etmek için oldukça büyük önem taşımaktadır. Kullanılacak olan azalım ilişkileri STA yapılan bölgeye uygun azalım ilişkileri seçilmelidir. Azalım ilişkileri genel olarak geniş kapsamlı bölgelerde meydana gelen deprem verileri kullanılarak geliştirilmektedir.

Çalışma kapsamında Eskişehir yerleşim yeri ve çevresine özgü bir azalım ilişkisi mevcut olmadığı için Türkiye’de yapılan STA çalışmalarında yaygın olarak kullanılan Azalım İlişkileri incelenmiştir. Bu Azalım İlişkileri farklı ülkelerde meydana gelen depremler kullanılarak geliştirilmiş ve Türkiye’de meydana gelen depremler kullanılarak geliştirilmiş azalım ilişkileridir.

Çalışma kapsamında incelenen azalım ilişkileri ve bu azalım ilişkileri geliştirilirken kullanılan deprem kayıtlarına ait bilgiler, deprem büyüklükleri, azalım ilişkisi eşitlikleri ve azalım ilişkisi eğrileri ayrı ayrı incelenmiştir. Çalışma kapsamında incelenen azalım ilişkileri aşağıda verilmektedir;

Campbell, (1981); azalım ilişkisi (Şekil 5.2), eşitlik (5.2) farklı bölgelerde meydana gelen ve büyüklük değerleri  $5,0 \leq M_w \leq 7,7$  arasında değişen 27 depreme ait 116 kayıt kullanılarak geliştirilmiştir.

$$PGA = a \exp(bM) [R + c_1 \exp(c_2 M)]^{-d} \quad (5.2)$$

PGA: Azalım ilişkisinden elde edilen ivme değeri (g)

R: Mesafe parametresi (km)

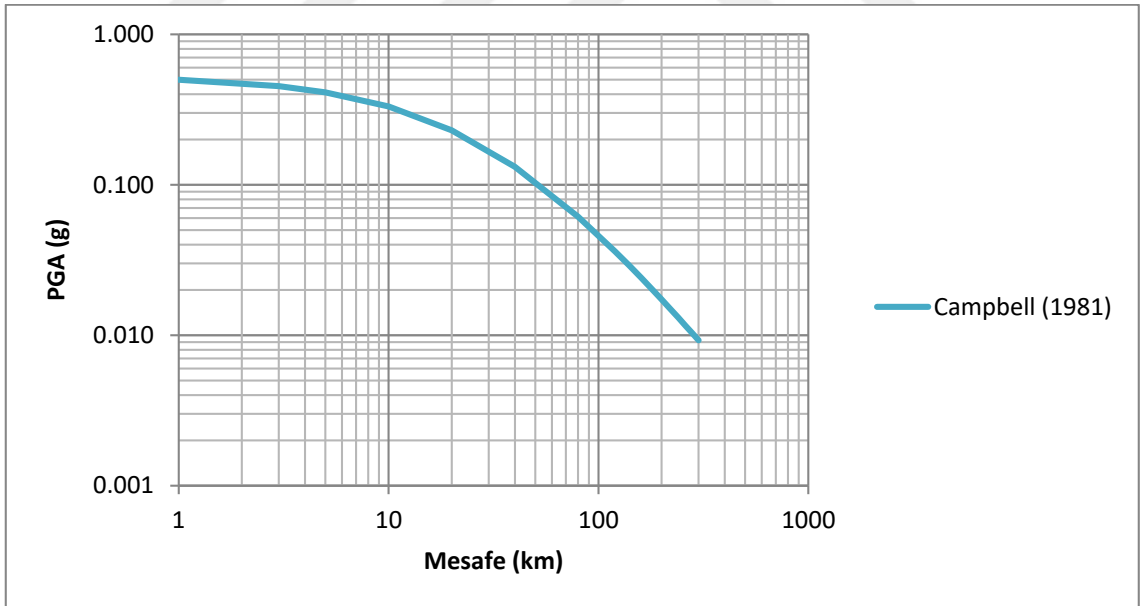
$M_w$ : Depreme ait moment büyüklüğü

Azalım ilişkisi eşitliğindeki katsayılar Tablo 5.1’de verilmiştir

**Tablo 5.1.** Campbell, (1981) azalım ilişkisi katsayıları

| Y<br>(g) | a      | b    | $c_1$ | $c_2$ | d    | $\Sigma$ |
|----------|--------|------|-------|-------|------|----------|
|          | 0,0185 | 1,28 | 0,147 | 0,732 | 1,75 | 0,384    |

Campbell, (1981) azalım ilişkisinde herhangi bir zemin koşulu kullanılmamıştır.



**Şekil 5.2.** Campbell, (1981) azalım ilişkisi grafiği

Joyner ve Boore, (1981); azalım ilişkisi (Şekil 5.3), eşitlik (5.3) pik ivme değeri için 23 adet depreme ait 182 kayıt ve pik hız değeri için 10 adet depreme ait 62 kayıt kullanılarak geliştirilmiştir. Kullanılan deprem kayıtlarına ait depremler Kuzey Batı Amerika'da meydana gelen depremlerdir ve büyüklükleri  $5,0 \leq M_w \leq 7,7$  arasında değişmektedir.

$$\log y = a + \beta M - \log r + br \quad (5.3)$$

PGA: Azalım ilişkisinden elde edilen ivme değeri ( $\text{cm/s}^2$ )

$R_{\text{epi}}$ : Episantr mesafesi (km)

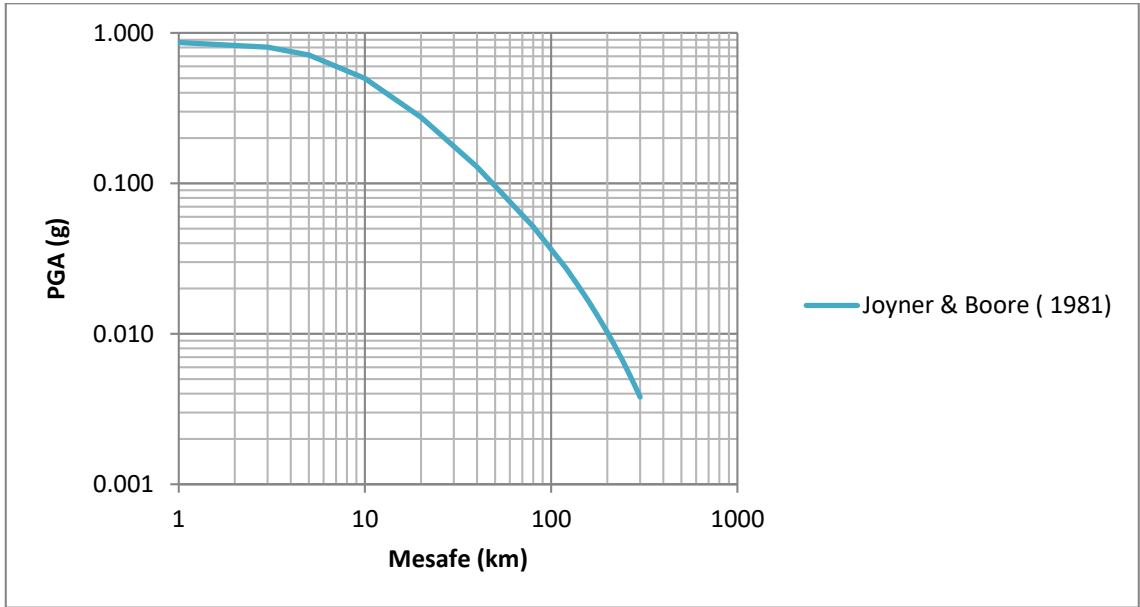
$M_w$ : Depreme ait moment büyüklüğü

Azalım ilişkisi eşitliğindeki katsayılar Tablo 5.2'de verilmiştir.

**Tablo 5.2.** Joyner ve Boore, (1981) azalım ilişkisi katsayıları

| Y<br>(g) | a     | $\beta$ | b       | h    | $\sigma$ |
|----------|-------|---------|---------|------|----------|
|          | -1,02 | 0,249   | 0,00255 | 4,48 | 0,26     |

Joyner ve Boore, (1981); azalım ilişkisinde herhangi bir zemin koşulu kullanılmamıştır.



**Şekil 5.3.** Joyner ve Boore, (1981) azalım ilişkisi grafiği

Boore vd., (1993); azalım ilişkisi (Şekil 5.4), eşitlik (5.4) Kalifornia’da meydana gelen üç depreme ait pik ivme değeri için 20 adet depreme ait 271 kayıt kullanılarak geliştirilmiştir. Kullanılan deprem kayıtlarına ait depremlerin büyüklükleri  $5,0 \leq M_w \leq 7,7$  arasında değişmektedir.

$$\log Y = b_1 + b_2(M - 6) + b_3(M - 6)^2 + b_4 r + b_5 \log r + b_6 G_B + b_7 G_C \quad (5.4)$$

$$r = (d^2 + h^2)^{1/2}$$

PGA: Azalım ilişkisinden elde edilen ivme değeri (cm/s<sup>2</sup>)

R: Mesafe parametresi (km)

MW: Depreme ait moment büyüklüğü

GB: Farklı zemin tipleri için kullanılan katsayı

GC: Farklı zemin tipleri için kullanılan katsayı

Azalım ilişkisi eşitliğindeki katsayılar Tablo 5.3’te verilmiştir.

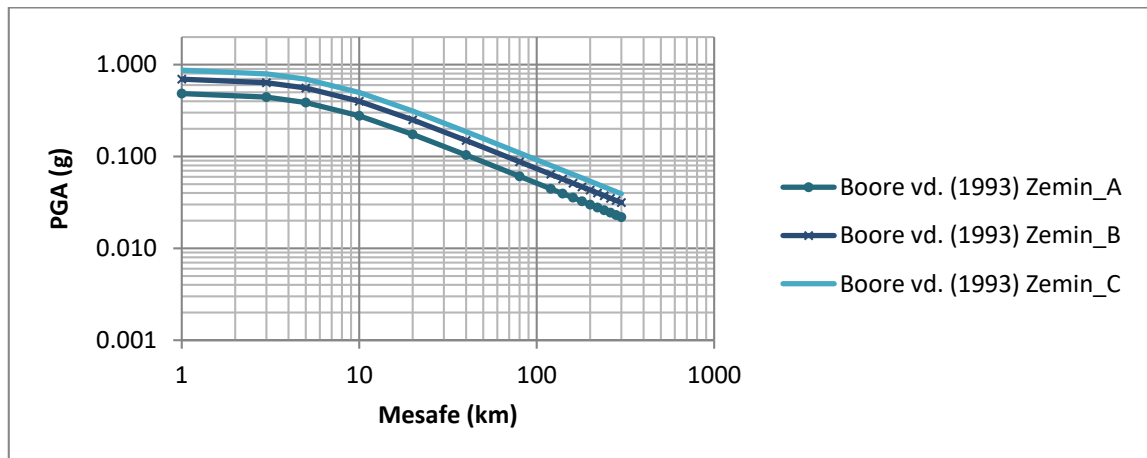
**Tablo 5.3.** Boore vd. (1993) azalım ilişkisi katsayıları

| Y   | b <sub>1</sub> | b <sub>2</sub> | b <sub>3</sub> | b <sub>4</sub> | b <sub>5</sub> | b <sub>6</sub> | b <sub>7</sub> | h    | σ     |
|-----|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|------|-------|
| (g) | -0,038         | 0,216          | 0,000          | -0,000         | -0,777         | 0,158          | 0,254          | 5,48 | 0,205 |

Farklı zemin koşulları için ivme değerleri azalım ilişkisindeki GB ve GC değerleri Tablo 5.4’teki değerleri kullanılarak elde edilir.

**Tablo 5.4.** Boore vd., (1993) azalım ilişkisi zemin parametresi katsayıları

| Zemin Tipi   | G <sub>B</sub> | G <sub>C</sub> |
|--------------|----------------|----------------|
| Kaya Zemin   | 0              | 0              |
| Zemin        | 1              | 0              |
| Gevşek Zemin | 0              | 1              |



**Şekil 5.4.** Boore vd., (1993) azalım ilişkisi grafiği

Boore vd., (1997); azalım ilişkisi (Şekil 5.5), eşitlik (5.5) Kuzey Amerika’da meydana gelen  $5,0 \leq M_w$  büyüklüğündeki depremlere ait kayıtları kullanılarak geliştirilmiştir.

$$\ln Y = b_1 + b_2 (M_w - 6) + b_3 (M_w - 6)^2 + b_5 \ln(r) + b_V \ln(V_S / V_A) \quad (5.5)$$

PGA: Azalım ilişkisinden elde edilen ivme değeri ( $\text{cm/s}^2$ )

R: Mesafe parametresi (km)

$M_w$ : Depreme ait moment büyüklüğü

$V_S$ : Kayma dalgası hızı (m/s)

$V_A$ : Fiktif hız (m/sn)

$b_{1SS}$ : Doğrultu Atımlı Fay

$b_{1RS}$ : Ters Fay

$b_{1SS}$ : Fay Mekanizması Bilinmeyen Faylar

Azalım ilişkisi eşitliğindeki katsayılar Tablo 5.5’te verilmiştir.

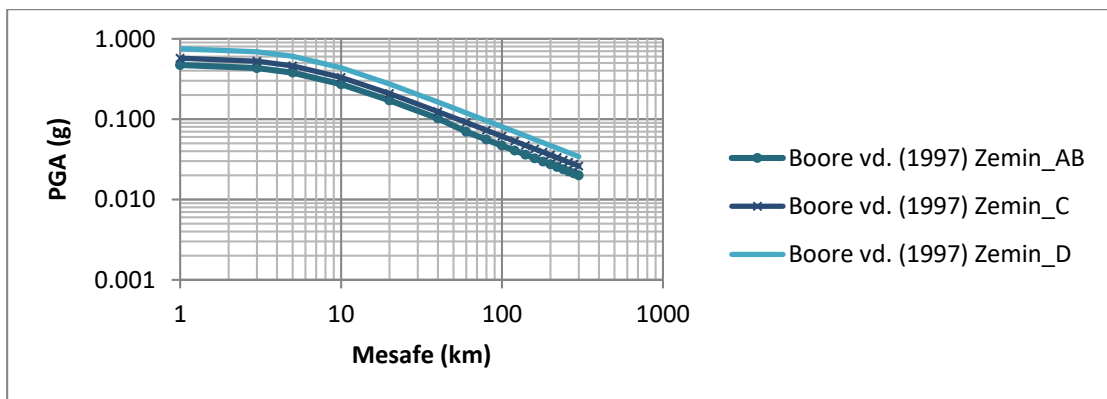
**Tablo 5.5.** Boore vd., (1997); azalım ilişkisi katsayıları

| Y<br>(g) | $b_{1SS}$ | $b_{1RS}$ | $b_{1ALL}$ | $b_2$ | $b_3$ | $b_5$  | $b_V$  | $V_A$ | h    | $\sigma$ |
|----------|-----------|-----------|------------|-------|-------|--------|--------|-------|------|----------|
|          | -0,313    | -0,117    | -0,242     | 0,527 | 0,000 | -0,778 | -0,371 | 1396  | 5,57 | 0,52     |

Farklı zemin koşulları için ivme değerleri azalım ilişkisindeki  $V_S$  ve  $V_A$  değerleri Tablo 5.6’daki  $V_S$  değerleri kullanılarak elde edilir.

**Tablo 5.6.** Boore vd., (1997) azalım ilişkisi zemin parametresi katsayıları

| Zemin Tipi | $V_S$ (m/s) |
|------------|-------------|
| B (NEHRP)  | 1070        |
| C (NEHRP)  | 520         |
| D (NEHRP)  | 250         |
| Kaya       | 620         |
| Zemin      | 310         |



**Şekil 5.5.** Boore vd., (1997) azalım ilişkisi grafiği

Gülkan ve Kalkan, (2002); azalım ilişkisi (Şekil 5.6), eşitlik (5.6) 1976-1999 yılları arasında Türkiye’de meydana gelen 19 adet depreme ait 47 kayıt kullanılarak geliştirilmiştir. Kullanılan deprem kayıtlarına ait depremlerin büyüklükleri  $5,0 \leq M_w \leq 7,4$  arasında değişmektedir. Azalım ilişkisinde kullanılan katsayılar Tablo 5.7’de verilmiştir.

$$\ln Y = b_1 + b_2 (M_w - 6) + b_3 (M_w - 6)^2 + b_5 \ln(r) + b_v \ln(V_s / V_A) \quad (5.6)$$

$$r = (r_{cl}^2 + h^2)^{1/2}$$

PGA: Azalım ilişkisinden elde edilen ivme değeri ( $\text{cm/s}^2$ )

R: Mesafe parametresi (km)

$M_w$ : Depreme ait moment büyüklüğü

$V_s$ : Kayma dalgası hızı (m/s)

$V_A$ : Fiktif hız (m/sn)

Azalım ilişkisi eşitliğindeki katsayılar Tablo 5.7.’de verilmiştir.

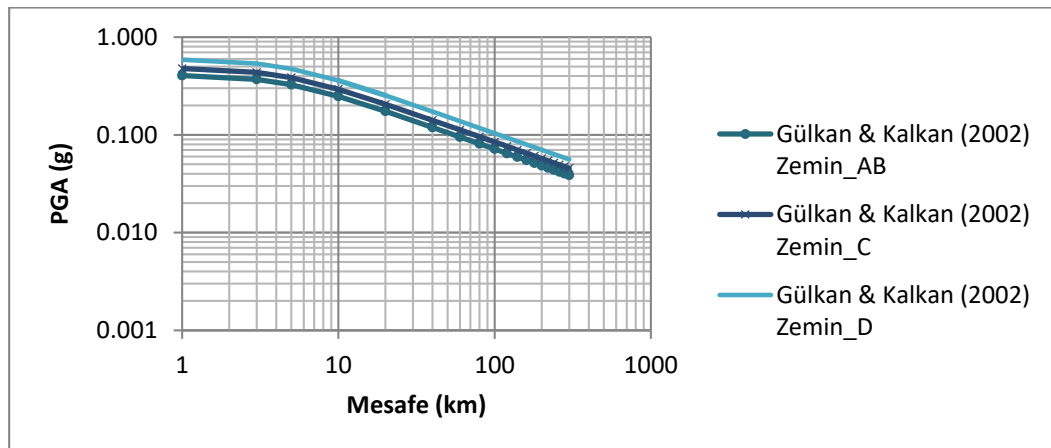
**Tablo 5.7.** Gülkan ve Kalkan., (2002) azalım ilişkisi katsayıları

| Y     | $b_1$  | $b_2$ | $b_3$ | $b_5$  | $b_v$  | $V_A$ | h    | $\sigma$ |
|-------|--------|-------|-------|--------|--------|-------|------|----------|
| (gal) | -0,682 | 0,253 | 0,036 | -0,562 | -0,297 | 1381  | 4,48 | 0,562    |

Farklı zemin koşulları için ivme değerleri azalım ilişkisindeki  $V_s$  ve  $V_A$  değerleri Tablo 5.8.’deki  $V_s$  değerleri eşitlikte yerine koyularak elde edilir.

**Tablo 5.8.** Gülkan ve Kalkan., (2002) azalım ilişkisi zemin parametresi katsayıları

| Zemin Tipi   | $V_s$ (m/s) |
|--------------|-------------|
| Kaya Zemin   | 700         |
| Zemin        | 400         |
| Gevşek Zemin | 200         |



**Şekil 5.6.** Gülkan ve Kalkan., (2002) azalım ilişkisi grafiği

Özbey vd., (2003); azalım ilişkisi (Şekil 5.7), eşitlik (5.7) Türkiye’de meydana gelen büyüklükleri  $5,0 \leq M_w \leq 7,4$  arasında değişen 17 depreme ait 195 deprem kaydı kullanılarak geliştirilmiştir.

$$\log(Y_{ij}) = a + b(M_w - 6)^2 + d \log \sqrt{R_{ij}^2 + h^2} + eG_1 + fG_2 \quad (5.7)$$

PGA: Azalım ilişkisinden elde edilen ivme değeri ( $\text{cm/s}^2$ )

R: Mesafe parametresi (km)

$M_w$ : Depreme ait moment büyüklüğü

$G_1$ : Farklı zemin tipleri için kullanılan katsayı

$G_2$ : Farklı zemin tipleri için kullanılan katsayı

Azalım ilişkisi eşitliğindeki katsayılar Tablo 5.9’da verilmiştir.

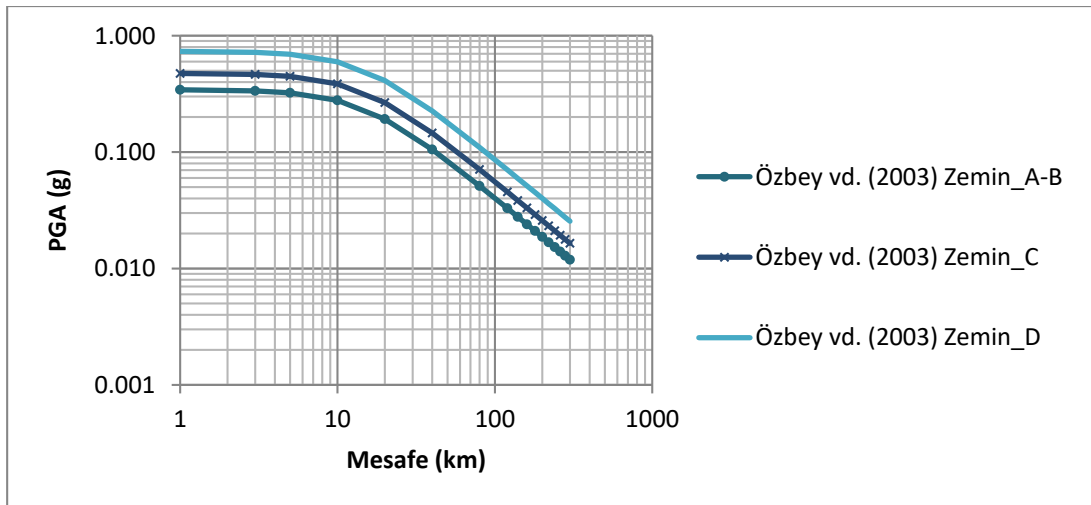
**Tablo 5.9.** Özbey vd., (2003) azalım ilişkisi katsayıları

| Y<br>(gal) | a     | b     | c      | d       | e     | f     | h     | $\sigma$ |
|------------|-------|-------|--------|---------|-------|-------|-------|----------|
|            | 3,287 | 0,503 | -0,079 | -1,1177 | 0,141 | 0,331 | 14,82 | 0,260    |

Farklı zemin koşulları için ivme değerleri azalım ilişkisindeki  $G_1$  ve  $G_2$  değerleri Tablo 5.10’deki değerler kullanılarak elde edilir.

**Tablo 5.10.** Özbey vd. (2003) azalım ilişkisi zemin parametresi katsayıları

| Zemin Tipi          | $G_1$ | $G_2$ |
|---------------------|-------|-------|
| Kaya Zemin (A ve B) | 0     | 0     |
| Zemin (C)           | 1     | 0     |
| Gevşek Zemin (D)    | 0     | 1     |



**Şekil 5.7.** Özbey vd., (2003) azalım ilişkisi grafiği

Kalkan ve Gülkan, (2004); azalım ilişkisi (Şekil 5.8), eşitlik (5.8) 1976-2003 yılları arasında Türkiye’de meydana gelen 19 adet depreme ait 47 kayıt kullanılarak geliştirilmiştir. Kullanılan deprem kayıtlarına ait depremlerin büyüklükleri  $4,0 \leq M_w \leq 7,4$  arasında değişmektedir. Azalım ilişkisinde kullanılan katsayılar Tablo 5.11’de verilmiştir.

$$\ln Y = b_1 + b_2 (M_w - 6) + b_3 (M_w - 6)^2 + b_5 \ln r + b_v \ln (V_s / V_A)$$

$$r = (r_{cl}^2 + h^2)^{1/2} \quad (5.8)$$

PGA: Azalım ilişkisinden elde edilen ivme değeri (g)

R: Mesafe parametresi (km)

$M_w$ : Depreme ait moment büyüklüğü

$V_s$ : Kayma dalgası hızı (m/s)

$V_A$ : Fiktif hız (m/sn)

Azalım ilişkisi eşitliğindeki katsayılar Tablo 11’de verilmiştir.

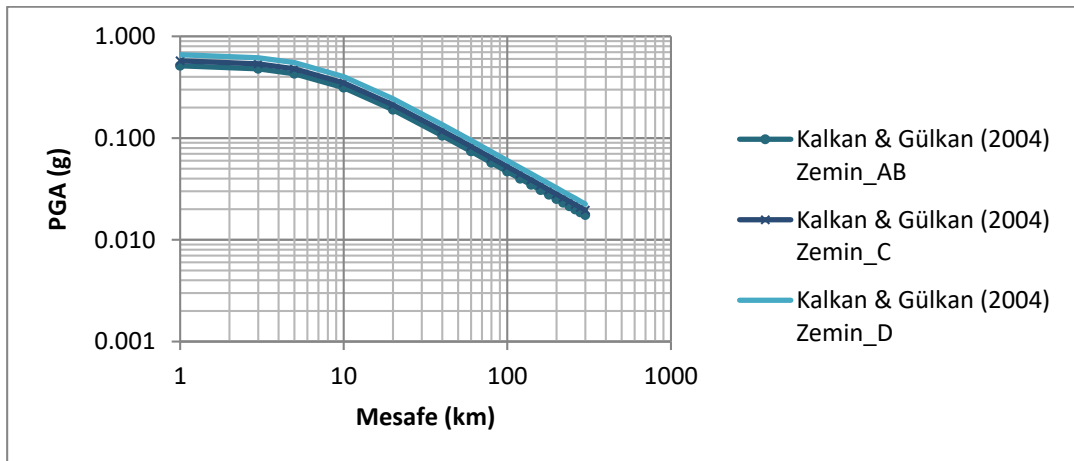
**Tablo 5.11.** Kalkan ve Gülkan, (2004) azalım ilişkisi katsayıları

| Y<br>(g) | $b_1$ | $b_2$ | $b_3$  | $b_5$  | $b_v$  | $V_A$ | h    | $\sigma$ |
|----------|-------|-------|--------|--------|--------|-------|------|----------|
|          | 0,393 | 0,576 | -0,107 | -0,899 | -0,200 | 1112  | 6,91 | 0,612    |

Farklı zemin koşulları için ivme değerleri azalım ilişkisinde önerilen  $V_s$  ve  $V_A$  değerleri Tablo 5.12’deki  $V_s$  değerleri eşliğinde yerine koyularak elde edilir.

**Tablo 5.12.** Kalkan ve Gülkan, (2004) azalım ilişkisi zemin parametresi katsayıları

| Zemin Tipi   | $V_s$ (m/s) |
|--------------|-------------|
| Kaya Zemin   | 700         |
| Zemin        | 400         |
| Gevşek Zemin | 200         |



**Şekil 5.8** Ulusay vd., (2004) azalım ilişkisi grafiği

Ulusay vd., (2004); azalım ilişkisi (Şekil 5.9), eşitlik (5.9) Türkiye’de meydana gelen 122 depreme ait 221 kayıt kullanılarak geliştirilmiştir. Bu kayıtların 55 tanesi kaya zemin, 94 tanesi zemin ve 72 tanesi gevşek zemine ait alanlardan alınan kayıtlardır. Kullanılan deprem kayıtlarına ait depremlerin büyüklükleri  $4.1 \leq M_w \leq 7.5$  arasında değişmektedir.

$$PGA = a_1 e^{a_2(a_3 M_w - R_e + a_4 S_A + a_5 S_B)} \quad (5.9)$$

PGA: Azalım ilişkisinden elde edilen ivme değeri (g)

R: Mesafe parametresi (km)

$M_w$ : Depreme ait moment büyüklüğü

$S_A$ : Kayma dalgası hızı (m/s)

$S_B$ : Fiktif hız (m/sn)

Azalım ilişkisi eşitliğindeki katsayılar Tablo 13’de verilmiştir.

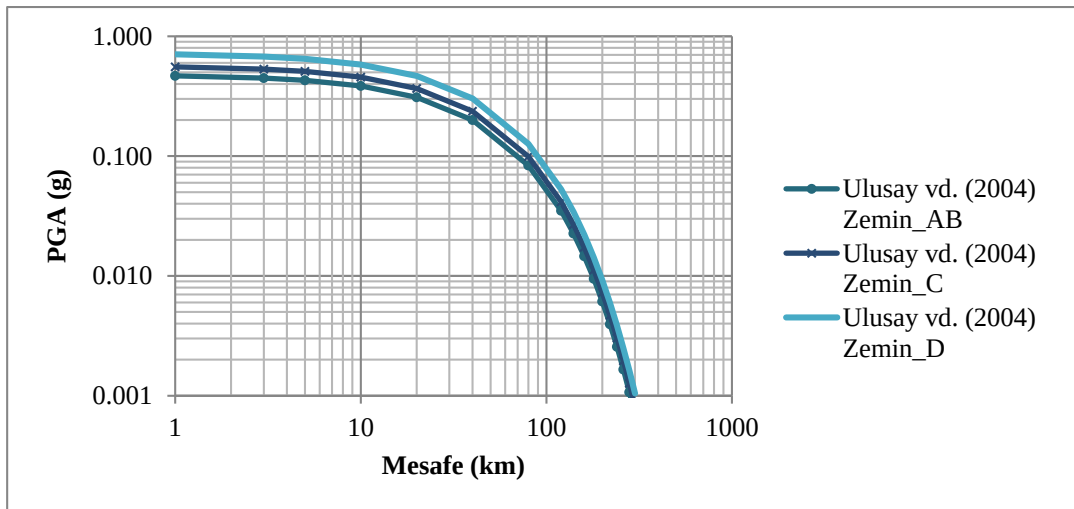
**Tablo 5.13.** Ulusay vd., (2004) azalım ilişkisi katsayıları

| PGA<br>(gal) | $a_1$ | $a_2$  | $a_3$ | $a_4$  | $a_5$   | $\sigma$ |
|--------------|-------|--------|-------|--------|---------|----------|
|              | 2,18  | 0,0218 | 33,3  | 7,8427 | 18,9282 | 86,4     |

Farklı zemin koşulları için ivme değerleri azalım ilişkisindeki  $S_A$  ve  $S_B$  değerleri Tablo 5.14’deki  $S_A$  ve  $S_B$  değerleri kullanılarak elde edilir.

**Tablo 5.14.** Ulusay vd., (2004) azalım ilişkisi zemin parametresi katsayıları

| Zemin Tipi   | $S_A$ | $S_B$ |
|--------------|-------|-------|
| Kaya Zemin   | 0     | 0     |
| Zemin        | 1     | 0     |
| Gevşek Zemin | 0     | 1     |



**Şekil 5.9.** Ulusay vd., (2004) azalım ilişkisi grafiği

Çeken vd., (2008); azalım ilişkisi (Şekil 5.10), eşitlik (5.10) Türkiye’de Kuzey Batı Anadolu’da meydana gelen 106 adet depreme ait 410 ivme kaydı kullanılarak geliştirilmiştir. Kullanılan deprem kayıtlarına ait depremlerin büyüklükleri  $4,0 \leq M_w \leq 7,4$  arasında değişmektedir. Azalım ilişkisinde kullanılan katsayılar Tablo 5.15’te verilmiştir.

$$\log_{10}(PGA, PSA) = C_1 + C_2 M + C_3 M^2 + C_4 \log_{10}(R) + C_5 S_B + C_6 S_C + C_7 S_D \pm \sigma \quad (5.10)$$

$$R = (r_{rup}^2 + h^2)^{1/2}$$

PGA: Azalım ilişkisinden elde edilen ivme değeri ( $\text{cm/s}^2$ )

R: Mesafe parametresi (km)

$M_w$ : Depreme ait moment büyüklüğü

$S_B$ : Farklı zemin tipleri için kullanılan katsayı

$S_C$ : Farklı zemin tipleri için kullanılan katsayı

$S_D$ : Farklı zemin tipleri için kullanılan katsayı

Azalım ilişkisi eşitliğindeki katsayılar Tablo 15’te verilmiştir

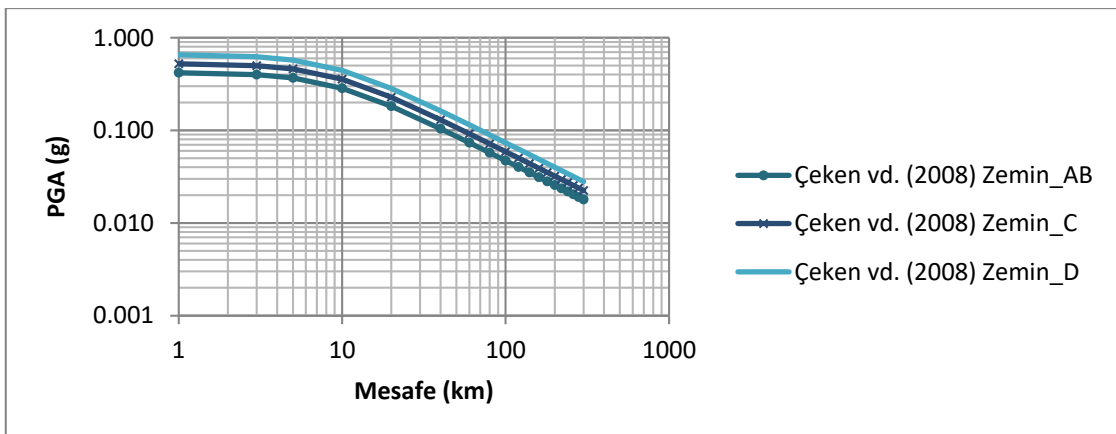
**Tablo 5.15.** Çeken vd., (2008) azalım ilişkisi katsayıları

| Y<br>(gal) | $C_1$  | $C_2$ | $C_3$  | $C_4$  | $C_5$  | $C_6$ | $C_7$ | h     | $\sigma$ |
|------------|--------|-------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|----------|
|            | -2,871 | 1,615 | -0,102 | -0,882 | -0,064 | 0,033 | 0,129 | 8,379 | 0,294    |

Farklı zemin koşulları için ivme değerleri azalım ilişkisindeki  $S_A$  ve  $S_B$  değerleri Tablo 16’daki değerler kullanılarak elde edilir.

**Tablo 5.16.** Çeken vd., (2008) azalım ilişkisi zemin parametresi katsayıları

| Zemin Tipi       | $S_B$ | $S_C$ | $S_D$ |
|------------------|-------|-------|-------|
| Kaya Zemin (A-B) | 1     | 0     | 0     |
| Zemin (C)        | 0     | 1     | 0     |
| Gevşek Zemin (D) | 0     | 0     | 1     |



**Şekil 5.10.** Çeken vd., (2008) azalım ilişkisi grafiği

Akkar ve Çağnan (2010); azalım ilişkisi (Şekil 5.11), eşitlik (5.11) Türkiye’de meydana gelen 575 depreme ait 259 adet depreme ait 271 kayıt kullanılarak geliştirilmiştir. Kullanılan deprem kayıtlarına ait depremlerin büyüklükleri  $3,5 \leq M_w \leq 7,4$  arasında değişmektedir.

$$c_1 < 6.5$$

$$\ln(Y) = a_1 + a_2(M - c_1) + a_4(8.5 - M)^2 + [a_5 + a_6(M - c_1)] \ln \sqrt{R_{jb}^2 + a_7^2} + a_8 F_N + a_9 F_R \quad (5.11)$$

$$c_1 > 6.5$$

$$\ln(Y) = a_1 + a_3(M - c_1) + a_4(8.5 - M)^2 + [a_5 + a_6(M - c_1)] \ln \sqrt{R_{jb}^2 + a_7^2} + a_8 F_N + a_9 F_R$$

PGA: Azalım ilişkisinden elde edilen ivme değeri ( $\text{cm/s}^2$ )

$R_{epi}$ : Episantr mesafesi (km)

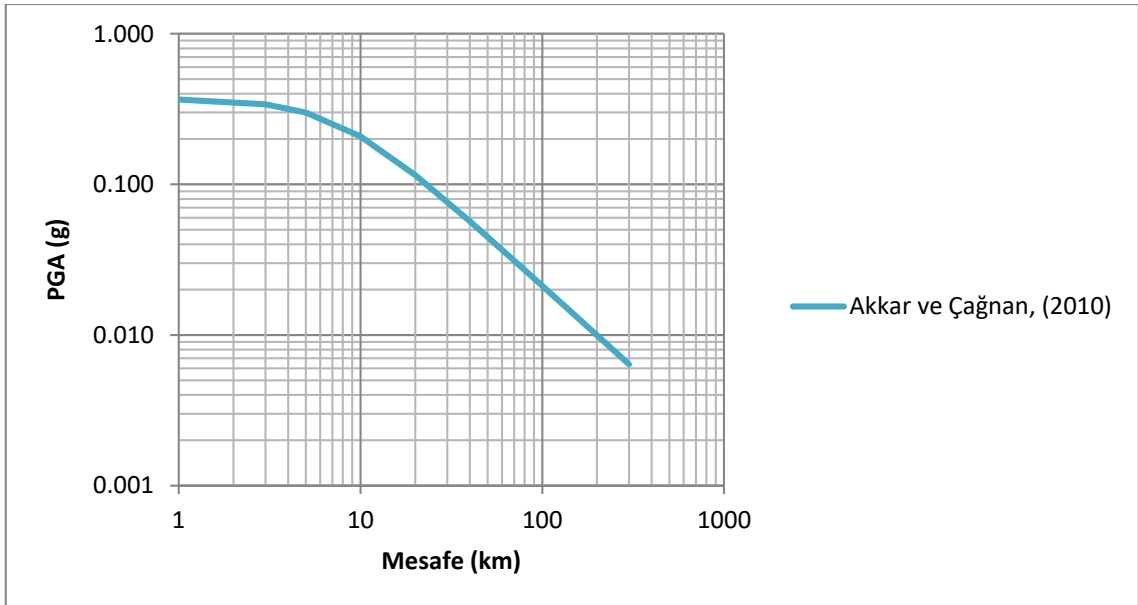
$M_w$ : Depreme ait moment büyüklüğü

Azalım ilişkisi eşitliğindeki katsayılar Tablo 5.17’de verilmiştir.

**Tablo 5.17.** Akkar ve Çağnan, (2010) azalım ilişkisi katsayıları

| Y<br>(gal) | $a_1$   | $a_2$   | $a_3$    | $a_4$    | $a_5$    |
|------------|---------|---------|----------|----------|----------|
|            | 8,92418 | -0,513  | -0,695   | -0,18555 | -1,25594 |
|            | $a_6$   | $a_7$   | $a_8$    | $a_9$    | $\sigma$ |
|            | 0,18105 | 7,33617 | -0,02125 | -0,01851 | 0,6527   |

Akkar ve Çağnan, (2010); azalım ilişkisinde herhangi bir zemin koşulu kullanılmamıştır.



**Şekil 5.11.** Akkar ve Çağnan (2010), azalım ilişkisi grafiği

### 5.5.Deterministik Sismik Tehlike Analizi (DSTA)

DSTA belirli bir zaman aralığında meydana gelmiş deprem verileri içinden deprem büyüklük değeri en büyük değere sahip deprem verisi kullanılarak bu depremin çalışma alanında meydana getirdiği deprem etkisini belirlemede kullanılan STA yöntemidir.

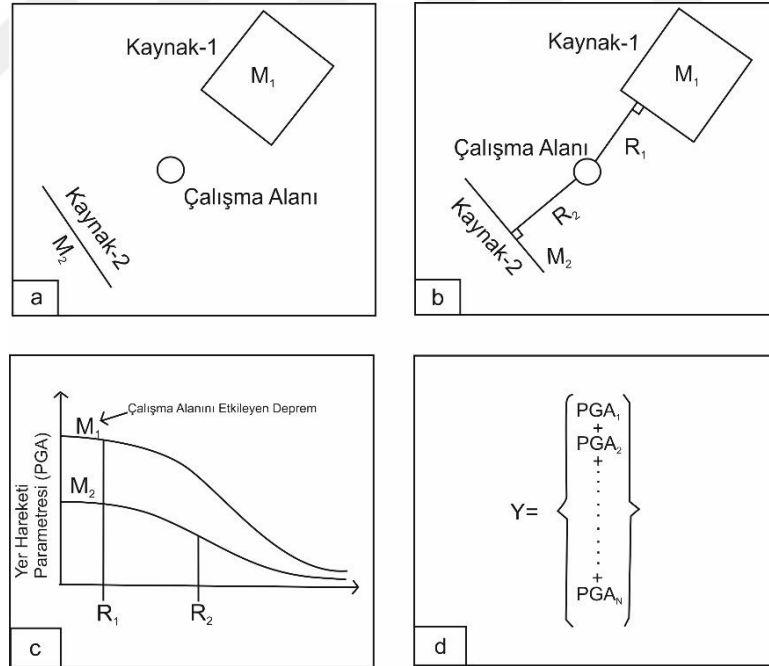
DSTA dört aşamadan oluşmaktadır (Reiter, 1990; Kramer, 1996) ve bu aşamalar (Şekil 5.12);

Belirli bir zaman aralığında çalışma alanı ve çevresinde meydana gelen depremler ve çalışma alanını etkileyeceği düşünülen sismik kaynaklar belirlenir,

Tüm deprem kaynaklarının çalışma alanına olan en yakın mesafe değerleri belirlenir,

Çalışma alanında en kuvvetli deprem sarsıntısını yaratacak (belirleyici depremin) sahip depremin seçilmesi,

Belirlenen deprem ve bu depreme ait deprem büyüklüğü değerinin Azalım İlişkileri kullanılarak çalışma alanını etkileyeceği ivme değerinin hesaplanmasıdır.



## 5.6. Probabilistik Sismik Tehlike Analizi (PSTA)

PSTA belirli bir zaman aralığında meydana gelen deprem verileri kullanılarak istenilen zaman aralıklarında ve istenilen aşılma olasılıklarına bağlı olarak çalışma alanı ve çevresinde oluşturacağı ivme değerlerinin belirlenmesi için kullanılan analiz yöntemidir.

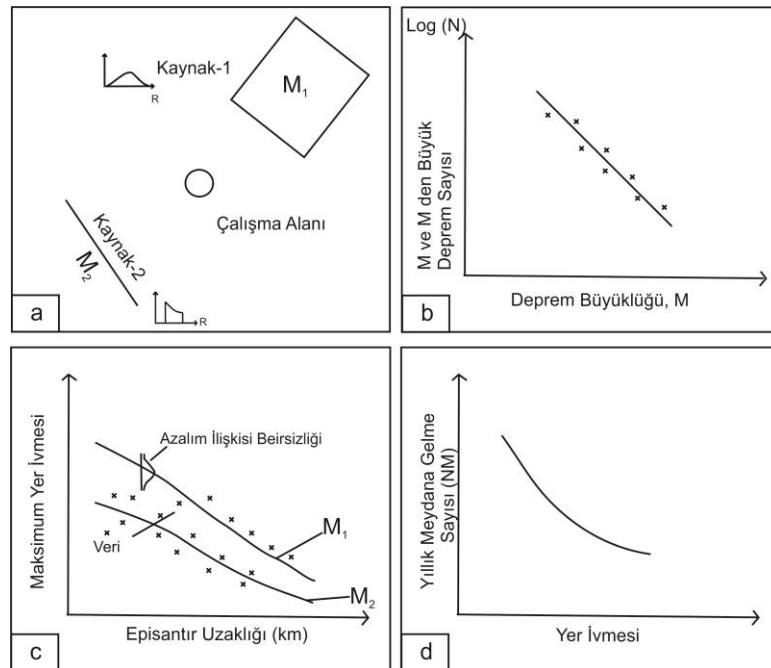
PSTA, DSTA'da kullanılan aşamalara büyük benzerlik gösteren dört aşamadan oluşur (Reiter, 1990; Kramer, 1996) ve bu aşamalar (Şekil 5.13);

Belirli bir zaman aralığında meydana gelen depremlerin belirlenmesi ve benzer özelliklere sahip deprem kaynak zonlarının belirlenir. Belirlenen deprem kaynak zonlarında deprem meydana gelme olasılıklarının kaynak zonlarının her yerinde aynı olduğu kabul edilir.

Her bir deprem kaynak zonu için deprem tekrarlanması zamansal olarak ortaya konulur ve bu zonlar için magnitüd-frekans ilişkisi belirlenir,

Deprem kaynak zonlarının herhangi bir yerinde meydana gelebilecek ve herhangi bir deprem büyüklüğü değerindeki depremin çalışma alanında meydana getireceği yer hareketi azalım ilişkileri ile belirlenmektedir ve bu aşamada analizde kullanılacak olan azalım ilişkisi belirlenir.

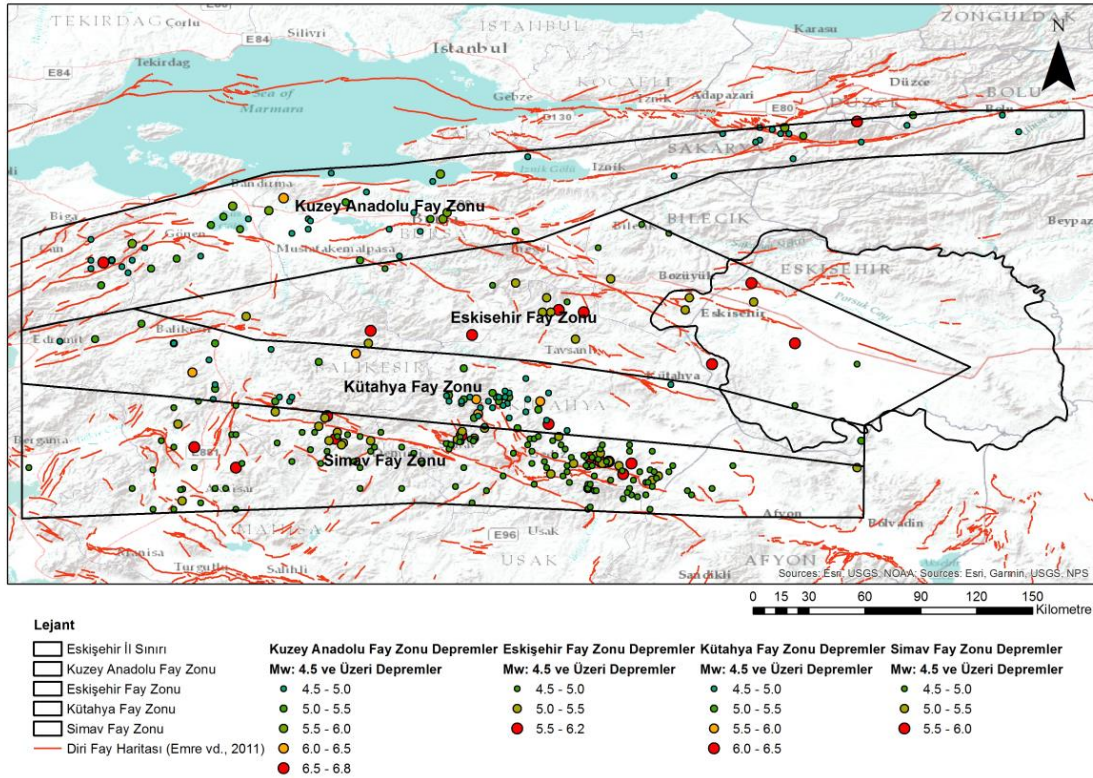
Çalışma alanını etkileyebilecek deprem büyüklüğü değerleri için aşılma olasılığı değerleri hesaplanır.



Şekil 5.13. Olasılıksal Sismik Tehlike Analizi Aşamaları (Kramer, 1996)

## 6. BULGULAR

Bölgeyi etkileyebilecek zonlar Orhan ve diğ .(2007) tarafından Şekil 6.1’deki gibi KAFZ, EFZ, KFZ ve SFZ olarak önerilmiştir. 1900-2018 yılları arasında KAFZ’de 61 adet, EFZ’de 28 adet, KFZ’de 57 adet ve SFZ 162 adet  $M_w=4,5$ ’tan büyük ve eşit deprem meydana gelmiştir. Önerilen fay zonları ve bu zonlarda meydana gelen depremler kullanılarak STA sonuçları elde edilmiştir.



Şekil 6.1. Eskişehir yerini etkileyen fay zonları ve bu fay zonlarında meydana gelen deprem büyüklükleri

DSTA, olabilecek en kötü deprem senaryosunu dikkate aldığından, her bir sismik zonda meydana gelen en büyük depremin ilgili zonun çalışma alanlarına en yakın noktasında meydana geldiği kabul etmektedir (Kramer, 1996). Bu kabule göre fay zonlarının Eskişehir yerleşim yerine en kısa mesafeleri; KAFZ 71 km, EFZ 13 km, KFZ 46 km, SFZ 77 km olarak belirlenmiştir (Tablo 6.1).

**Tablo 6.1.** Sismik zonların Eskişehir yerleşim yerine olan en yakın mesafe değerleri

| Sismik Zonlar | Mesafe (R (km)) |
|---------------|-----------------|
| KAFZ          | 71              |
| EFZ           | 13              |
| KFZ           | 46              |
| SFZ           | 77              |

Sismik zonlarda, 1900-2018 yılları arasında meydana gelen depremlerden Eskişehir yerleşim yerini etkilemiş en büyük depremler belirlenmiştir (Şekil 6.1, Tablo 6.2).

**Tablo 6.2.** Sismik zonlarda 1900-2018 yılları arasında meydana gelen en büyük deprem değerleri

| Sismik Zonlar | Deprem Tarihi                   | Deprem Büyüklüğü (Mw) |
|---------------|---------------------------------|-----------------------|
| KAFZ          | 18.03.1953 Yenice-Gönen Depremi | 6,8                   |
| EFZ           | 20.02.1956 Eskişehir Depremi    | 6,2                   |
| KFZ           | 28.03.1970 Gediz Depremi        | 6,2                   |
| SFZ           | 28.10.1942 Manisa Depremi       | 6,0                   |

Belirlenen deprem büyüklükleri, mesafe parametreleri ve çalışma kapsamında ele alınan azalım ilişkileri kullanılarak Deterministik Sismik Tehlike Analizi hesapları yapılmış ve elde edilen sonuçlar Tablo 6.3; Tablo 6.4; Tablo 6.5 ve Tablo 6.6'da verilmiştir.

**Tablo 6.3.** Fay zonlarında meydana gelen en büyük depremin Eskişehir Yerleşim Yerine olan etkisi (PGA, g, Genel Zemin Özelliklerine göre)

| PGA Değerleri<br>Hesaplanırken<br>Kullanılan<br>Azalım İlişkileri | PGA (g)                   |                       |                     |                   |
|-------------------------------------------------------------------|---------------------------|-----------------------|---------------------|-------------------|
|                                                                   | Kuzey Anadolu<br>Fay Zonu | Eskişehir<br>Fay Zonu | Kütahya<br>Fay Zonu | Simav<br>Fay Zonu |
|                                                                   | Mw=6,8<br>R=71 km         | Mw=6,2<br>R=13        | Mw=6,2<br>R=46 km   | Mw=6,0<br>R=77 km |
| Campbell (1981)                                                   | 0,041                     | 0,164                 | 0,040               | 0,016             |
| Joyner ve Boore (1981)                                            | 0,043                     | 0,205                 | 0,055               | 0,024             |
| Akkan ve Çağınan (2010)                                           | 0,021                     | 0,097                 | 0,022               | 0,009             |

**Tablo 6.4.** Fay zonlarında meydana gelen en büyük depremin Eskişehir Yerleşim Yerine olan etkisi (PGA, g, AB Zemin Sınıfı Özelliklerine göre)

| PGA Değerleri Hesaplanırken Kullanılan Azalım İlişkileri | PGA (g)                |                    |                   |                   |
|----------------------------------------------------------|------------------------|--------------------|-------------------|-------------------|
|                                                          | Kuzey Anadolu Fay Zonu | Eskişehir Fay Zonu | Kütahya Fay Zonu  | Simav Fay Zonu    |
|                                                          | Mw=6,8<br>R=71 km      | Mw=6,2<br>R=13 km  | Mw=6,2<br>R=46 km | Mw=6,0<br>R=77 km |
| Boore vd., (1993)                                        | 0,050                  | 0,129              | 0,051             | 0,031             |
| Boore vd., (1997)                                        | 0,048                  | 0,123              | 0,049             | 0,029             |
| Gülkan ve Kalkan, (2002)                                 | 0,071                  | 0,149              | 0,077             | 0,054             |
| Özbey vd., (2003)                                        | 0,037                  | 0,088              | 0,032             | 0,015             |
| Kalkan ve Gülkan, (2004)                                 | 0,052                  | 0,162              | 0,058             | 0,033             |
| Ulusay vd., (2004)                                       | 0,066                  | 0,151              | 0,073             | 0,032             |
| Çeken vd., (2008)                                        | 0,051                  | 0,131              | 0,049             | 0,027             |

**Tablo 6.5.** Fay zonlarında meydana gelen en büyük depremin Eskişehir Yerleşim Yerine olan etkisi (PGA, g, C Zemin Sınıfı Özelliklerine göre)

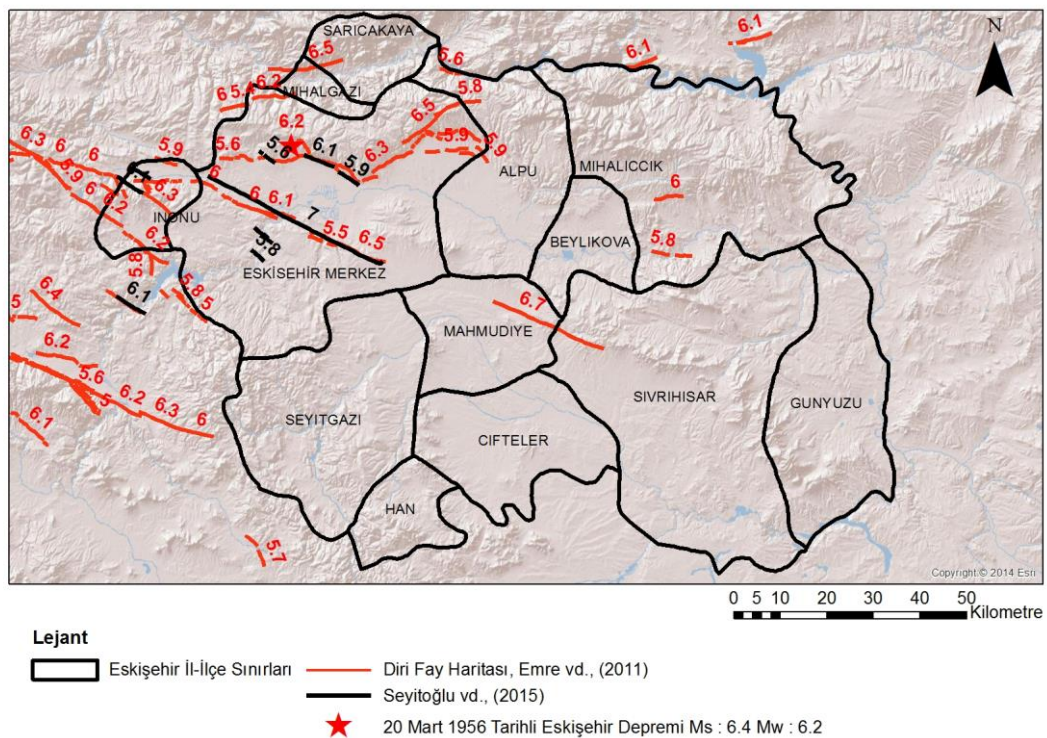
| PGA Değerleri Hesaplanırken Kullanılan Azalım İlişkileri | PGA (g)                |                    |                   |                   |
|----------------------------------------------------------|------------------------|--------------------|-------------------|-------------------|
|                                                          | Kuzey Anadolu Fay Zonu | Eskişehir Fay Zonu | Kütahya Fay Zonu  | Simav Fay Zonu    |
|                                                          | Mw=6,8<br>R=71 km      | Mw=6,2<br>R=13 km  | Mw=6,2<br>R=46 km | Mw=6,0<br>R=77 km |
| Boore vd., (1993)                                        | 0,071                  | 0,186              | 0,074             | 0,045             |
| Boore vd., (1997)                                        | 0,058                  | 0,149              | 0,059             | 0,036             |
| Gülkan ve Kalkan, (2002)                                 | 0,083                  | 0,176              | 0,089             | 0,064             |
| Özbey vd., (2003)                                        | 0,051                  | 0,122              | 0,045             | 0,021             |
| Kalkan ve Gülkan, (2004)                                 | 0,058                  | 0,181              | 0,064             | 0,036             |
| Ulusay vd., (2004)                                       | 0,078                  | 0,179              | 0,087             | 0,038             |
| Çeken vd., (2008)                                        | 0,063                  | 0,163              | 0,062             | 0,033             |

**Tablo 6.6.** Fay zonlarında meydana gelen en büyük depremin Eskişehir Yerleşim Yerine olan etkisi (PGA, g, D Zemin Sınıfı Özelliklerine göre)

| PGA Değerleri Hesaplanırken Kullanılan Azalım İlişkileri | PGA (g)                |                    |                   |                   |
|----------------------------------------------------------|------------------------|--------------------|-------------------|-------------------|
|                                                          | Kuzey Anadolu Fay Zonu | Eskişehir Fay Zonu | Kütahya Fay Zonu  | Simav Fay Zonu    |
|                                                          | Mw=6,8<br>R=71 km      | Mw=6,2<br>R=13 km  | Mw=6,2<br>R=46 km | Mw=6,0<br>R=77 km |
| Boore vd., (1993)                                        | 0,089                  | 0,232              | 0,092             | 0,056             |
| Boore vd., (1997)                                        | 0,076                  | 0,196              | 0,078             | 0,047             |
| Gülkan ve Kalkan, (2002)                                 | 0,102                  | 0,217              | 0,110             | 0,078             |
| Özbey vd., (2003)                                        | 0,079                  | 0,189              | 0,069             | 0,032             |
| Kalkan ve Gülkan, (2004)                                 | 0,067                  | 0,208              | 0,074             | 0,042             |
| Ulusay vd., (2004)                                       | 0,099                  | 0,228              | 0,111             | 0,049             |
| Çeken vd., (2008)                                        | 0,079                  | 0,204              | 0,077             | 0,042             |

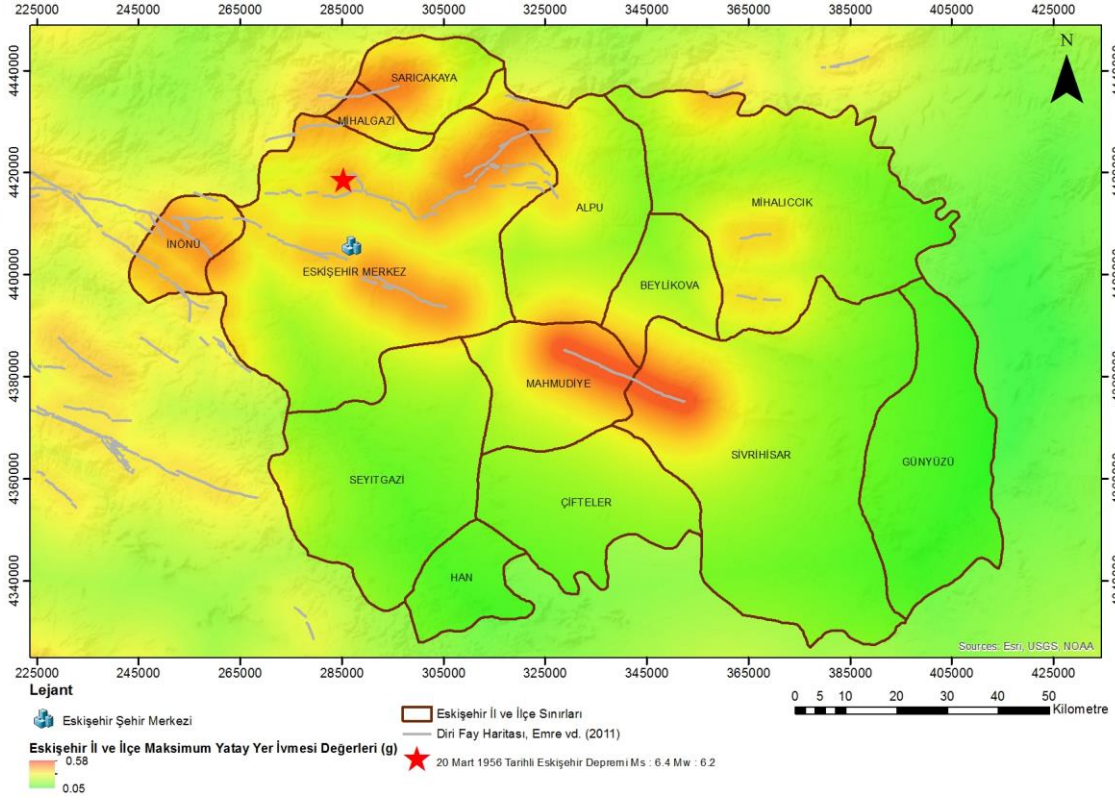
Eskişehir İl sınırları içerisindeki çizgisel kaynaklar (Emre vd., 2011; Seyitoğlu vd., 2015) ve noktasal kaynak olarak 20.02.1956 Eskişehir depremi kullanılarak yapılan DSTA hesaplarında çizgisel kaynakların meydana getireceği deprem büyüklükleri (Şekil 6.2.) Wells ve Coppersmith, (1994)'te geliştirmiş oldukları normal faylar için eşitlik (6.1), ters faylar için eşitlik (6.2), doğrultu atımlı faylar için eşitlik (6.3) ve fay özelliği bilinmeyen geliştirdikleri eşitlik (6.4) ile hesaplanmıştır. Çizgisel kaynakların meydana getirebileceği deprem büyüklüğü değerleri kullanılarak Joyner ve Boore, (1981) azalımı ilişkisi ile ivme değerleri CBS ortamında hesaplan ve haritalandırılmıştır (Şekil 6.3 ve Şekil 6.4).

$$M_w = 5,08 + 1,16x \log(L) \quad (6.4)$$



**Şekil 6.2.** Eskişehir Yerleşim Yeri ve Çevresinde Bulunan Fayların meydana getirebileceği deprem büyüklüğü değerleri

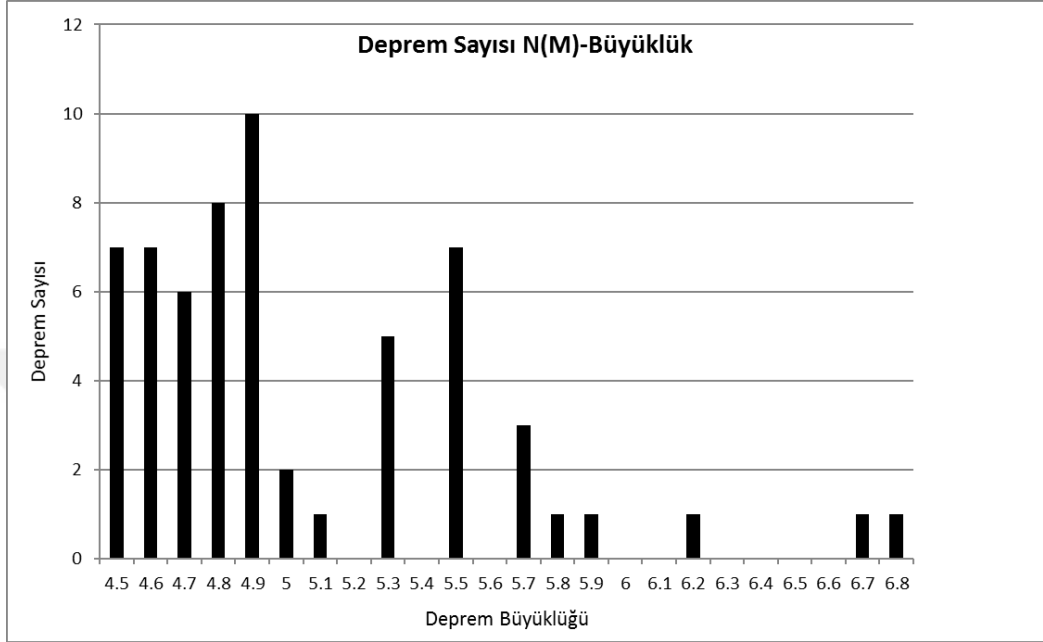
Çizgisel kaynaklar için yapılan analizde iki farklı senaryo söz konusudur. Birinci senaryoda Emre vd., (2011)'de verilen çizgisel kaynakların kırılmasıyla ve noktasal kaynak olarak 20.02.1956 Eskişehir depreminin meydana getireceği ivme değerleri elde edilmiştir. (Şekil 6.3).



**Şekil 6.3.** Joyner ve Boore (1981) azalım ilişkisi kullanılarak ve 20.02.1956 depremi ve Emre vd., (2011)'de bulunan fayların meydana getireceği ivme değerleri haritası (Güney vd., 2014'ten güncellenmiştir.)

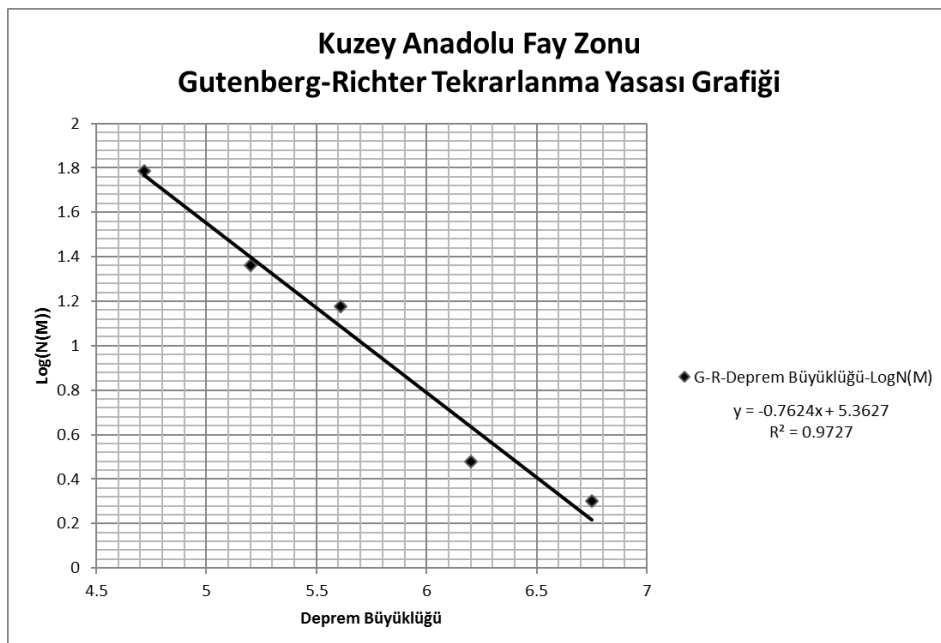


KAFZ için çizilen histogram grafiğinde küçük depremlerin daha sık meydana geldiği gözlemlenmektedir (Şekil 6.5).



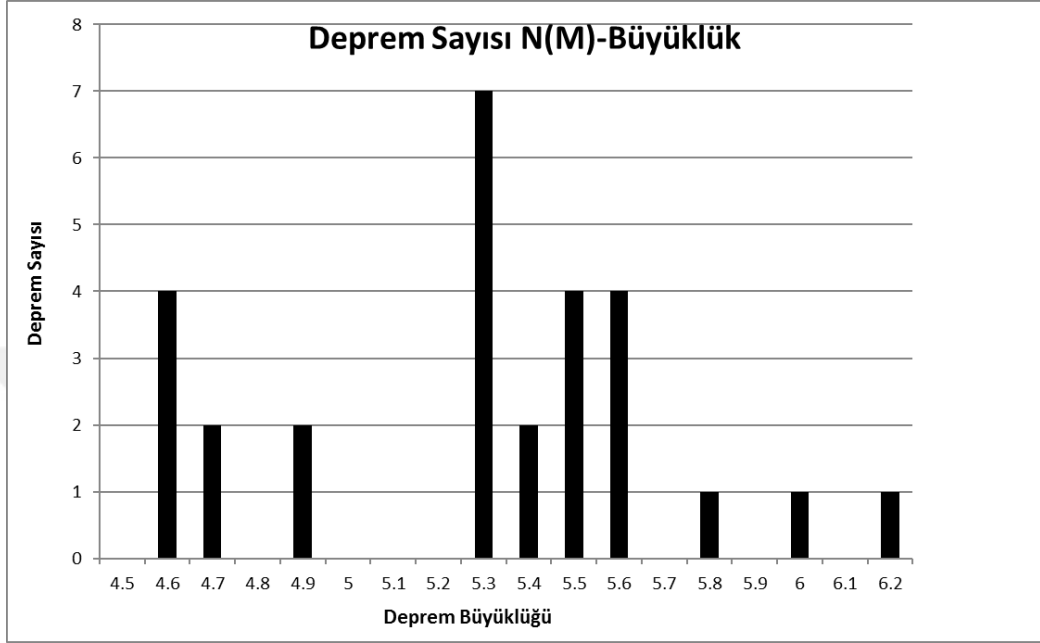
Şekil 6.5. KAFZ’nda meydana gelen depremlerin histogram grafiği

KAFZ için çizilen Gutenberg-Richter Tekrarlanma Yasası grafiğinden “a” katsayısı 5.3627 ve “b” katsayısı 0.7624 olarak elde edilmiştir (Şekil 6.6).



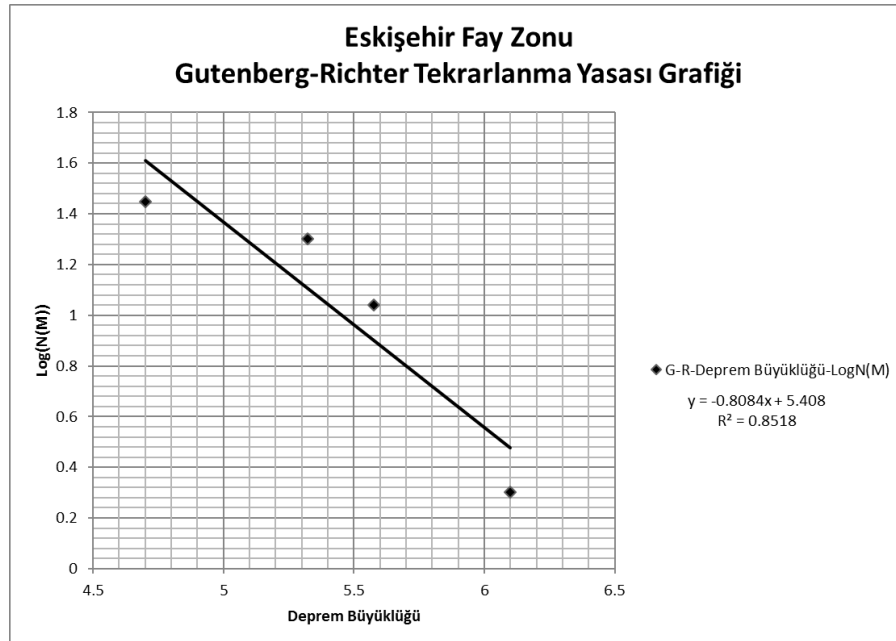
**Şekil 6.6.** KAFZ için Gutenberg Richter tekrarlanma doğrusu

EFZ için çizilen histogram grafiğinde küçük depremlerin oldukça az meydana geldiği gözlemlenmektedir (Şekil 6.7)



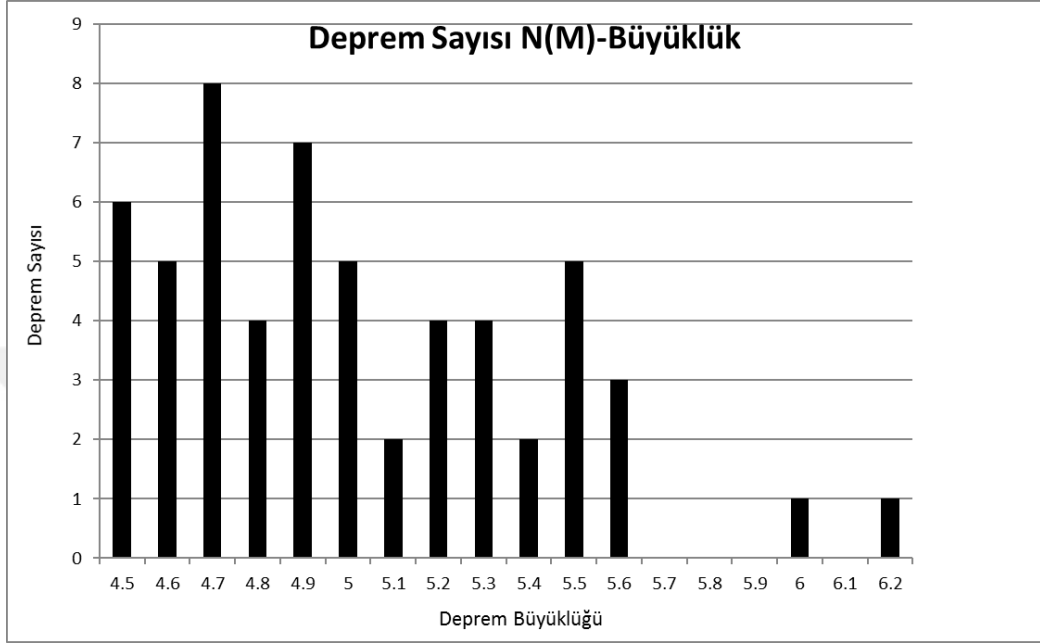
**Şekil 6.7.** EFZ’nda meydana gelen depremlerin histogram grafiği

EFZ için çizilen Gutenberg-Richter Tekrarlanma Yasası grafiğinden “a” katsayısı 5.408 ve “b” katsayısı 0.8084 olarak elde edilmiştir (Şekil 6.8).



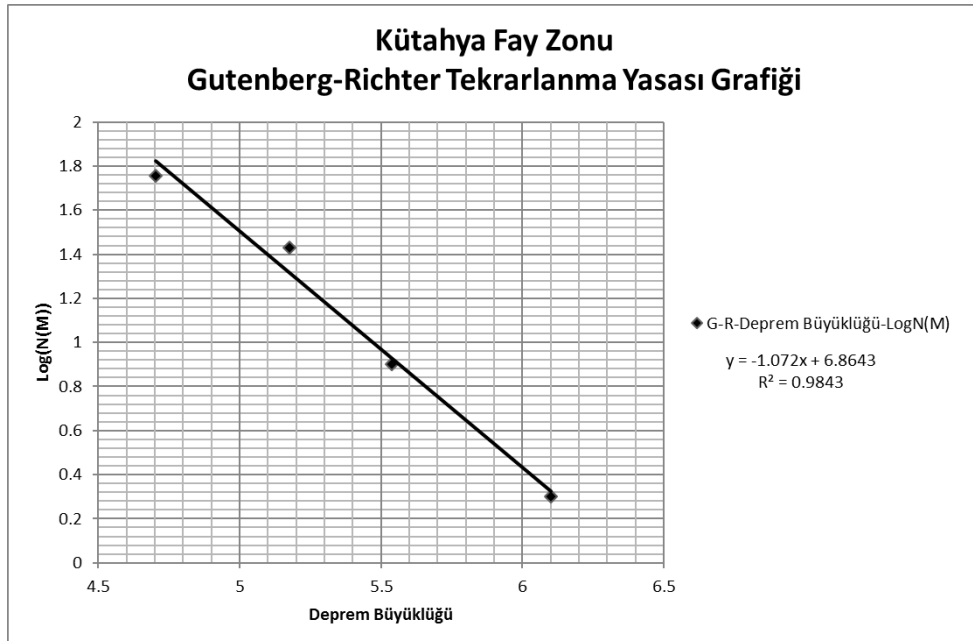
Şekil 6.8. EFZ için Gutenberg Richter tekrarlanma doğrusu

KFZ için çizilen histogram grafiğinde küçük depremlerin daha sık meydana geldiği gözlemlenmektedir (Şekil 6.9)



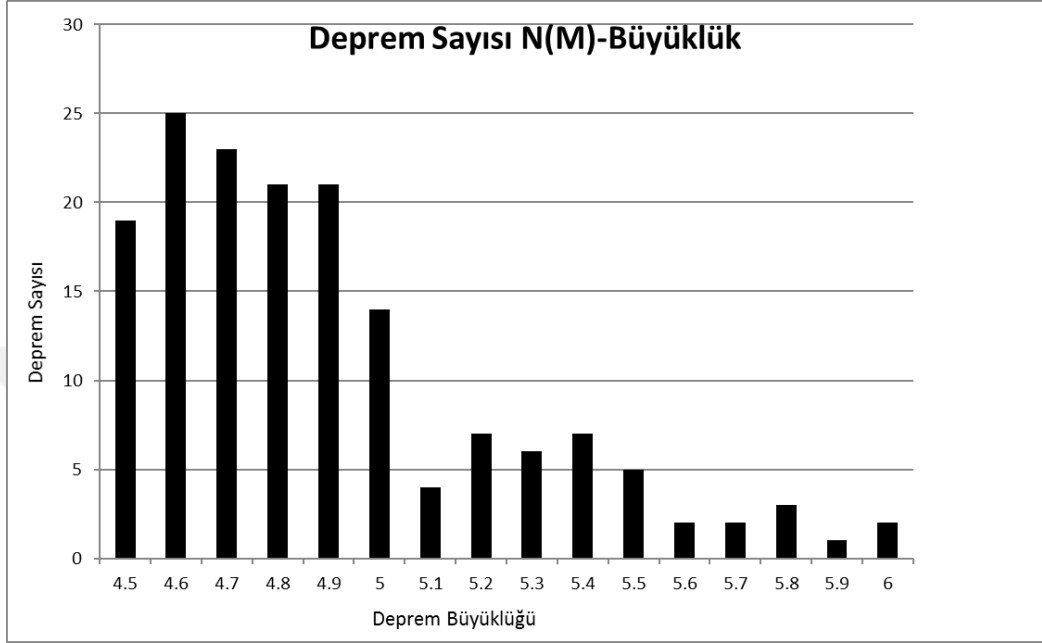
Şekil 6.9. KFZ meydana gelen depremlerin histogram grafiği

KFZ için çizilen Gutenberg-Richter Tekrarlanma Yasası grafiğinden “a” katsayısı 6.8643 ve “b” katsayısı 1.072 olarak elde edilmiştir (Şekil 6.10).



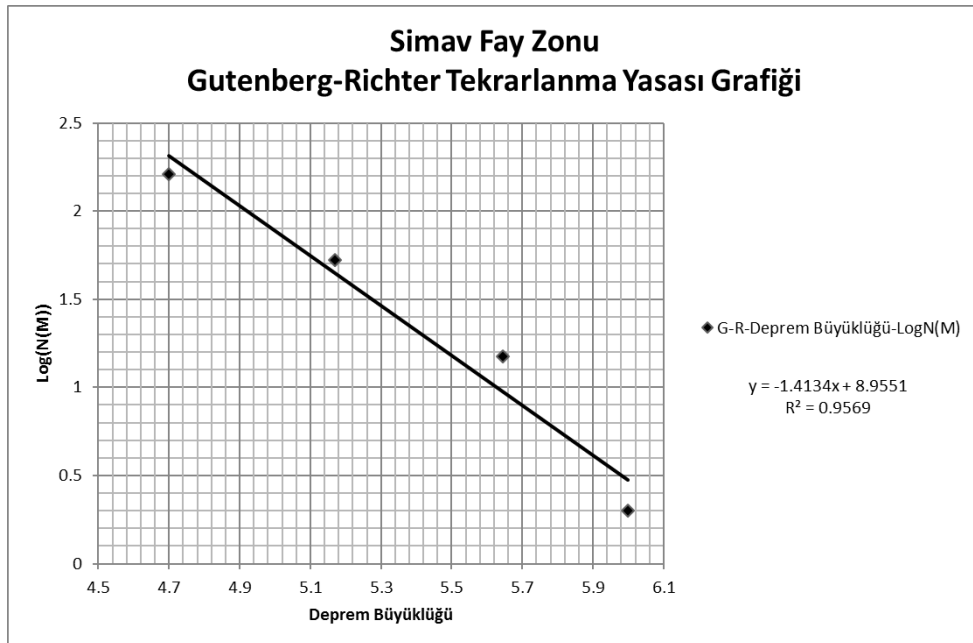
**Şekil 6.10.** KFZ için Gutenberg Richter tekrarlanma yasası doğrusu

SFZ için çizilen histogram grafiğinde küçük depremlerin daha sık meydana geldiği gözlemlenmektedir (Şekil 6.11)



**Şekil 6.11.** Simav Fay Zonu meydana gelen depremlerin histogram grafiği

SFZ için çizilen Gutenberg-Richter Tekrarlanma Yasası grafiğinden “a” katsayısı 8.9551 ve “b” katsayısı 1.4134 olarak elde edilmiştir (Şekil 6.12).



**Şekil 6.12.** SFZ için Gutenberg Richter tekrarlanma yasası doğrusu

Gutenberg-Richter tekrarlanma yasasına göre Eskişehir yerleşim yeri ve çevresini etkileyebilecek sismik zonlarının “a” ve “b” katsayıları belirlenmiştir (Tablo 6.7). Belirlenen zaman aralığında elde edilen “a” ve “b” katsayılarına bakıldığında sırasıyla depremsellikleri karşılaştırmak gerekirse, SFZ bu zaman diliminde depremselliğin en aktif olduğu bölge olarak birinci sırada yer alır ve KFZ, EFZ ve KAFZ depremsellik olarak SFZ’den sonra gelmektedir.

**Tablo 6.7.** Fay zonlarına ait Gutenberg-Richter tekrarlanma yasası katsayıları

| Sismik Zonlar | a      | b      | R <sup>2</sup> |
|---------------|--------|--------|----------------|
| KAFZ          | 5.3627 | 0.7624 | 0.9727         |
| EFZ           | 5.4080 | 0.8084 | 0.8518         |
| KFZ           | 6.8643 | 1.072  | 0.9843         |
| SFZ           | 8.9551 | 1.4134 | 0.9569         |

Çalışma kapsamında her bir fay zonu için Poisson Olasılık Dağılım Modeli kullanılarak belirlenen deprem büyüklüğü değerleri için 10, 20, 30, .... 100 yılda meydana gelme olasılığı değerleri hesaplanmış ve belirlenen deprem büyüklüklerinin tekrarlanma periyotları hesaplanmıştır.

KAFZ için belirlenen deprem büyüklüğü değerleri için 10 yılda meydana gelme olasılığı, 20 yılda meydana gelme olasılığı ve her 10 yıl artış için olasılık değerleri 100 yılda meydana gelme olasılığı değerine kadar ayrı ayrı hesaplanmıştır (Tablo 6.8).

**Tablo 6.8.** KAFZ için meydana gelebilecek depremlere ait olasılık değerleri ve tekrarlanma periyotları

| N(M)  | Deprem Büyüklüğü | Yıl  |       |       |       |       |       |       |       |       |       | Periyod |
|-------|------------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|
|       |                  | 10   | 20    | 30    | 40    | 50    | 60    | 70    | 80    | 90    | 100   |         |
| 0,526 | 4,5              | 99,5 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 2       |
| 0,219 | 5,0              | 88,8 | 98,7  | 99,9  | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 5       |
| 0,091 | 5,5              | 59,7 | 83,8  | 93,5  | 97,4  | 98,9  | 99,6  | 99,8  | 99,9  | 100,0 | 100,0 | 11      |
| 0,038 | 6,0              | 31,5 | 53,0  | 67,8  | 77,9  | 84,9  | 89,6  | 92,9  | 95,1  | 96,7  | 97,7  | 26      |
| 0,016 | 6,5              | 14,5 | 26,9  | 37,6  | 46,6  | 54,4  | 61,0  | 66,7  | 71,5  | 75,7  | 79,2  | 64      |
| 0,007 | 7,0              | 6,3  | 12,2  | 17,8  | 23,0  | 27,8  | 32,4  | 36,7  | 40,7  | 44,4  | 47,9  | 153     |

EFZ için belirlenen deprem büyüklüğü değerleri için 10 yılda meydana gelme olasılığı, 20 yılda meydana gelme olasılığı ve her 10 yıl artış için olasılık değerleri 100 yılda meydana gelme olasılığı değerine kadar ayrı ayrı hesaplanmıştır (Tablo 6.9).

**Tablo 6.9.** EFZ için meydana gelebilecek depremlere ait olasılık değerleri ve tekrarlanma periyodları

| N(M)  | Deprem Büyüklüğü | Yıl  |       |       |       |       |       |       |       |       |       | Periyod |
|-------|------------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|
|       |                  | 10   | 20    | 30    | 40    | 50    | 60    | 70    | 80    | 90    | 100   |         |
| 0,504 | 4,5              | 99,4 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 2       |
| 0,199 | 5,0              | 86,3 | 98,1  | 99,7  | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 5       |
| 0,078 | 5,5              | 54,3 | 79,1  | 90,5  | 95,6  | 98,0  | 99,1  | 99,6  | 99,8  | 99,9  | 100,0 | 13      |
| 0,031 | 6,0              | 26,6 | 46,1  | 60,4  | 70,9  | 78,6  | 84,3  | 88,5  | 91,5  | 93,8  | 95,4  | 32      |
| 0,012 | 6,5              | 11,5 | 21,6  | 30,6  | 38,6  | 45,6  | 51,8  | 57,4  | 62,2  | 66,6  | 70,4  | 82      |
| 0,005 | 7,0              | 4,7  | 9,2   | 13,4  | 17,5  | 21,3  | 25,0  | 28,5  | 31,9  | 35,1  | 38,1  | 208     |

KFZ için belirlenen deprem büyüklüğü değerleri için 10 yılda meydana gelme olasılığı, 20 yılda meydana gelme olasılığı ve her 10 yıl artış için olasılık değerleri 100 yılda meydana gelme olasılığı değerine kadar ayrı ayrı hesaplanmıştır (Tablo 6.10).

**Tablo 6.10.** KFZ için meydana gelebilecek depremlere ait olasılık değerleri ve tekrarlanma periyodları

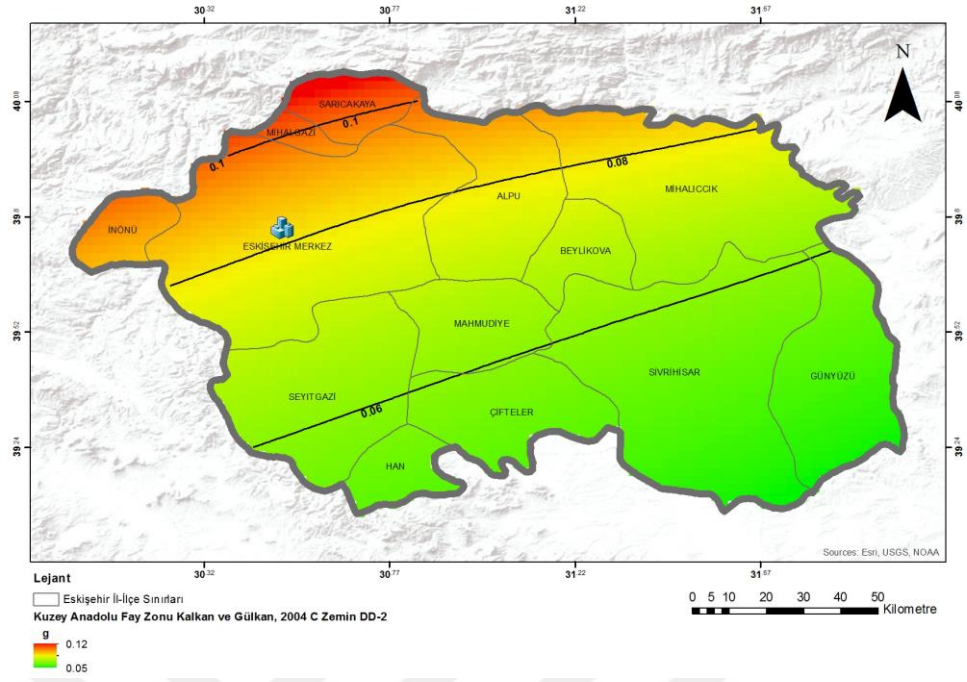
| N(M)  | Deprem Büyüklüğü | Yıl   |       |       |       |       |       |       |       |       |       | Periyod |
|-------|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|
|       |                  | 10    | 20    | 30    | 40    | 50    | 60    | 70    | 80    | 90    | 100   |         |
| 1,086 | 4,5              | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 1       |
| 0,316 | 5,0              | 95,8  | 99,8  | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 3       |
| 0,092 | 5,5              | 60,1  | 84,1  | 93,7  | 97,5  | 99,0  | 99,6  | 99,8  | 99,9  | 100,0 | 100,0 | 11      |
| 0,027 | 6,0              | 23,5  | 41,5  | 55,2  | 65,7  | 73,8  | 79,9  | 84,7  | 88,3  | 91,0  | 93,1  | 37      |
| 0,008 | 6,5              | 7,5   | 14,4  | 20,8  | 26,8  | 32,3  | 37,4  | 42,0  | 46,4  | 50,4  | 54,1  | 128     |

KAFZ için belirlenen deprem büyüklüğü değerleri için 10 yılda meydana gelme olasılığı, 20 yılda meydana gelme olasılığı ve her 10 yıl artış için olasılık değerleri 100 yılda meydana gelme olasılığı değerine kadar ayrı ayrı hesaplanmıştır (Tablo 6.11).

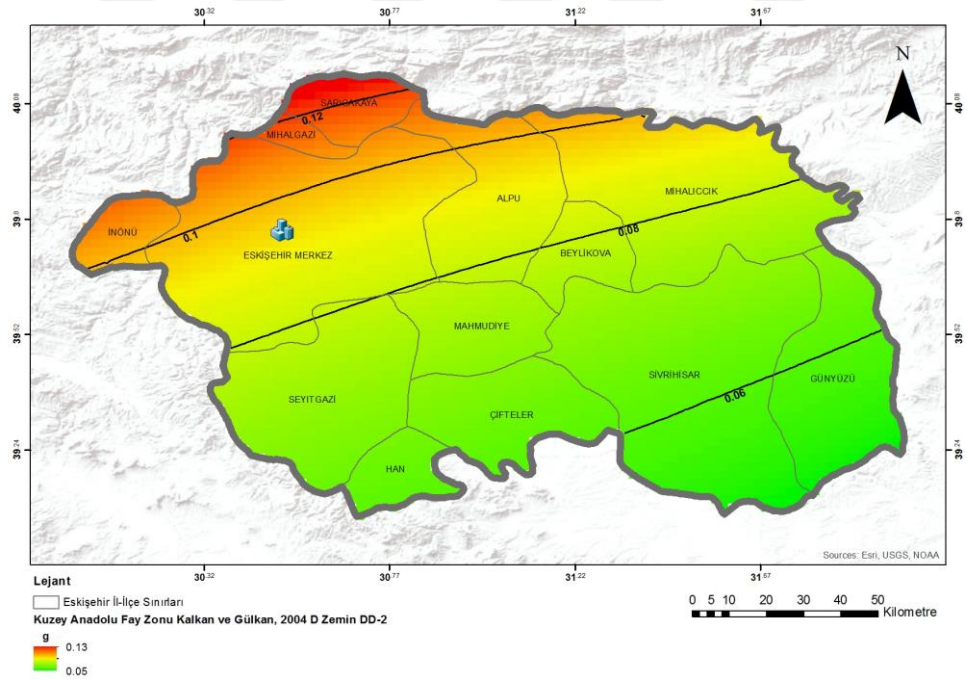
**Tablo 6.11.** SFZ için meydana gelebilecek depremlere ait olasılık değerleri ve tekrarlanma periyodları

| N(M)  | Deprem Büyüklüğü | Yıl   |       |       |       |       |       |       |       |       |       | Periyod |
|-------|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|
|       |                  | 10    | 20    | 30    | 40    | 50    | 60    | 70    | 80    | 90    | 100   |         |
| 3,241 | 4,5              | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 1       |
| 0,637 | 5                | 99,8  | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 2       |
| 0,125 | 5,5              | 71,4  | 91,8  | 97,7  | 99,3  | 99,8  | 99,9  | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 8       |
| 0,025 | 6                | 21,8  | 38,8  | 52,2  | 62,6  | 70,7  | 77,1  | 82,1  | 86,0  | 89,1  | 91,4  | 41      |
| 0,005 | 6,5              | 1,7   | 3,3   | 4,9   | 6,5   | 8,0   | 9,5   | 11,0  | 12,5  | 14,0  | 15,4  | 207     |





Şekil 6.14. KAFZ Kalkan ve Gülkan, (2004) azalim ilişkisi C zemin sınıfına göre STA haritası (DD-2, 50 yılda %10 aşılma olasılığı ve 475 yıllık tekrarlanma periyodu)



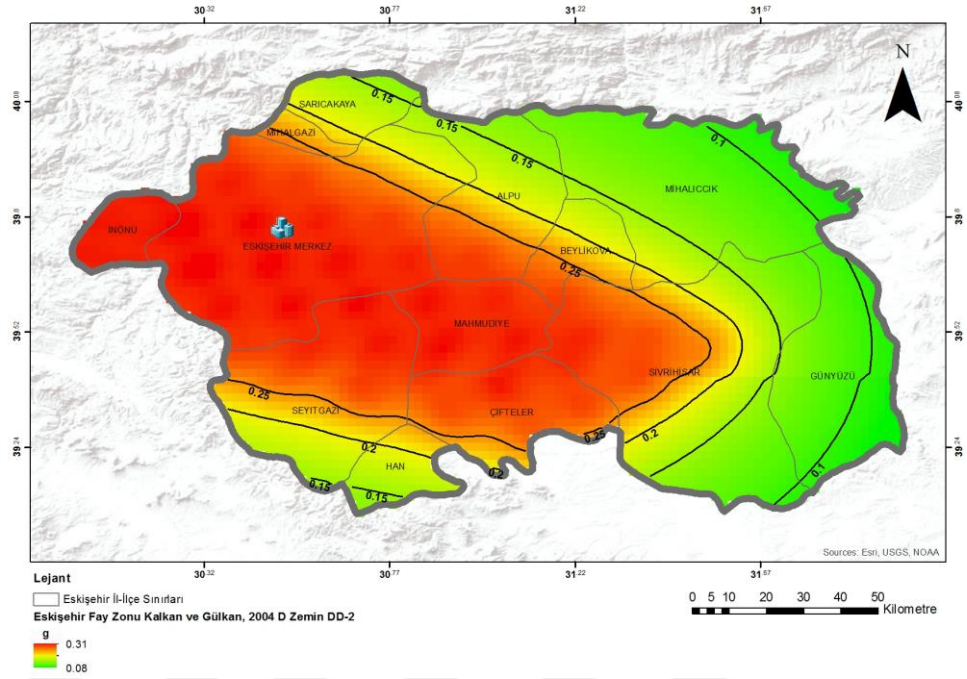
Şekil 6.15. KAFZ Kalkan ve Gülkan, (2004) azalim ilişkisi D zemin sınıfına göre STA haritası (DD-2, 50 yılda %10 aşılma olasılığı ve 475 yıllık tekrarlanma periyodu)



**Şekil 6.16.** EFZ Kalkan ve Gükkan, (2004) azalım ilişkisi AB zemin sınıfına göre STA haritası (DD-2, 50 yılda %10 aşılma olasılığı ve 475 yıllık tekrarlanma periyodu)

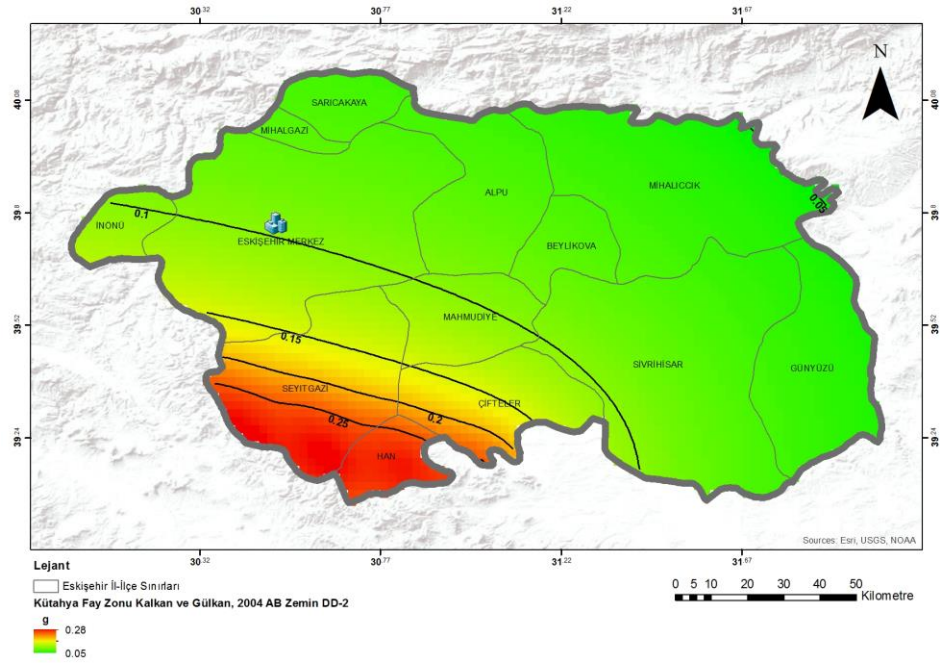


**Şekil 6.17.** EFZ Kalkan ve Gülkan, (2004) azalım ilişkisi C zemin sınıfına göre STA haritası (DD-2, 50 yılda %10 aşılma olasılığı ve 475 yıllık tekrarlanma periyodu)

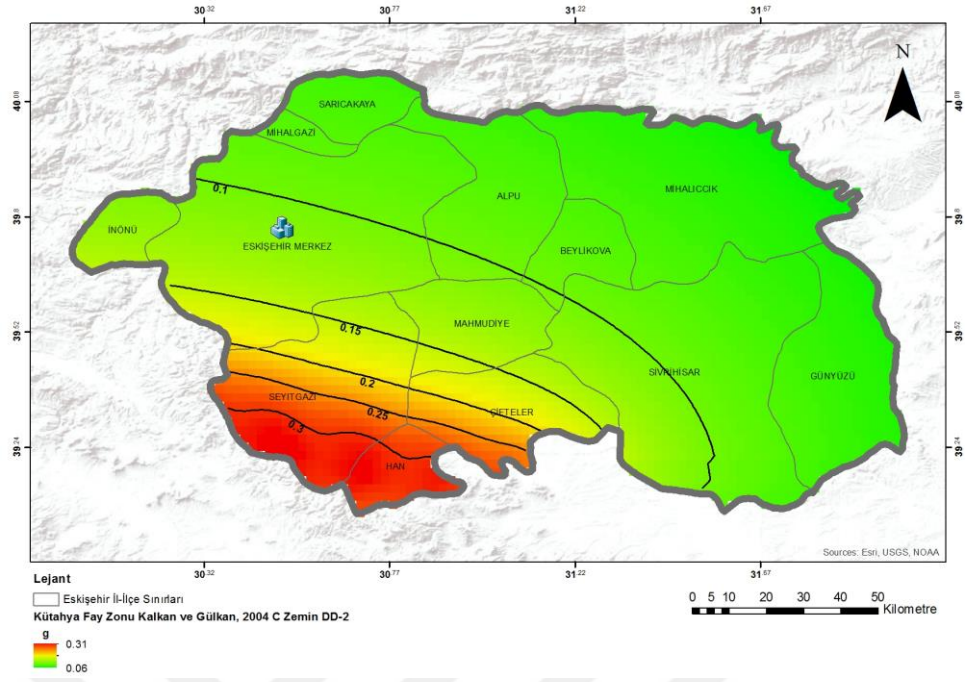


Şekil 6.18. EFZ Kalkan ve Gülkan, (2004) azalım ilişkisi D zemin sınıfına göre STA haritası (DD-2, 50 yılda %10 aşılma olasılığı ve 475 yıllık tekrarlanma periyodu)

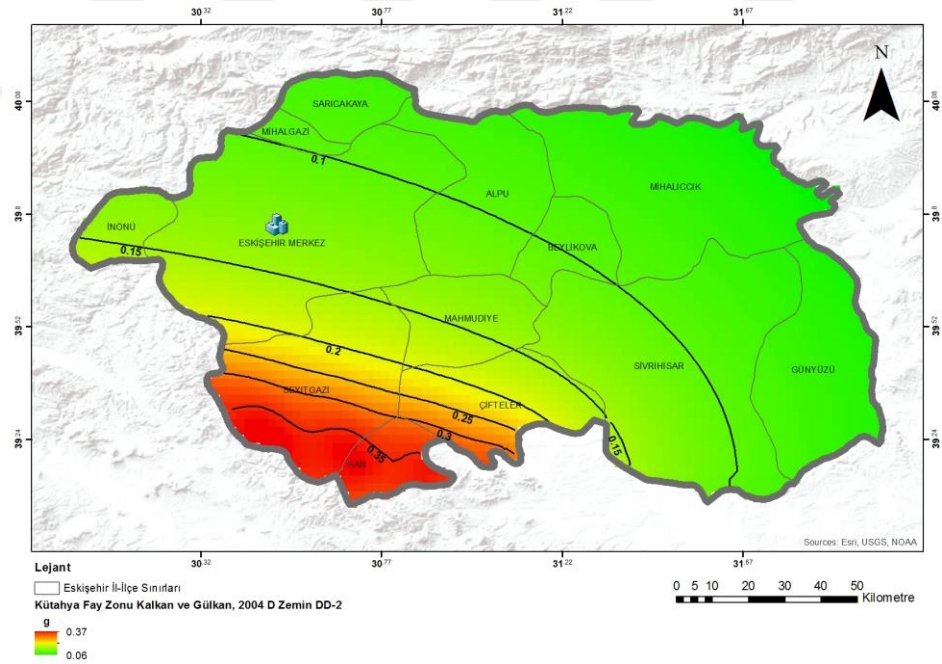
Kalkan ve Gülkan., (2004), azalım ilişkisine göre DD-2 Yer Hareketi Düzeyinde hazırlanan ivme haritalarında KFZ Eskişehir İl sınırının güneyinde kalan bölgelerde deprem tehlikesi bakımından daha fazla risk yaratmaktadır (Şekil 6.19; Şekil 6.20; Şekil 6.21).



Şekil 6.19. KFZ Kalkan ve Gülkan, (2004) azalım ilişkisi AB zemin sınıfına göre STA haritası (DD-2, 50 yılda %10 aşılma olasılığı ve 475 yıllık tekrarlanma periyodu)

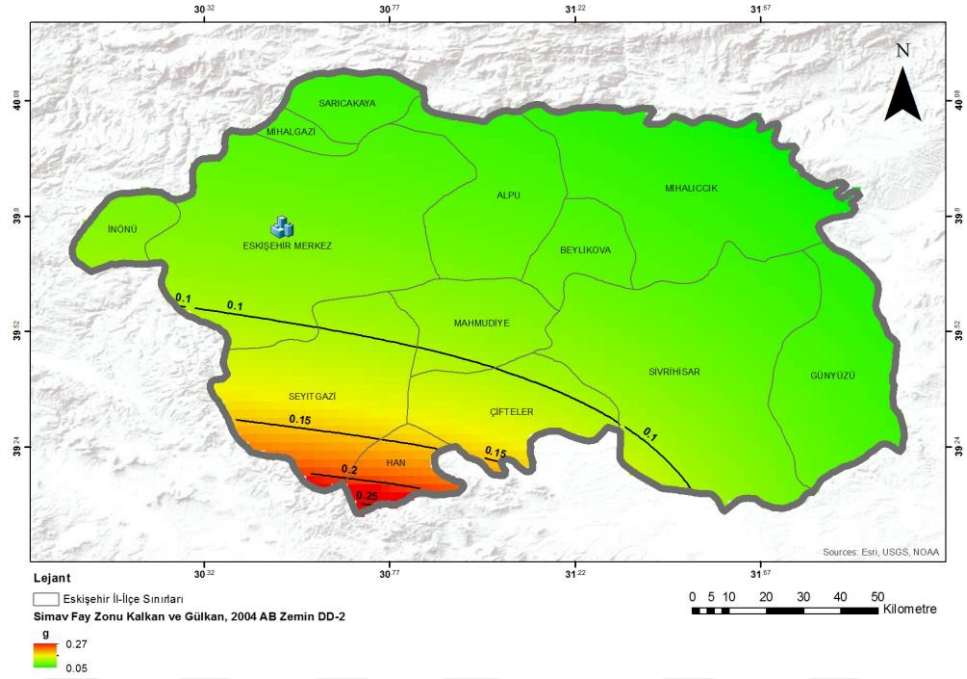


Şekil 6.20. KFZ Kalkan ve Gülkan, (2004) azalım ilişkisi C zemin sınıfına göre STA haritası (DD-2, 50 yılda %10 aşılma olasılığı ve 475 yıllık tekrarlanma periyodu)

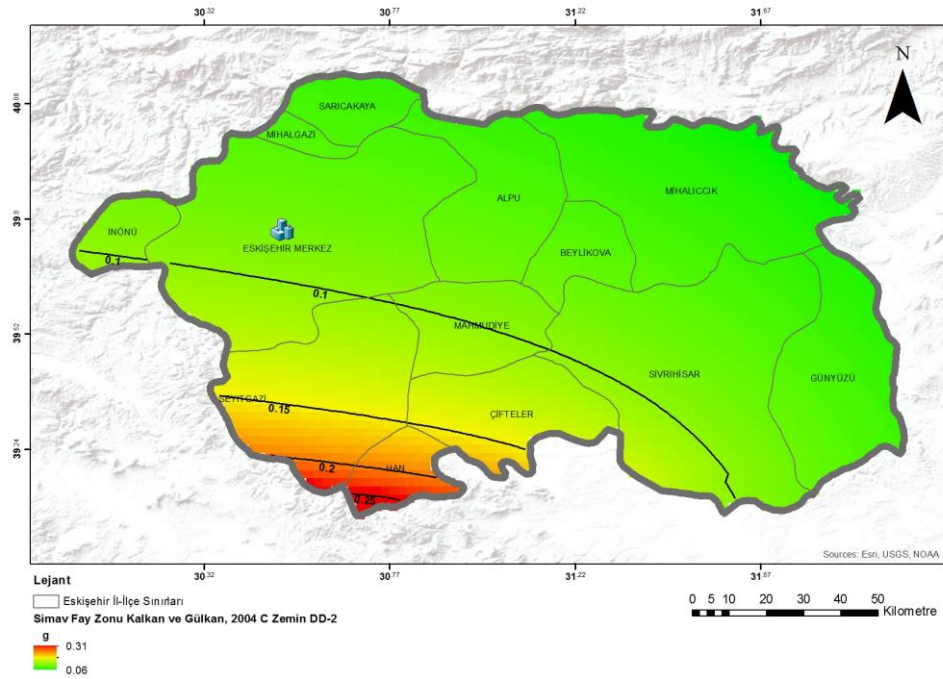


Şekil 6.21. KFZ Kalkan ve Gülkan, (2004) azalım ilişkisi D zemin sınıfına göre STA haritası (DD-2, 50 yılda %10 aşılma olasılığı ve 475 yıllık tekrarlanma periyodu)

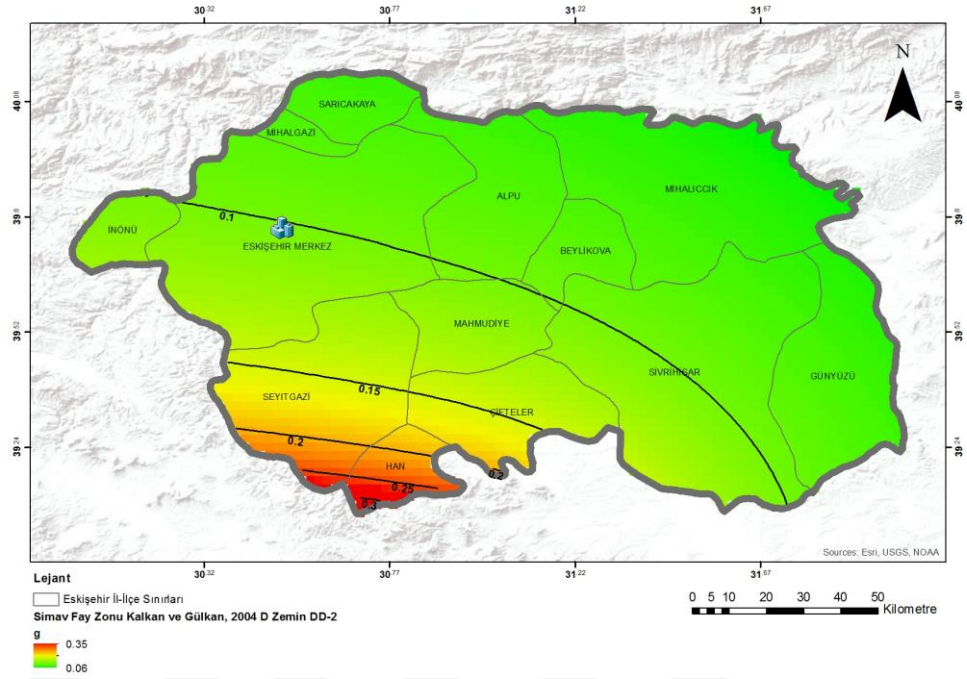
Kalkan ve Gülkan., (2004), azalım ilişkisine göre DD-2 Yer Hareketi Düzeyinde hazırlanan ivme haritalarında SFZ Eskişehir İl sınırının güneyinde kalan bölgelerde deprem tehlikesi bakımından daha fazla risk yaratmaktadır (Şekil 6.22; Şekil 6.23; Şekil 6.24).



Şekil 6.22. SFZ Kalkan ve Gülkan, (2004) azalım ilişkisi AB zemin sınıfına göre STA haritası (DD-2, 50 yılda %10 aşılma olasılığı ve 475 yıllık tekrarlanma periyodu)

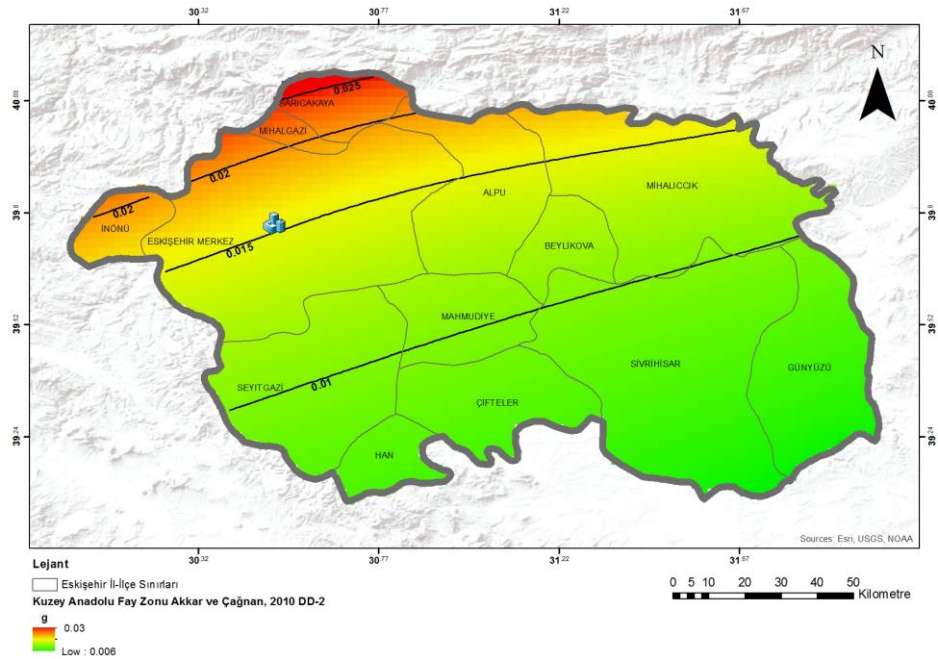


Şekil 6.23. SFZ Kalkan ve Gülkan, (2004) azalım ilişkisi B zemin sınıfına göre STA haritası (DD-2, 50 yılda %10 aşılma olasılığı ve 475 yıllık tekrarlanma periyodu)



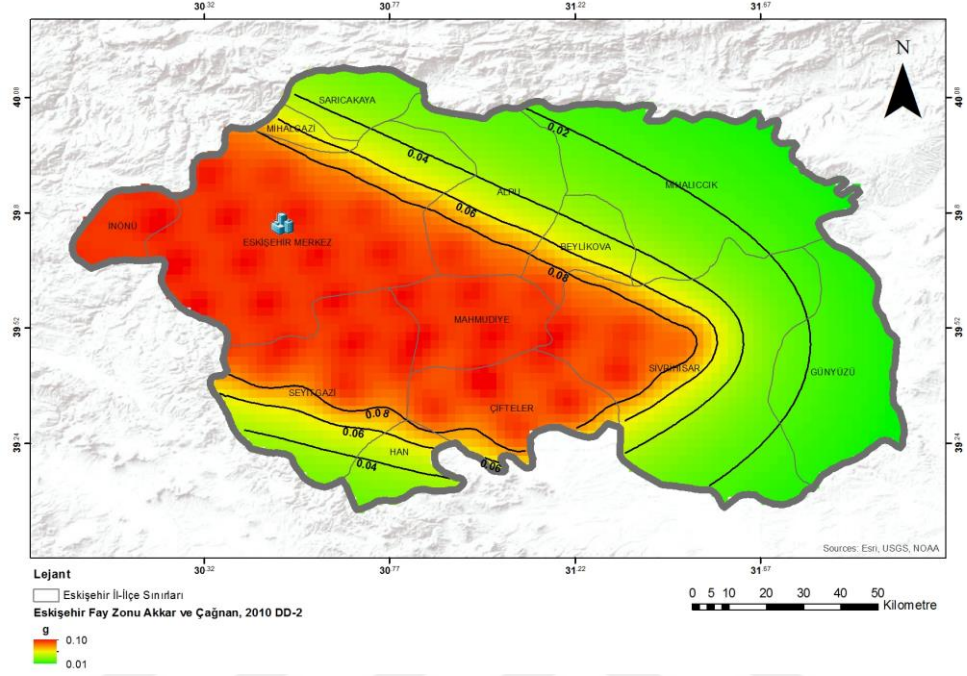
Şekil 6.24. SFZ Kalkan ve Gülkan, (2004) azalım ilişkisi C zemin sınıfına göre STA haritası (DD-2, 50 yılda %10 aşılma olasılığı ve 475 yıllık tekrarlanma periyodu)

Akkar ve Çağnan, (2010), azalım ilişkisine göre DD-2 Yer Hareketi Düzeyinde hazırlanan ivme haritalarında KAFFZ Eskişehir İl sınırının güneyinde kalan bölgelerde deprem tehlikesi bakımından daha fazla risk yaratmaktadır (Şekil 6.25).



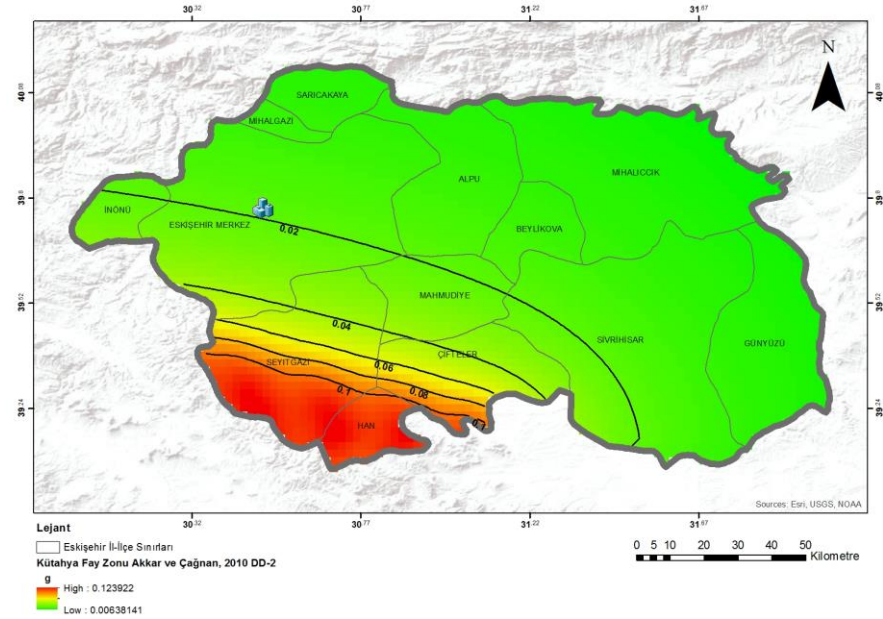
Şekil 6.25. KAFZ Akkar ve Çağnan, (2010) azalım ilişkisi STA haritası (DD-2, 50 yılda %10 aşılma olasılığı ve 475 yıllık tekrarlanma periyodu)

Akkar ve Çağnan, (2010), azalım ilişkisine göre DD-2 Yer Hareketi Düzeyinde hazırlanan ivme haritalarında ESKFZ Eskişehir yerleşim yeri ve çevresinde kalan bölgelerde deprem tehlikesi bakımından daha fazla risk yaratmaktadır (Şekil 6.26).



Şekil 6.26. EFZ Akkar ve Çağnan, (2010) azalım ilişkisi STA haritası (DD-2, 50 yılda %10 aşılma olasılığı ve 475 yıllık tekrarlanma periyodu)

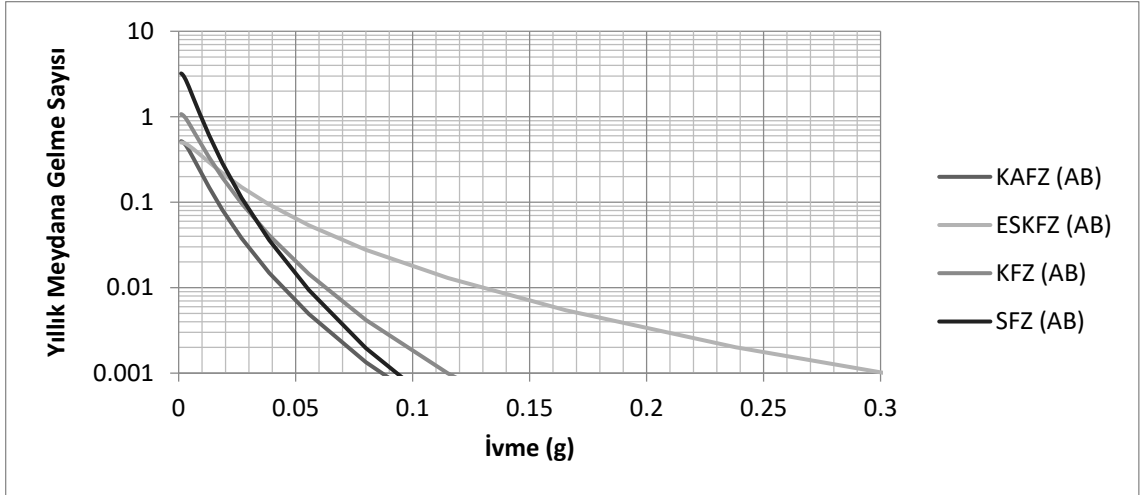
Akkar ve Çağnan, (2010), azalım ilişkisine göre DD-2 Yer Hareketi Düzeyinde hazırlanan ivme haritalarında KFZ Eskişehir İl sınırı güneyinde kalan bölgelerde deprem tehlikesi bakımından daha fazla risk yaratmaktadır (Şekil 6.27).



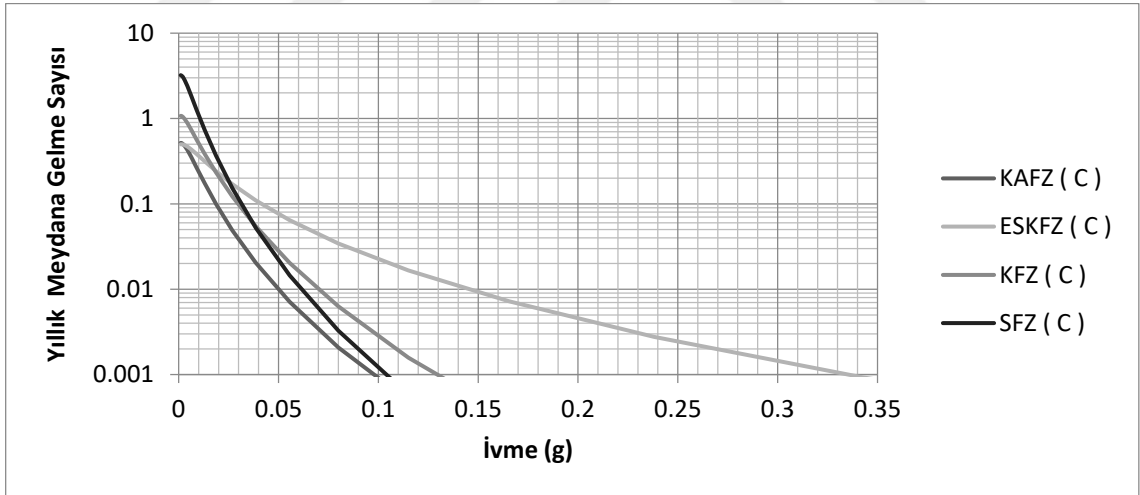
Şekil 6.27. KFZ Akkar ve Çağnan, (2010) azalım ilişkisi STA haritası (DD-2, 50 yılda %10 aşılma olasılığı ve 475 yıllık tekrarlanma periyodu)



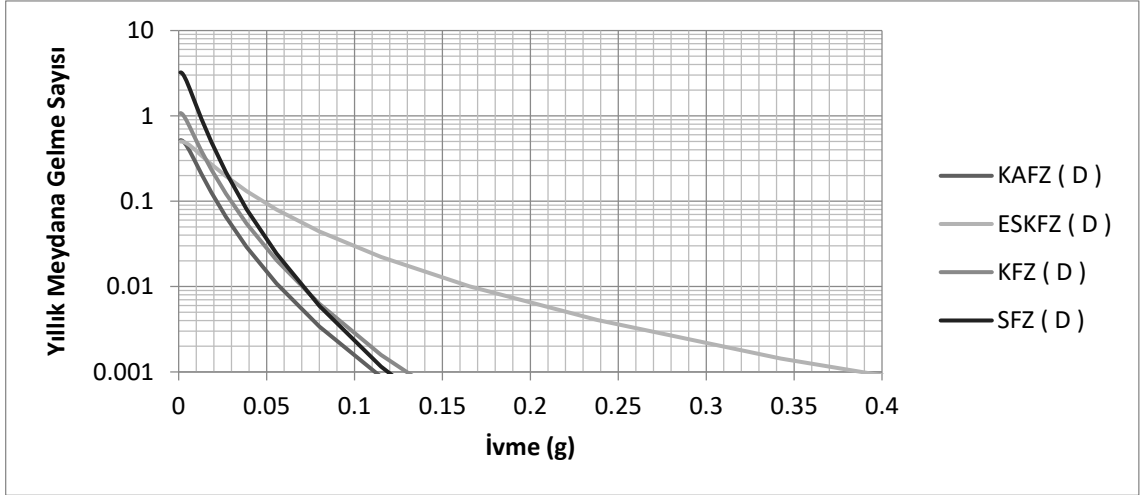
EFZ'nin PSTA sonucunda Kalkan ve Gülkan., (2004) ve Akkar ve Çağnan, (2010) azalım ilişkileri kullanılarak elde edilen Yıllık Meydana Gelme Sayısı  $N(M)$ -İvme eğrileri elde edilmiştir (Şekil 6.29; Şekil 6.30; Şekil 6.31; Şekil 6.32).



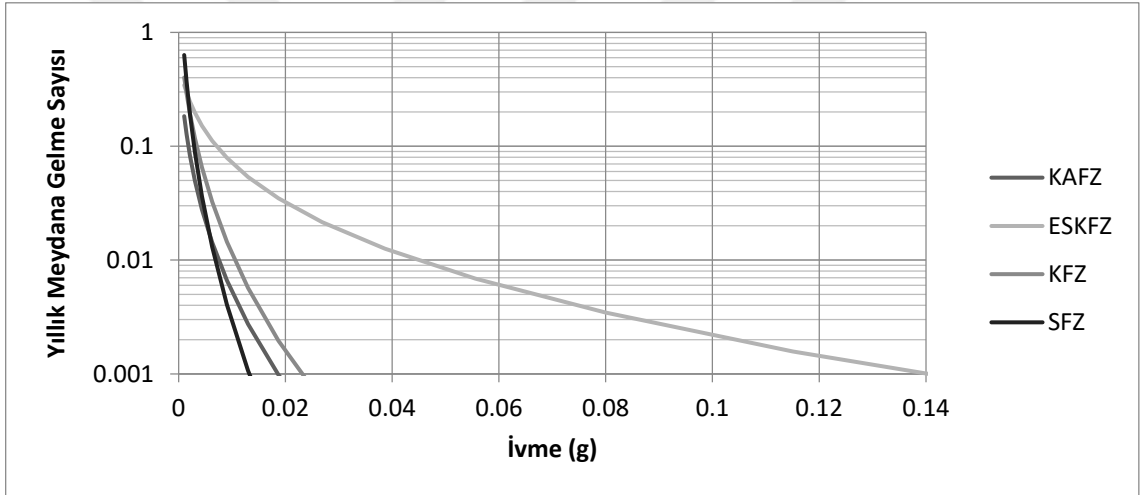
Şekil 6.29. Kalkan ve Gülkan, (2004), azalım ilişkisi kullanılarak AB zemin sınıfına göre elde edilen Yıllık Meydana gelme Sayısı-İvme grafiği



Şekil 6.30. Kalkan ve Gülkan, (2004), azalım ilişkisi kullanılarak C zemin sınıfına göre elde edilen Yıllık Meydana gelme Sayısı-İvme grafiği



Şekil 6.31. Kalkan ve Gülkan, (2004), azalım ilişkisi kullanılarak D zemin sınıfına göre elde edilen Yıllık Meydana gelme Sayısı-İvme grafiği



Şekil 6.32. Akkar ve Çağnan, (2010), azalım ilişkisi kullanılarak elde edilen Yıllık Meydana gelme Sayısı-İvme grafiği

## 7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

1900-2018 yılları arasında alansal kaynaklarda meydana gelmiş en büyük depremler kullanılarak elde edilen DSTA sonuçlarına göre Eskişehir Yerleşim Yerini depremsellik açısından en çok etkileyecek fay zonunun EFZ olduğu görülmüştür ve analiz sonuçlarına göre bu zonda meydana gelmiş en büyük yatay yer ivmesi değeri 0.232 g olarak elde edilmiştir.

Eskişehir İl sınırları ve çevresinde Emre vd., (2011)'de verilen çizgisel kaynakların kırılmasıyla ve noktasal kaynak olarak 20.02.1956 Eskişehir depreminin meydana getireceği ivme değerinin Eskişehir yerleşim yerini 0.39 g olarak etkileyeceği sonucu elde edilmiştir.

Eskişehir İl sınırları ve çevresinde Emre vd. (2011)'de bulunan diri fayların, Seyitoğlu vd., (2015)'te önerilen fayların ve noktasal kaynak olarak 20.02.1956 Eskişehir depreminin meydana getireceği ivme değerinin Eskişehir yerleşim yerini 0.65 g olarak etkileyeceği sonucu elde edilmiştir.

DEABTİE, (2018)'de yayınlanan DD-2 Deprem Yer Hareketi Düzeyi değerlerine göre Kalkan ve Gülkan, (2004) azalım ilişkisi kullanılarak AB Zemin Sınıfına göre elde ettiğimiz sonuçlar birbirine oldukça yakın değerler vermektedir. Eskişehir İli için elde edilen Sismik Tehlike Haritasında Eskişehir Yerleşim Yeri için DD-2 Deprem Yer Hareketi Düzeyi Haritasında Eskişehir Şehir merkezi 0.232 g olarak hesaplanmıştır. Bu değer DEABTİE (2018) DD-2 Deprem Yer Hareketi Düzeyi Haritasında ise yaklaşık olarak Eskişehir Şehir merkezi 0.292 g olarak rapor edilmiştir. Yapılan analizler ve karşılaştırmalar sonucunda bölgesel olarak yapılan STA çalışmalarının daha hassas sonuçlar vereceği görülmüştür.

Kullanılan fay zonları için Gutenberg-Richter Tekrarlanma Yasasından elde edilen “b” katsayılarına göre Simav Fay Zonu depremsellik açısından diğer fay zonlarına göre daha aktif olan alansal kaynak olarak belirlenmiştir. Simav Fay Zonunu sırasıyla KFZ, EFZ ve KAFZ takip eder.

Yerleşim yerlerinde ve endüstriyel alanlarda meydana gelebilecek deprem tehlikesi kaynaklı yer tepkilerinin, yerel zemin koşulları ve sedimanter tabakaların yapısal özellikleri ile ilişkili olarak değiştiği bilinmektedir. Çalışma alanı içinde kalan, Eskişehir kent merkezi örneğinde bu koşullar dikkate alındığında sık zemin özellikleri ve ana kaya derinlik yapısı sınır geometrisi nedeni ile yer tepkisinde gözlenebilecek büyütme etkisi bu çalışmanın dışında ayrıca değerlendirilmelidir. Yerel zemin koşulları ve ana kaya

derinliği sınır geometrisi hakkında detaylı sonuçlar (Pekkan vd., 2015; Tün vd., 2016; Tün ve Ayday, 2016) değerdendirilmiştir. Beklenen maksimum yatay yer ivme değerdelerinin belirtilen koşullar nedeni ile oluşabileceği değerdendirilmektedir.

Eskişehir Yerleşim Yeri ve çevresinin zemin sınıfı haritası hazırlanarak farklı zemin sınıflarına ait bölgeler için yapılacak olan STA hesaplamalarından elde edilen sonuçların bölgeyi daha iyi temsil ederek farklı zemin koşullarına göre daha fazla bölgeyi temsil edici sonuçlar verecektir.

Bölgesel olarak daha hassas ve temsil edici sonuçlar elde edebilmek için Eskişehir İl sınırlarını kapsayan ve komşu illeri de içine alacak bir alan belirlenerek bölgesel olarak bir azalım ilişkisi geliştirilmesi önerilmiştir.

Çalışma kapsamında elde edilen ivme haritalarının bölgesel olarak hazırlanması ve farklı zemin parametrelerini içermesi, bu çalışmanın DEABTİE, (2018)'de raporlanan haritalara göre daha hassas ve güçlü yanlarındandır.

## KAYNAKÇA

- Abrahamson, N. A. and Litehiser, J. J. (1989). Attenuation of vertical peak acceleration. *BSSA*, 79 (3), 549–580.
- Abrahamson, N. A. and Silva, W., J., (1997). Empirical response spectral attenuation relations for shallow crustal earthquakes. *Seismological Research Letters*, 68(1), 94-127.
- A.B.S.K.R., (2004). *Afet Bilgi Sistemi Komisyonu Raporu*, Temmuz 2004.
- Abrahamson N. and Silva W (2008). Summary of the Abrahamson & Silva NGA ground-motion relations, *Earthquake Spectra*, 24(1): 67-97.
- Açıklan, S. ve Ocakoğlu, F. 2005. 20 Şubat 1956 Eskişehir Depremi Hangi Faydan Kaynaklanmış Olabilir? *Eskişehir Fay Zonu ve İlişkili Sistemlerin Depremselliği Çalıştayı*. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi.
- Afet ve Acil Durum Başkanlığı 2018, *Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği*, Ankara.
- Akkar, S. and Bommer, J.J., (2010). Empirical Equations for the Prediction of PGA, PGV and Spectral Accelerations in Europe, the Mediterranean Region and the Middle East, *Seismological Research Letters*, 81: 195-206.
- Akkar S. and Çağnan Z. (2010). A local ground-motion predictive model for Turkey and its comparison with other regional and global ground-motion models, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 100, 2978-2995.
- Altunel, E. ve Barka, A. (1998). Eskişehir Fay Zonu'nun İnönü-Sultandere arasındaki neotektonik aktivitesi. *Türkiye Jeoloji Bülteni* 2, 41-52.
- Ambraseys, N. N. and Simpson, K. A. (1996). Prediction of vertical response spectra in Europe. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 25(4), 401– 412.
- Ambraseys, N. N., Simpson, K. A. and Bommer, J. J. (1996). Prediction of horizontal response spectra in Europe. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 25(4), 371–400.
- Ambraseys, N. and Douglas, J. (2000). *Reappraisal of the effect of vertical ground motions on response*. ESEE Report 00-4. Department of Civil and Environmental Engineering, Imperial College, London.
- Ansal, A., Erdik, M., Kurtuluş, A., Erken, A., Sesetyan, K., Siyahi, B., ve Springman, S., 2004. *Afet Risk Yönetimi Dünya Enstitüsü, Belediyeler İçin Sismik Mikrobölgeleme, Bilimsel Son Durum Raporu*, Ocak 2004.

- Araya, R. and Der Kiureghian, A. (1988). *Seismic Hazard Analysis: Improved Models, Uncertainties and Sensitivities*, EERC Report No. UCB/EERC-90/11, College of Engineering, University of California, Berkeley.
- Ayday, C., Tuncan, M., Altan, M., Azdiken, S., Özkan, S., Gençler, G., Uçar, D., Nefeslioğlu, H., Canigur, A., Yerel, S., Tuncan, A., Ünal, G., Güney, Y. ve Çetin, A. (2001). *Eskişehir Yerleşim Yeri Mühendislik Jeolojisi Haritalarının Hazırlanması*, Anadolu Üniversitesi, Uydu ve Uzay Bilimleri Araştırma Enstitüsü, Eskişehir.
- Ayday, C. (2008). Eskişehir Yerleşim Yerinin Sismik Tehlike Analizi, *TMMOB Eskişehir İl Koordinasyon Kurulu TMMOB Eskişehir Kent Sempozyumu*, 28-29 Şubat 2008, Eskişehir.
- Barka, A., Reilinger, R., Şaroğlu, F. ve Şengör, A.M.C., 1995. The İsparta angle: its importance in the neotectonics of the eastern Mediterranean region. *IESCA-1995 Proceedings*.
- Bayındırlık, T. C., ve Bakanlığı, İ. (2007). Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Esaslar. *Ankara, Türkiye*.
- Beliceli, A., Çona, A. ve Çoban F. (2005). Balıkesir Bölgesinin Deprem Riski ve Depremsellik Açısından İncelenmesi, *Deprem Sempozyumu*, 23-25 Mart 2005, Kocaeli.
- Beyaz, T. (2004), *Zemin Etkisinden Arındırılmış Deprem Kayıtlarına Göre Türkiye İçin Yeni Bir Deprem Enerjisi Azalım Bağıntısının Geliştirilmesi*, Doktora Tezi, Jeoloji Müh. Bölümü, Ankara Üniversitesi, Ankara.
- Bolt, B. A. and Abrahamson, N. A. (1982). New attenuation relations for peak and expected accelerations of strong ground motion. *BSSA*, 72 (6), 2307–2321.
- Boore DM, and Atkinson GM (2008). Ground-motion prediction equations for the average horizontal component of PGA, PGV, and 5%-damped PSA at spectral periods between 0.01 s and 10.0 s, *Earthquake Spectra* 24(1): 99-138.
- Boore, D. M., Joyner, W. B. and Fumal, T. E. (1993). *Estimation of response spectra and peak accelerations from western North American earthquakes: An interim report*. Open-File Report 93-509. U.S. Geological Survey. 70 pages.
- Boore, D. M., W. B. Joyner, and T. E. Fumal (1997). Equations for estimating horizontal response spectra and peak acceleration from western North American earthquakes: A summary of recent work (with 2005 erratum), *Seism. Res. Letters*, 68, 128—153.

- Burrough, P.A. (1998). *Principles Of Geographical Information Systems*. Oxford University Press, New York.
- Bycroft, G. N., (1978). The effect of soil structure interaction on seismometer readings, *BSSA*, Vol.68, pp.823-843.
- Campbell, K. W. (1981). Near-source attenuation of peak horizontal acceleration. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 71(6), 2039–2070.
- Campbell, K. W. (1989). The dependence of peak horizontal acceleration on magnitude, distance, and site effects for small-magnitude earthquakes in California and eastern North America. *BSSA*, 79 (5), 1311–1346.
- Campbell, K. W. and Bozorgnia, Y. (2003). Updated near-source ground-motion (attenuation) relations for the horizontal and vertical components of peak ground acceleration and acceleration response spectra. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 93(1), 314-331.
- Campbell K.W. and Bozorgnia Y. (2008). NGA ground motion model for the geometric mean horizontal component of PGA, PGV, PGD and 5% damped linear elastic response spectra for periods ranging from 0.01 to 10 s, *Earthquake Spectra*, 24(1): 139-171.
- Chiaruttini, C. and Siro, L. (1981). The correlation of peak ground horizontal acceleration with magnitude, distance, and seismic intensity for Friuli and Ancona, Italy, and the Alpid belt. *BSSA*, 71 (6), 1993–2009.
- Chiou B. and Youngs RR (2008). “An NGA model for the average horizontal component of peak ground motion and response spectra,” *Earthquake Spectra*, 24(1): 173-215.
- Crouse, C. B. and Husmand, B., (1989). Soil structure interaction at CDMG and USGS accelerograph stations, *BSSA*, Vol. 79, No.1, pp.1-14.
- Crouse, C. B. (1991). Ground-motion attenuation equations for earthquakes on the Cascadia subduction zones. *Earthquake Spectra*, 7 (2), 201-236.
- Çeken, U. (2007). *Marmara Bölgesinin Kuvvetli Yer Hareketi Azalım İlişkisi Modeli*, Yüksek Lisans Tezi. Sakarya: Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Dahle, A., Climent, A., Taylor, W., Bungum, H., Santos, P., Ciudad Real, M., Linholm, C., Strauch, W. and Segura, F. (1995). New spectral strong motion attenuation models for Central America. *Proceedings of the Fifth International Conference on Seismic Zonation*, V: II, 1005–1012.

- Deniz, A. ve Yüccemen, M. S. (2005). Antalya Yöresi İçin Deprem Tehlikesinin Stokastik Yöntemler ile Tahmini, *Antalya Yöresinin İnşaat Mühendisliği Sorunları Kongresi*, 22-24 Eylül 2005, Antalya.
- Deniz, A. (2006). *Estimation of Earthquake Insurance Premium Rates Based On Stochastic Methods*, Thesis (Master), Middle East Technical University (METU) Department of Civil Engineering.
- Dewey, J.F. ve Şengör, A.M.C., 1979. Aegean and surrounding regions: complex multiple and continuum tectonics in a convergent zone, *Geological Society of American Bulletin*, 90, 84-92.
- Dirik, K. ve Göncüoğlu, M.C., 1996. Neotectonic characteristics of central Anatolia. *International Geology Review*, 38, 807-817.
- Dirik, K., 2001. Neotectonic evolution of the northwestward arched segment of the Central Anatolian Fault Zone, central Anatolia, Turkey. *Geodinamica Acta*, 14, 147-158.
- Dirik, K. ve Erol, O., 2003. Tectonomorphologic evolution of Tuzgölü and surrounding area, central Anatolia-Turkey. *Turkish Association of Petroleum Geologists Special Publication*, 5, 27-46.
- Dirik, K., Akıl, B. ve Özsayın, E., (2005). Eskişehir-Sultanhanı Fay Sistemi'nin Sivrihisar-Cihanbeyli Kesimi'nin Özellikleri, *Orta Anadolu-Türkiye. Eskişehir Fay Zonu ve İlişkili Sistemlerin Depremselliği Çalıştayı*, 28-30 Nisan 2005, Eskişehir, Genişletilmiş Bildiri Özleri Kitabı, 9-10.
- Erturaç, M. K. ve Tüysüz, O. (2010). Amasya ve Çevresinin Depremselliği ve Deterministik Deprem Tehlike Analizi, *İTÜ Dergisi/D Mühendislik Cilt: 9, Sayı:3* 121-132.
- Genç, G. (2004). *Probabilistic Seismic Hazard Assessment For Eskişehir*, Thesis (Master), Ankara, Middle Technical University (METU) Department of Geological Engineering.
- Gözler, M. Z., Cevher, F. ve Küçükyaman, A. (1985). Eskişehir Civarının Jeolojisi ve Sıcak Su Kaynakları, *MTA Dergisi*, 103(104), 40-45
- Gözler, M. Z., Cevher, F., Ergül, E. ve Asutay, H. J. (1996). *Orta Sakarya ve Güneyi'nin Jeolojisi*, MTA Rapor No: 9973, Ankara, 87 s.
- Grimshaw, D.J. (1994). *Bringing GIS Into Business*, Longman, London.

- Gutenberg, B., Richter, C.F., (1942). Earthquake Magnitude, Intensity, Energy and Acceleration, *Bulletin Seismological Society of America*, 32 (3): 163-191.
- Gutenberg, B., Richter, C.F., (1944). Frequency of Earthquakes in California, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 34: 185 - 188.
- Gutenberg, B., Richter, C.F., (1956). "Magnitude and Energy of Earthquakes", *Ann.Geofis.*, 9: 1-15.
- Gülkan, P. and Kalkan, E. (2002). Attenuation modeling of recent earthquakes in Turkey. *Journal of Seismology*, 6, 397-409.
- Güder, E. (2010). *İdari Bölünüşe Göre Eskişehir'de Nüfus Dağılışı (2000-2008)*. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Coğrafya Anabilim Dalı, Sakarya.
- Gündoğdu, E. (2010). *Eskişehir Fayı'nın Kinematiği, Depremselliği ve Uzaktan Algılama Yöntemiyle İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi. Çanakkale: Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Güney, Y., Ecevitoglu, B., Pekkan, E., Avdan, U., Tün, M., Kaplan, O., Mutlu, S., Akdeniz, E. vd., (2014). *Eskişehir Yerleşim Yerinde, CBS Teknikleri Kullanılarak Geoteknik, Yapı ve Jeofizik Bilgi Sisteminin Oluşturulması*, Anadolu Üniversitesi Araştırma Fonu Projesi, Proje No:080240.
- Harman, E. (2015). *Sakarya Şehri İçin Olasılığa Dayalı Sismik Tehlike Analizi*, Yüksek Lisans Tezi. Sakarya: Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- http-1: [www.tuik.gov.tr/PreIstatistikTablo.do?istab\\_id=1590](http://www.tuik.gov.tr/PreIstatistikTablo.do?istab_id=1590)
- http-2: <http://www.eskisehir.gov.tr/tarihce> (Erişim Tarihi: 25.06.2018)
- http-3: <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=ESKISEHIR> (Erişim Tarihi: 25.06.2018)
- http-4: <https://deprem.afad.gov.tr/istasyonlar#> (Erişim Tarihi: 02.07.2018)
- http-5: <https://deprem.afad.gov.tr/istasyonlar#> (Erişim Tarihi: 02.07.2018)
- http-6: <http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/2/sismik-ag/sismik-ag-haritalari/sismik-ag-haritalari/> (Erişim Tarihi: 02.07.2018)
- İnan, E., Çolakoglu, Z., Koç, N., Bayülke, N. ve Çoruh, E. (1996). 1976-1996 Yılları arası ivme Kayıtları olan deprem kataloğu. *T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü Deprem Araştırma Dairesi Başkanlığı*, 98 s., Ankara.

- İncekara, S., Karakuyu, M., ve Karaburun, A. (2009). Ortaöğretim coğrafya derslerinde yaparak öğrenmeye bir örnek: Coğrafi bilgi sistemlerinin proje temelli öğrenimde kullanılması. *Elektronik Sosyal Bilimler Dergisi*, 8(30), 305-322.
- Joyner, W. B. and Boore, D. M. (1981). Peak horizontal acceleration and velocity from strongmotion records including records from the 1979 Imperial Valley, California, earthquake. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 71(6), 2011–2038.
- Kalkan, E. and Gülkan, P. (2004). Site-dependent spectra derived from ground motion records in Turkey. *Earthquake Spectra*, 20, 1111–1138.
- Karaca, H. (2016). Güncel Veriler ve Olasılıksal Sismik Tehlike Analizi Kullanarak Eskişehir İçin Sismik Tehlike Haritası ve İvme Eğrileri Elde Edilmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 32(1).
- Kartal, R. F. (2010). *Olasılık ve İstatistik Yöntemler ile Amasya İlinin Sismik Tehlikesinin Tahmini*, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya: Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Kartal, R. F., Kılıç, T. ve Kadiroğlu F.T. (2011). Olasılık ve İstatistiksel Yöntemler İle Mersin İlinin Sismik Tehlike Analizi, *1. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı*, 11-14 Ekim, Ankara.
- Kazmacı, İ. G. (2014). *Isparta Bölge Hastanesi Çalışma Alanının Sismik Tehlike Analizi*, Yüksek Lisans Tezi. Isparta: Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Koçyiğit, A. ve Beyhan, A., 1998. A new intracontinental transcurrent structure: the Central Anatolian fault zone, Turkey. *Tectonophysics*, 284, 317-336.
- Koçyiğit, A., 2003. General neotectonic characteristics and seismicity of central Anatolia. *Turkish Association of Petroleum Geologist Special Publication*, 5, 1-26.
- Koçyiğit, A. ve Özacar, A., 2003. Extensional neotectonic regime through the NE edge of the Outer Isparta Angle, SW Turkey: New Field and Seismic Data. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 12, 67-90.
- Koçyiğit, A., 2005. The Denizli graben-horst system and the eastern limit of western Anatolian continental extension: basin fill, structure, deformational mode, throw amount and episodic evolutionary history, SW Turkey. *Geodinamica Acta*, 18 (3-4), 167-208.

- Koyuncu, N. P. (2001). *Eskişehir İl Merkezi Birimlerinin Jeo-Mühendislik Özelliklerinin Değerlendirilmesi ve Mühendislik Jeolojisi Haritalarının Hazırlanması*, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2001.
- Köker, F. (2013). *Siirt İli Sismik Tehlike Analizi*, Yüksek Lisans Tezi. Elazığ: Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Kramer, S. L. (1996). Geoteknik deprem mühendisliği. (Çeviren: Kayabalı, K. 2003) Gazi Kitabevi, 708 s., Ankara.
- Kramer, S. L. (1996). Geotechnical earthquake engineering. In prentice-Hall international series in civil engineering and engineering mechanics. *Prentice-Hall, New Jersey*.
- Mccue, K., Gibson, G. and Wesson, V. (1988). Intraplate recording of strong motion in southeastern Australia. *Proceedings of Ninth World Conference on Earthquake Engineering*, V: II, 355–360.
- McGarr, A. (1984). Scaling of ground motion parameters, state of stress, and focal depth. *Journal of geophysical research: Solid earth*, 89(B8), 6969-6979.
- McKenzie, D., 1972. Active tectonics of the Mediterranean region. *Geophys. JM. astr. Soc*, 30, 109-185.
- McKenzie, D., 1978. Active tectonics of the Alpine-Himalayan belt: the Aegean Sea and surrounding regions. *Geophys. J. Astr. Soc*, 55, 217-254.
- Mehtap, Ş., Akkar, S. and Yılmaz, M.T. (2011). Sismik Kaynak ve Yer Hareketi Tahmin Denklemlerine Bağlı Modelleme Belirsizliğinin Olasılıksal Sismik Tehlike Hesaplarına Etkileri. *I. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı*, 11-14 Ekim 2011, ODTÜ, Ankara.
- Orhan, A. (2005). *Eskişehir İl Merkezi Güney Bölümü Temel Zemin Birimlerinin Jeo-Mühendislik Özellikleri ve Coğrafi Bilgi Sisteminin Uygulanması*, Doktora Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Ocakoğlu F., Açıkalın S. ve Akan S., (2005-a). Hendek Kazıları ile Yorumlanmalarındaki Güçlülere Eskişehir Fay Zonu’ndan Bazı Örnekler. *Eskişehir Fay Zonu ve İlişkili Sistemlerin Depremselliği Çalıştayı*. Osmangazi Üniversitesi. 28-30 Nisan 2005, Eskişehir. Bildiri Özleri Kitapçığı.
- Ocakoglu F., Açıkalın S. Akan S. ve Yalçın C. Ç., (2005-b). Eskişehir Civarında Eskişehir Fay Zonu’nun Morfotektonik Özellikleri. *Eskişehir Fay Zonu ve İlişkili*

- Sistemlerin Depremselliği Çalıştayı*. Osmangazi Üniversitesi. 28-30 Nisan 2005, Eskişehir. Bildiri Özleri Kitapçığı.
- Ocakoğlu, F. (2007). A re-evaluation of the Eskişehir Fault Zone as a Recent extensional structure in NW Turkey. *Journal of Asian Earth Sciences*, 31, 91-103.
- Orhan, A., Seyrek, E. and Tosun, H. (2007), A Probabilistic Approach for Earthquake Hazard Assesment of the Province of Eskişehir, Turkey, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 607–614.
- Öcal N. (1959). 20 Subat 1956 Eskişehir zelzelesinin makro ve mikrosismik etüdü. *İTU Sismoloji Enstitüsü Yayını*, 49 s.
- Özbey, C., Sari, A., Manuel, L., Erdik, M. and Fahjan, Y. (2003). An empirical attenuation relationship for northwestern Turkey ground motion using a random effects approach. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 24(2), 115–125.
- Özmen, B. (2001). Kastamonu İlinin Depremselliği ve Deprem Tehlikesi, 54. *Türkiye Jeoloji Kurultayı* 7-10 Mayıs, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası, Ankara.
- Özmen, B. (2003). İmar Planına Esas Jeolojik-Jeoteknik İncelemeler için Depremselliğin Değerlendirilmesiyle İlgili Öneriler, 56. *Türkiye Jeoloji Kurultayı*, 14-20.
- Özmen, B. (2011). *Ankara'nın Deprem Tehlikesinin Belirlenmesi*, Doktora Tezi, Ankara: Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Özmen, B. (2013). Ankara için Deprem Olasılığı Tahminleri. *Yerbilimleri Dergisi*, 34(1), 141-168.
- Özmen, B.,(2017). Afet ve Afet Türleri (Bölüm 1), Temel Afet Bilgisi Kitabı (Editör: Muammer Tün), Anadolu Ünivesitesi Açık Öğretim Fakültesi *Acil Durum ve Afet Yönetimi Ön Lisans Programı Ders Kitabı*, sayfa 2 - 25, ISBN: 978-975--06-2163-5 (1. Baskı).
- Özsayın, E. (2007). *İnönü-Eskişehir Fay Sistemi'nin Yeniceoba-Cihanbeyli (Konya-Türkiye) Arasındaki Bölümünün Neojen-Kuvaterner Yapısal Evrimi*, Ankara: Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Pekkan, E., Tun, M., Guney, Y., and Mutlu, S. (2015). Integrated seismic risk analysis using simple weighting method: the case of residential Eskişehir, Turkey. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 15(6), 1123-1133.
- Reilinger, R. E., McClusky, S. C., Oral, M. B., King, R. W., Toksoz, M. N., Barka, A. A., ... & Sanli, I. (1997). Global Positioning System measurements of present-day

- crustal movements in the Arabia-Africa-Eurasia plate collision zone. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 102(B5), 9983-9999.
- Reiter, L., 1990. Earthquake hazard analysis: issues and insights, *Colombia University Pres*, pp, 119-120.
- Sadigh, K., Chang, C.-Y., Abrahamson, N. A., Chiou, S. J. and Power, M. S. (1993). Specification of long-period ground motions: Updated attenuation relationships for rock site conditions and adjustment factors for near-fault effects. Pages 59-70 of: *Proceedings of ATC-17-1 Seminar on Seismic Isolation, Passive Energy Dissipation, and Active Control (Vol. 1)*.
- Sadigh, R. K. and Egan, J. A. (1998). Updated relationships for horizontal peak ground velocity and peak ground displacement for shallow crustal earthquakes. *Proceedings of the Sixth U.S. National Conference on Earthquake Engineering*.
- Sönmez, N. K., ve Sarı. (2004). Coğrafi Bilgi Sistemleri Temel Esasları Ve Uygulama Alanları. *Derim*, 21(1), 54-68.
- Seyitoğlu, G., Ecevitoglu, G. B., Kaypak, B., Güney, Y., Tün, M., and Korhan, E. S. A. T. (2015). Determining the main strand of the Eskişehir strike-slip fault zone using subsidiary structures and seismicity: a hypothesis tested by seismic reflection studies. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 24(1), 1-20.
- Sezer, L. İ. (2004). İzmir Sismotektonik Yöresinin Depremselliği, *Ege Coğrafya Dergisi*, 13(1-2).
- Star, J. ve Estes, J. (1990). *Geographical Information Sytems: An Introduction*. Prentice-Hall, New Jersey.
- Şaroğlu, F., Emre, Ö. ve Boray, A. (1992). 1: 1 000 000 Türkiye Diri Fay Haritası. MTA, Ankara.
- Şaroğlu, F., Emre Ö., Doğan, A. Ve Yıldırım, C. (2005). Eskişehir Fay Zonu ve Deprem Potansiyeli, *Eskişehir Fay Zonu ve Deprem Çalıştay*, Bildiri Özleri Kitabı, No:11.
- Şengör, A.M.C., 1979. The North Anatolian Transform Fault: its age, offset and tectonic significance. *Journal of the Geological Society, London*, 13, 268-282.
- Şengör, A.M.C., 1982. Ege'nin neotektonik evrimini yöneten etkenler, in: *Batı Anadolu'nun Genç Tektoniği ve Volkanizması Paneli* (Ed: by Erol, O. ve Oygür, V.), 59- 71. *Türkiye Jeoloji Kurultayı-1982*.
- Şengör, A.M.C., Görür, N. ve Şaroğlu, F., 1985. Strike-slip faulting and related basin formation in zones of tectonic escape: Turkey as a case study. In: *Strike-Slip*

- Deformation, Basin Formation and Sedimentation* (edited by Biddle, K.T. & Christie-Blick, N.). *Soc. of Eco. Paleo. and Min. Spec. Publ.*, 37, 227-264.
- Şengör, A.M.C., Yılmaz, Y., Sungurlu, O., 1985. Tectonics of the Mediterranean Cimmerides: nature and evolution of the western termination of Palaeotethys. In: Robertson, A.H.F. and Dixon, J.E. (eds) *The Geological Evolution of the Eastern Mediterranean*, Geological Society, London, Special Publications, 17, 77-112.
- Tecim, V. (2008). *Coğrafi Bilgi Sistemleri: Harita Tabanlı Bilgi Yönetimi*, Renk Form Ofset Matbaacılık.
- Tokay, F. Ve Altunel, E. (2005). Eskişehir Fay Zonunun İnönü - Dodurga Çevresinde Neotektonik Aktivitesi, *MTA Dergisi*, 130, 1-15.
- Tün, M., Avdan, U., Kaplan, O., Güney, Y., Çabuk, A., Kaypak, B., Uyar Aldaş, G., Ecevitoglu, B., Esat, K. And Seyitoğlu, G., (2010). A New Look to the Eskişehir Fault. Seismic Interpretation Session 2, No: 43. *The 19th International Geophysical Congress & Exhibition of Turkey*, Ankara, Turkey.
- Tün, M., and Ayday, C. (2016). Investigation of correlations between shear wave velocities and CPT data: A case study at Eskişehir in Turkey. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 77(1), 225-236.
- Tün, M., Pekkan, E., Özel, O., and Güney, Y. (2016). An investigation into the bedrock depth in the Eskişehir Quaternary Basin (Turkey) using the microtremor method. *Geophysical Journal International*, 207(1), 589-607.
- Ulusay, R., Tuncay, E., Sonmez, H., and Gokceoglu, C. (2004), An attenuation relationship based on Turkish strong motion data and iso-acceleration map of Turkey. *Engineering Geology*, 74(3-4), 265–291.
- Ulutaş, H. (2012). *Van İli Sismik Tehlike Analizi, Yüksek Lisans Tezi*, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
- Wells, D. L., and Coppersmith, K. J. (1994), New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area, and surface displacement. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 84(4), 974-1002.
- Youngs, R. R., Day, S. M., & Stevens, J. L. (1988, June). Near field ground motions on rock for large subduction earthquakes. In *Earthquake Engineering and Soil Dynamics II—Recent Advances in Ground-Motion Evaluation* (pp. 445-462). ASCE.

- Youngs, R. R., Chiou, S.-J., Silva, W. J. and Humphrey, J. R. (1997). Strong ground motion attenuation relationships for subduction zone earthquakes, *BSSA*, 68(1), 58–73.
- Zaré M., Bard, P.Y. and Ghafory Ashtiany, M. (1999). Attenuation Law for the Strong Motions in Iran, *3rd Int. Conf. on Seismology and Earthquake Engineering (SEE3)*, Proc., 1, 345-354.



## ÖZGEÇMİŞ

Adı-Soyadı : Hasan Burak ÖZMEN  
Yabancı Dil : İngilizce  
Doğum Yeri ve Yılı : Eskişehir / 1985  
E-Posta : hbozmen@anadolu.edu.tr

### Eğitim ve Mesleki Geçmişi:

- Lisans: 2010, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü
- 2016, Hâlen, Destek Personeli, Anadolu Üniversitesi Yer ve Uzay Bilimleri Enstitüsü

### Yayınları ve Bilimsel Faaliyetleri:

#### Makale/Poster/Bildiri/Kitap:

- Tün M., Ecevitoglu B., Güney Y., Avdan U., Pekkan E., Mutlu S., Kahraman S., Özmen H. B., Erdönmez H. H., Arslan F., Küçük B. “The Establishment of Strong Ground Motion Seismic Network in Osmangazi District-Bursa/Turkey”, The 20th International Geophysical Congress & Exhibition of Turkey, Antalya, 25-27 Kasım 2013.
- Özmen H.B., Pekkan E. ve Güney Y., “Eskişehir Yerleşim Yerinin Deprem Etkisi Altında Yerel Zemin Davranışlarının Belirlenmesi”, 67. Türkiye Jeoloji Kurultayı, Ankara, MTA, 14-18 Nisan 2014.
- Özmen H.B., Huseynova, T., Pekkan, E. ve Tün, M. (2017), “Türkiye’de Meydana Gelen Depremlerin Mekânsal İstatistiksel Analizi”, 4. Uluslararası Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, Eskişehir.