



T.C.

**BATMAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BATMAN VE ÇEVRESİNİN GEOTEKNİK
DEPREM MÜHENDİSLİĞİ AÇISINDAN
DEĞERLENDİRİLMESİ**

Sena SEVİMLİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

**Temmuz- 2019
BATMAN
Her Hakkı Saklıdır**

TEZ KABUL VE ONAYI

Sena SEVİMLİ tarafından hazırlanan "BATMAN VE ÇEVRESİNİN GEOTEKNİK DEPREM MÜHENDİSLİĞİ AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ" adlı tez çalışması 25/07/2019 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından oy birliği ile Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan

Prof. Dr. Sami Oğuzhan AKBAŞ

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Can BALCI

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Serhat DEMİRHAN

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Can BALCI

İmza

[Handwritten signatures of the jury members]

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

[Handwritten signature of Prof. Dr. Sahnaz TIGREK]
Prof. Dr. Sahnaz TIGREK
FBE Müdürü



TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

İmza

Sena SEVİMLİ

Tarih: 25.07.2019

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BATMAN VE ÇEVRESİNİN GEOTEKNİK DEPREM MÜHENDİSLİĞİ AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

Sena SEVİMLİ

**Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Can BALCI
2019, 109 Sayfa**

Jüri

**Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Can BALCI
Prof. Dr. Sami Oğuzhan AKBAŞ
Dr. Öğr. Üyesi Serhat DEMİRHAN**

Geoteknik deprem mühendisliği değerlendirmelerinde kullanılan sismik tehlike analizleri, çeşitli amaçlar için yapılmış barajlar, yollar, viyadükler, köprüler, okullar, hastaneler gibi hayati önem taşıyan projelerde kullanılan mühendislik uygulamalarındandır. Çalışma kapsamında Batman İli ve çevresinde 1900 yılından günümüze kadar olan depremlerin büyüklükleri (M_w), tektonik ve sismik unsurlar kullanılarak olasılıksal ve deterministik sismik tehlike analizleri yapılmıştır. Çalışma alanı Batman İl merkezini referans almak koşuluyla buradan çizilen 100 km yarıçapa sahip dairesel alan içerisinde kalan yöreyi kapsamaktadır. Olasılıksal yöntemde Crisis 2015 paket programı kullanılarak araştırma alanına ait en büyük yer ivmeleri tasarım depremlere göre hesaplanmıştır. Deterministik yöntemde ise çalışma alanında baraj, tünel, viyadük gibi mühendislik yapıları için 5 farklı yeni nesil azalım ilişkileriyle bulunan en büyük yer ivmesi değerleri, probabilistik yöntemden bulunan değerlerle karşılaştırılmıştır.

Olasılıksal yöntemle yapılan değerlendirmede; Maksimum Tasarım Depremi için $112,7 \text{ cm/sn}^2$ (0.11 g), İşletmeye Esas Deprem için; $64,36 \text{ cm/sn}^2$ (0.06 g)'lik ivme değerlerinin alınmasının uygun olduğu tespit edilmiştir. Deterministik yöntem sonucunda araştırma alanını etkilemesi muhtemel faylardan Kozluk Segmenti üzerinde tasarlanarak elde edilen maksimum ivme değerinin (PGA)= $85,31 \text{ cm/sn}^2$ (0.08 g) olduğu belirlenmiştir. Araştırma alanında Sismik Dizayn Katsayısı (k) değerinin $0,05$ olarak dikkate alınmasının yapılabilirlik mühendislik projelerinde uygun olduğu belirlenmiştir. Çalışma kapsamında bulunan sonuçların; levha hareketlerinden kaynaklı büyük tektonik ögeler içeren araştırma alanında, zarar görmesi halinde büyük kayıplara yol açacak mühendislik yapılarının güvenli tasarımında klavuz olarak kullanılabilirliği önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler:Sismik Tehlike Analizi, Olasılıksal Yöntem, Deterministik Yöntem, Maksimum Yer İvmesi (PGA), Maksimum Tasarım Depremi (MDE), İşletmeye Esas Deprem (OBE), Batman.

ABSTRACT

MS THESIS

GEOTECHNICAL EARTHQUAKE ENGINEERING ASSESMENT OF THE BATMAN DISTRICT AND ITS SURROUNDINGS

Sena SEVİMLİ

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
BATMAN UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
IN CIVIL ENGINEERING**

Advisor: Asst. Prof. Dr. Mehmet Can BALCI

2019, 109 Pages

Jury

Advisor: Asst. Prof. Dr. Mehmet Can BALCI

Prof. Dr. Sami Oğuzhan AKBAŞ

Asst. Prof. Dr. Serhat DEMİRHAN

Seismic hazard analyses, which are in frequent use in geotechnical earthquake engineering, are among the most vital engineering applications in such construction projects for various purposes; dams, hydroelectric power plants, roads, viaducts, bridges, schools and hospitals. In this study, probabilistic and deterministic seismic hazard analyses were made based on tectonic and seismic data, along with records of the magnitudes (M_w : Moment magnitude) of all earthquakes that have struck the Turkey province of Batman and its vicinities from 1900 to the present day. The study area was a circle of 100 km radius with the city center of Batman at the center. In the probabilistic method that was adopted, the crisis 2015 software package was used to calculate the peak ground accelerations for the study area based on design earthquakes, while in the deterministic approach, the peak ground acceleration values found using five different new-generation attenuation relationships for a civil engineering constructions such as dam, tunnel, viaduct in the study area were compared with the values obtained from the probabilistic method.

The probabilistic method evaluation defined acceleration values of 112.7 cm/s^2 (0.11 g.) and 64.36 cm/s^2 (0.06 g.) for the Makimum Design Earthquake and Operating Basis Earthquake, respectively. The deterministic method, on the other hand, determined that the peak acceleration value obtained on the basis of designs for the Kozluk Segment, as one of the fault lines with the potential to affect the study field, was $(PGA) = 85.31 \text{ cm/s}^2$ (0.08 g.). It was thus decided that a Seismic Design Coefficient (k) of 0.05 would be appropriate for any potential engineering projects to be carried out in the study area. It is recommended that the findings of the present study be used as a guide for the safe design of new engineering structures that would, if damaged, result in significant losses in the study area, where there is potential for large tectonic effects caused by plate movements.

Anahtar Kelimeler: Seismic Hazard Analyses, Probabilistic Method, Deterministic Method, Peak Ground Acceleration (PGA), Makimum Design Earthquake (MDE), Operating Basis Earthquake (OBE), Batman.

ÖNSÖZ

Yüksek lisans tez çalışma süreci boyunca yol gösteren, bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan, yardımını hiç bir zaman esirgemeyen değerli danışman hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Can BALCI' ya teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmama göstermiş oldukları katkılardan dolayı değerli jüri üyeleri Sayın Prof. Dr. Sami Oğuzhan AKBAŞ ve Sayın Dr. Öğr. Üyesi Serhat DEMİRHAN' a ayrı ayrı teşekkürlerimi sunarım.

Tezimin jeofizik analiz kısmında desteğini esirgemeyen jeofizik mühendisi Oğuzhan Zan' a teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans tez hazırlama süresince desteğini hiçbir zaman esirgemeyen aileme minnet ve teşekkürlerimi sunarım.

Sena SEVİMLİ
BATMAN-2019

İÇİNDEKİLER

TEZ BİLDİRİMİ	Error! Bookmark not defined.
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELER LİSTESİ	ix
ŞEKİLLER LİSTESİ	x
SİMGELER VE KISALTMALAR	xii
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ.....	4
2.1. Azalım İlişkileri Örnekleri	6
2.1.1. Sabetta ve Pugliese (1987) azalım ilişkisi	8
2.1.2. Fukushima ve Tanaka (1990) azalım ilişkisi	8
2.1.3. İnan vd. (1996) azalım ilişkisi	9
2.1.4. Ulusay vd. (2004) azalım ilişkisi	9
2.1.5. Beyaz (2004) azalım ilişkisi	10
2.1.6. Kalkan ve Gülkan (2005) azalım ilişkisi	10
2.1.7. Idriss (2008) azalım ilişkisi.....	11
2.1.8. Akkar ve Çağnan (2010) azalım ilişkisi	12
2.1.9. Campbell ve Bozorgnia (2014) azalım ilişkisi	13
2.1.10. Chiou ve Youngs (2014) azalım ilişkisi	13
2.1.11. Boore vd. (2014) azalım ilişkisi.....	15
2.1.12. Abrahamson vd. (2014) azalım ilişkisi	16
2.2. Sismik Tehlike Analizi Çalışmaları	17
2.2.1. Kırıkkale ili yerleşim alanı için en büyük ivme, zemin büyütmesi ve hakim titreşim periyodu özelliklerinin değerlendirilmesi.....	17
2.2.2. Siirt ili sismik tehlike analizi	18
2.2.3. Şırnak ilinin olasılıksal sismik tehlike analizi	18
2.2.4. Düzlemsel kaynak modelleri kullanılarak Doğu Anadolu Fayı' nın olasılıksal sismik tehlike analizi	18
2.2.5. Yüksekova (Hakkari) bölgesinin depremselliği ve sismik tehlike analizleri 19	
3. MATERYAL- METOT	19
3.1. Materyal	19
3.1.1. Batman ilinin genel özellikleri.....	19
3.1.2. Jeolojik ve tektonik veriler	22
3.1.2.1. Jeolojik veriler	22

3.1.2.1.1. Gercüş formasyonu	23
3.1.2.1.2. Hoya formasyonu (Midyat kireçtaşı)	23
3.1.2.1.3. Germik formasyonu	24
3.1.2.1.4. Şelmo formasyonu	24
3.1.2.2. Tektonik veriler.....	24
3.1.2.2.1. Doğu Anadolu Fay Kuşağı (DAFZ)	27
3.1.2.2.2. Güneydoğu Anadolu fay bölgesi- Bitlis Zagros kenet kuşağı (BZKK).....	28
3.1.2.3. İvme kayıtları	29
3.1.2.4. Çalışma sahasını etkileyen önemli depremler	30
3.1.3. Zemin koşulları	33
3.1.4. Tasarım depremi kavramları	35
3.1.5. CRISIS 2015	36
3.2. Metot.....	45
3.2.1. Sismik tehlike analizi.....	45
3.2.1.1. Deterministik sismik tehlike analizi (DSTA)	47
3.2.1.1.1. Maksimum büyüklük ve mesafe seçimi.....	51
3.2.1.1.2. Idriss azalım bağıntısı ile PGA değerini hesaplama	51
3.2.1.1.3. Abrahamson vd. azalım bağıntısı ile PGA değerini hesaplama.....	52
3.2.1.1.4. Boore vd. azalım bağıntısı ile hesaplama	53
3.2.1.1.5. Campbell ve Bozorgnia azalım bağıntısı ile hesaplama	54
3.2.1.1.6. Chiou ve Youngs azalım bağıntısı ile hesaplama	55
3.2.1.2. Olasılıksal (Probabilistik) sismik tehlike analizi	55
3.2.1.2.1. Deprem büyüklüğü- Tekerrür modelleri	59
3.2.1.2.2. Depremlerin zaman içinde oluşum modelleri	61
3.2.1.2.3. Depremlerin mekansal dağılımı.....	62
3.2.2. Tasarıma esas davranış spektrumlarının belirlenmesi	63
4. BULGULAR.....	64
4.1. Deterministik Yönteme Ait Bulgular.....	64
4.2. Olasılıksal (Probabilistik) Yönteme Ait Bulgular	68
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	75
KAYNAKLAR	77
EKLER	84
ÖZGEÇMİŞ	96

ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge 2.1. Azalım ilişkileri temel özellikleri

Çizelge 3.1. İvme konturlarına göre bölgeleme

Çizelge 3.2. Batman ili deprem bölgeleri

Çizelge 3.3. NEHRP- Uniform Building Code ve Euro Code 8 V_{s30} ' a göre zemin sınıflaması

Çizelge 3.4. Crisis versiyonları

Çizelge 3.5. Crisis sürümlerinin temel özellikleri

Çizelge 3.6. Çıktı verileri için temel özellikler

Çizelge 3.7. Batman şehir merkezi koordinatları

Çizelge 3.8. Değiştirilmiş Mercalli denklemi

Çizelge 3.9. Azalım bağıntılarında kullanılan parametre tanımlamaları

Çizelge 3.10 Idriss (2008) bağıntısında atanan parametreler

Çizelge 3.11. Idriss (2008) hesaplama ekranı

Çizelge 3.12. Abrahamson vd. (2014) bağıntısında atanan parametreler

Çizelge 3.13. Abrahamson vd. (2014) hesaplama ekranı

Çizelge 3.14. Boore vd. (2014) bağıntısında atanan parametreler

Çizelge 3.15. Boore vd. (2014) hesaplama ekranı

Çizelge 3.16. Campbell ve Bozorgnia (2014) bağıntısında atanan parametreler

Çizelge 3.17. Campbell ve Bozorgnia (2014) hesaplama ekranı

Çizelge 3.18. Chiou ve Youngs (2014) bağıntısında atanan parametreler

Çizelge 3.19. Chiou ve Youngs (2014) hesaplama ekranı

Çizelge 3.20. Kaynak parametreleri

Çizelge 4.1. Çizgisel deprem kaynağına ait deterministik değerlendirme sonuçları

Çizelge 4.2. Deterministik yöntemle NGA Model, periyod- ivme değerleri

Çizelge 4.3. Proje sahasında meydana gelmesi beklenen maksimum yatay yer ivmeleri

Çizelge 4.4. Olasılıksal (Probabilistik) sismik tehlike analiz değerleri

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Uzunluk dağılımı ile büyüklük ilişkisi

Şekil 3.1. Batman ili yer haritası

Şekil 3.2. Çalışma alanı Google- Earth üzerindeki yeri

Şekil 3.3. Çalışma alanı uydu görüntüsü

Şekil 3.4. Batman ili jeoloji haritası

Şekil 3.5. Anadolu' da meydana gelen levha hareketleri

Şekil 3.6. Çalışma alanı diri fay haritası

Şekil 3.7. Güneydoğu Anadolu yöresi levha haritası

Şekil 3.8. Türkiye' de yer alan ivme kayıt bölgeleri

Şekil 3.9. Günümüz tarihleri arasında Batman ili merkez olmak üzere 100 km alan içerisinde $4 \leq M < 9$ arasında olan depremlerin bölgesel dağılımı

Şekil 3.10. Batman ili depremsellik haritası

Şekil 3.11. Türkiye deprem tehlike haritası

Şekil 3.12. Crisis başlangıç ekranı

Şekil 3.13. Crisis 2015 programı ara yüzü

Şekil 3.14. Mantık ağacı hesaplama ekranı

Şekil 3.15. Çalışma alanı tanımlama

Şekil 3.16. Kaynak geometrisi veri ekranı

Şekil 3.17. Spektral koordinat ve parametreler

Şekil 3.18. Sismik tehlike analizi için global parametreler tanımlanması

Şekil 3.19. Hesap veri ekranı

Şekil 3.20. DSTA kaynak belirlenmesi

Şekil 3.21. Kaynak bölgeleri arasındaki en kısa mesafenin tespit edilmesi

Şekil 3.22. Yer hareketi parametresinin tespit edilmesi

Şekil 3.23. Batman şehri ve çevresini etkilemesi muhtemel diri fay zonları haritası

Şekil 3.24. Probabilistik sismik tehlike analizinin temel aşamaları

Şekil 3.25. Çalışma alanının sismotektonik haritası

Şekil 3.26. Kaynak depremlerine ait deprem- büyüklük oluşum sayısı grafiği

Şekil 3.27. Sismik kaynaklar modelleme haritası

Şekil 3.28. İvme tepki spektrumu zaman grafiği

Şekil 4.1. NGA model spektral ivme zaman grafiği (Chiou ve Youngs, 2014)

Şekil 4.2. NGA model spektral ivme zaman grafiği (Boore vd., 2014)

Şekil 4.3. NGA model spektral ivme zaman grafiği (Abrahamson vd., 2014)

Şekil 4.4. NGA model spektral ivme zaman grafiği (Campbell ve Bozorgnia, 2014)

Şekil 4.5. NGA model spektral ivme zaman grafiği (Idriss, 2008)

Şekil 4.6. Batman ili ve çevresi spektral ivme değerleri (PGA- 100 yıllık dönüş periyodu- Google Earth)

Şekil 4.7. Batman ili ve 100 km çevresinin sismik tehlike haritası 100 yıllık dönüş periyodu

Şekil 4.8. Batman ili ve 100 km çevresinin sismik tehlike haritası 144 yıllık dönüş periyodu

Şekil 4.9. Batman ili ve 100 km çevresinin sismik tehlike haritası 475 yıllık dönüş periyodu

Şekil 4.10. Batman ili ve 100 km çevresinin sismik tehlike haritası 975 yıllık dönüş periyodu

Şekil 4.11. Batman ili ve 100 km çevresinin sismik tehlike haritası 2475 yıllık dönüş periyodu

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

a_{mak}	Maksimum ivme değeri (g)
ACC	Pik ivme değeri (%g)
A_f	Kaymaya maruz kalan alanın düzlem alanı (m ²)
D	Yırtılmış fayın ötelenme değeri (m)
M	Büyüklik (magnitüd)
M_0	Sismik moment değeri (N.m)
M_w	Moment büyüklüğü
M_s	Yüzey dalgası
μ	Kayma modülü
R	Hiposantır mesafesi (m)
T	Periyod (süre)
V_{s30}	Ortalama kayma dalgası hızı (cm/ s)
VEL	Hız değeri (cm/ s)

Kısaltmalar

AO	Aşılma olasılığı
AS	Abrahamson ve Silva
AFAD	Afet acil durum yönetimi başkanlığı
BA	Boore ve Atkinson
BZZK	Bitlis- Zagros kenet kuşağı
CB	Campbell ve Bozorgnia
CBS	Coğrafi bilgi sistemi
COSMOS	The consortium of organizations for strong- motion
CY	Chiou ve Youngs
DAFZ	Doğu Anadolu fay zone
DBYBHY	Deprem bölgesinde yapılacak binalar hakkında yönetmelik
DSTA	Deterministik sismik tehlike analizi
EÖ	Ekonomik ömür
GB	Güneybatı
GD	Güneydoğu
GMPE	Yer hareketi tahmin denklemleri

GMPM	Yer hareketi tahmin modelleri
GUI	Grafiksel ara yüz
ICOLD	Uluslararası büyük barajlar komisyonu
K	Sismik dizayn katsayısı
K- G	Kuzey- güney
KB	Kuzeybatı
KD	Kuzeydoğu
MAK	Maksimum
MCE	Oluşabilecek en şiddetli deprem
MDE	Maksimum dizayn depremi
MTA	Maden tetkik ve arama
NEHRP	Ulusal deprem tehlikesini azaltma programı
NGA	Yeni nesil azalım ilişkileri
OBE	İşletmeye esas deprem
OSTA	Probabilistik sismik tehlike analizi
PEER Center	Eş düzey eğitim ve kaynak değerlendirme merkezi
PGA	En büyük yer ivmesi değeri
PGV	En yüksek hız değeri
PSA	Spektral ivme
PSHA	Olasılıksal sismik risk analizi
RP	Dönüş periyodu

1. GİRİŞ

Mühendislik yapıları yerkabuğunun üzerine inşa edilen temel sistemlerinden oluşur. İnşaat mühendisleri inşa edilen bu yapıların oturacağı zeminin özelliklerini araştırıp, zemin parametrelerini ve farklı gerilmeler altında bu yapıların davranışlarını bilip, projeyi ve inşa aşamasını ona yönelik gerçekleştirir. İnşaat mühendisliğinin bilim dallarından biri olan geoteknik mühendisliği de zeminlerin özelliklerini ve kritik durumlar altında zeminlerin davranış özelliklerini inceleyen bilim dalıdır. Bununla birlikte yapı ile zemin arasındaki etkileşimden doğan olumsuzlukları ve kritik durumları saptayıp, bunların çözümüne yönelik yolları belirlemek de geoteknik mühendisliği sorumluluk alanındadır.

Ülkemizde projelendirme ve inşa aşamasından önce yapılan zemin etüdü çalışmalarının; alanlarında uzman, zemin ile ilgili parametreleri doğru yorumlayabilen geoteknik mühendislerine yaptırılmadığı durumlarda, kaza anında birçok can ve mal kaybı gerçekleşmektedir. Bununla birlikte ülkemizin önemli bir kısmının deprem bölgesinde yer alması konunun ehemmiyetini arttırmaktadır. Zemin etüdü sırasında, deprem esnasında zemin dayanım kaybı ve zemin sıvılaşma durumu değerlendirilmelidir. Geoteknik mühendisi; zemin, kaya ve yeraltı suyu ile ilişkisi olan mühendislik projelerini ilişkilendirip bu ilişki doğrultusunda proje tasarımı yapıp bu projenin inşa süresince bu parametrelerin yapıya olan etki faktörünü inceleyen kişidir (Coduto,1998).

Geoteknik mühendisliğinin çalışma alanlarından biri de geoteknik deprem mühendisliğidir. Geoteknik deprem mühendisliği çalışmaları, deprem yükleri gibi dinamik yükler altında temel zemininin göçmeye karşı tasarımını yapmayı hedefler. Depreme dayanıklı yapıların projelendirilmesi için deprem özelliği, zemin özelliği ve yapı özelliği bilinmek zorundadır.

Deprem, litosferin ani ve şiddetine bağlı ölçüde sarsılması olayıdır. Deprem afeti yer altında mevcut olan kayaçlarda farklı nedenlerden dolayı depolanmış enerjinin ani olarak yerin titreşmesi şeklinde açığa çıkmasıdır. Doğal afetlerden biri olan deprem, yer kabuğu üzerinde sarsıntıyla birlikte titreşim etkisi meydana getirdiğinden yapıların mesnetlenmesinde zamana bağlı bir deplasman hareketi yaratacak; aynı zamanda dinamik etki doğuracaktır.

Ülkemiz bulunduğu konum gerekçesiyle aktif deprem kuşaklarından biri olan Alp- Himalaya kuşağı üzerinde konumlanmıştır. En aktif kuşaklardan biri olan Alp-Himalaya deprem kuşağı depremsellik açısından büyük önem teşkil etmektedir.

İnşa edilmesi planlanan mühendislik yapılarının tasarım ve uygulama bölümünde mühendislik yapısının maruz kalacağı sismik yer hareketine bağlı oluşan kritik yükün doğru bir şekilde hesaplanıp göz önünde bulundurulması, mühendislik yapısı için oldukça önem teşkil etmektedir. Bu önem doğrultusunda deprem analizi yapılırken geoteknik deprem mühendisinin bir takım aktivite çeşitlerini değerlendirmesi gerekir:

- 1- Zamana göre belirlenmiş olan veya belirsiz olarak da etkileyebilen dinamik yükler doğrultusunda eğimli yüzeylerin duraylılığını ve yanal deformasyonunu tespit etmek,
- 2- Mühendislik yapısının temel tasarımını deprem etki oranına göre projelendirmek,
- 3- Sismik yer hareketine bağlı sarsıntılar sebebiyle meydana gelecek taşıma gücü kapasitesinin azalmasından ötürü mevcut temel sisteminin deformasyona uğramaması adına, temel sistemi için güvenli yönde kalacak taşıma gücü parametrelerinin kontrolünü yapmak,
- 4- Sismik yer hareketi etkisinde oluşabilecek hasarları en aza indirgeyebilmek adına, mühendislik yapısının inşa aşamasından önce zemin iyileştirme adımlarının kontrolünü gerçekleştirmek,
- 5- Dinamik yükler etkisi altında taşıma gücü kapasitesini kaybedebilecek zeminlerin sıvılaşma analizini yapmak geoteknik deprem mühendisinin değerlendirmesi gereken durumlardır.

Deprem analizi , mal ve can kaybına neden olabilecek büyüklükte depremten dolayı yer hareketinin belirli bir yer ve zaman periyodu içerisinde analizinin yapılması olarak tanımlanır.

Deprem tehlikesi var, hasar görülebilirlik yok ise deprem tehlike durumu yoktur. Deprem tehlikesi yok hasar görülebilirlik var ise deprem tehlike durumu yoktur.

Deprem; ne zaman, hangi koşulda ve hangi büyüklükte olacağı belli olmayan bir etkidir. Bundan dolayı deprem esnasında mühendislik yapılarının, doğal zemin tabakalarının ve canlıların zarar görmesi kaçınılmazdır. Deprem bölgeleri üzerinde yer alan mühendislik projelerinin depreme karşı dayanıklı yapı tasarımı (earthquake resistant design) için gelecek zaman dilimleri içerisinde inşaat sahasında meydana gelecek sismik faaliyetin önceden tahmini istenir. Ancak çok yönlü araştırmaların sürüyor olmasına karşın, bugün için gelecekteki deprem oluşumunun yeri, zamanı ve

büyüklüğü henüz kestirilememektedir. Yaygın olarak izlenen yol geçmiş yıllara ait deprem verisini esas alarak ve olasılıksal sismik analiz yönteminden yararlanılarak gelecekteki sismik faaliyetin belirli olasılıklar ve maksimum yatay ve düşey yer hareketi ivmeleri cinsinden belirlenmesi şeklinde olmaktadır. Bununla birlikte, deterministik sismik analiz yöntemiyle de hesaplamalar yapılmaktadır. Sismik tehlikeler belirli bir deprem senaryosu doğrultusunda değerlendirilip analizi yapılıyor ise deterministik sismik tehlike analizi; depremin büyüklüğü, süresi ve yeri ile ilgili belirsizlikler göz önüne alınarak değerlendiriliyorsa olasılıksal (probabilistik) sismik tehlike analizi olarak adlandırılır. Çeşitli deprem kaynaklarının mevcut bulunduğu durumda olasılıksal yaklaşım kullanılırken, sahayı sadece bir kaynak yönetiyorsa deterministik sismik analiz yöntemi seçilir. Mühendislik yapılarının depreme karşı dayanıklı tasarlanması aşağıdaki safhaları kapsamaktadır:

- a. İncelenen bölgedeki diri faylardan ve alansal deprem kaynaklarından oluşması beklenen en yüksek büyüklüğü depremin kestirilmesi,
- b. Meydana gelen maksimum büyüklüğe sahip depremin çalışma alanı ve çevresinde oluşturacağı maksimum ivmelerin hesaplanması,
- c. Maksimum ivmeler ve proje karakteristiklerine göre mühendislik yapısını etkileyecek olan yanal ve düşey kuvvetlerin hesaplanması,
- d. Yanal ve düşey kuvvetleri karşılayacak şekilde çalışma alanında yapılması planlanan projenin depreme karşı dayanıklı tasarlanmasıdır.

Gerekli mesleki hassasiyeti göstererek meydana gelebilecek her türlü hasarı (can ve mal kayıpları) en alt seviyeye indirmek gerekir. Bu koşulda sismik tehlike analizinin önemi ortaya çıkmaktadır. Geoteknik deprem mühendisliği uygulamalarında mühendislik yapılarının inşasında sismik tehlike analizleri büyük bir önem taşımaktadır. Bu alandaki yer sarsıntısı tehlikesinin nicel olarak hesaplanması ilkesine dayanan ve geoteknik deprem mühendisliği değerlendirmelerinde kullanılan sismik tehlike analizleri, çeşitli amaçlar için yapılmış barajlar, hidroelektrik santralleri, yollar, viyadükler, köprüler, okullar, hastaneler gibi hayati önem taşıyan projelerde sıkça kullanılan mühendislik uygulamaları arasında yer almaktadır. Sismik tehlike, yapı sahasındaki deprem büyüklüğüne ait bir parametrenin; belirlenen zaman içerisinde belirli bir seviyeyi aşma durumu olarak tanımlanmaktadır.

Bu çalışmada, Batman ili ve çevresinin sismik tehlike analizi yapılarak inceleme alanı ve yakın çevresi geoteknik deprem mühendisliği bakış açısından değerlendirilmiştir. Çalışma alanı, Batman İl merkezini referans noktası almak koşulu

ile çizilen ve 100 km yarıçapa sahip dairesel bir alan içerisinde kalan yöreyi kapsamaktadır. Çalışmada deterministik yöntemde belirlenen yapılar için yeni nesil azalım ilişkileri (NGA) kullanılarak elde edilen en büyük yer ivmesi değerleri olasılıksal (probabilistik) yöntemden elde edilen değerlerle karşılaştırılmıştır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Sismik tehlike analizleri kullanılarak geoteknik mühendisliği açısından parametrelerin değerlendirilmesi adına birçok çalışma bulunmaktadır. Litosferin belirli bir bölgesindeki enerjinin bir anda açığa çıkmasıyla depremler meydana gelir. Depremlerin meydana gelişine yönelik klasik yaklaşım Reid (1911)'in 1906 yılında yaşanan San Fransisco' da meydana gelen depremin etkilerinin araştırılıp, irdelenmesine dayanarak "Elastik Tepkime" kuramı ile saptanmıştır. Hasar ve can kaybı oluşturabilecek deprem etkilerinin tehlike boyutunun saptanabilmesi için sismik tehlike analizleri yapılmaktadır. Bilim insanlarının geliştirdiği yazılımlar ve azalım ilişkileri kullanılarak çeşitli çalışmalarda ülkemizin ve bazı şehirlerin sismik tehlike analizleri yapılmıştır. Literatür taramasından Batman ili için herhangi bir sismik tehlike analizi ve buna bağlı olarak geoteknik değerlendirme yapılmadığı görülmektedir. Sismik tehlike analizleri yapılırken depremin doğasından kaynaklanan standart sapmayı temsil eden birtakım belirsizlikler oluşur. Meydana gelen bu belirsizlikler deterministik ve olasılıksal analizde karşımıza çıkmaktadır. Bu belirsizlikleri gidermek ve modellemek adına bilim insanları azalım ilişkileri geliştirmişlerdir. Sismik tehlike analizlerinde sönüm ilişkilerinden hangisinin kullanılacağı dikkat edilmesi gereken bir husustur. Seçim yapılırken çalışma sahasına en uygun sönüm ilişkisi seçilmelidir. Eğer o sahaya yönelik özel bir azalım ilişkisi yoksa, sismoteknik açıdan benzer alanlar için geliştirilmiş sönüm ilişkileri kullanılmalıdır.

Deprem esnasında meydana gelen yer sarsıntıları, depremin odağından etrafa doğru ilerler ve etkileri odak noktasından jeolojik özelliklere bağlı olarak azalır.

Yeni nesil azalım ilişkileri olarak bilinen NGA modelleri PEER Center aracılığıyla gerçekleştirilen Türkiye için kullanılabilir özellikte olan sönüm ilişkileri de oluşturulmuştur. Bu yeni nesil sönüm ilişkileri olan modeller önemli yer sarsıntılarını en güvenilir şekilde tahmin edebilecek modellerdir. Bu tahmini güvenilir kılan en önemli özellik ise güncellenmiş kuvvetli yer sarsıntıları içeren veri tabanına sahip olmalarıdır.

Bu çalışmada kullanılan yeni nesil azalım ilişkileri sığ kabuksal hareketler baz alınarak tasarlanmıştır. Bu azalım ilişkileri; Abrahamson vd. (2014), Boore vd. (2014), Campbell ve Bozorgnia (2014), Chiou ve Youngs (2014), Idriss (2008)' dir. Analizde kullanılan azalım ilişkileri; yeni nesil azalım ilişkileri özelliği taşıması, bölgenin kurulu olduğu zemin koşulları uygunluğuna bağlı olması, sonuçta bulunan ivme parametreleri birbirine yakın değerler olması ve diğer ülkelerde yapılan sismik analizlerde de sıkça tercih edilmesinden dolayı tercih edilmiştir.

Veri analizi, sismik modelleme ve sismik tehlike analizi hesabı yapmak üzere Chiang vd. (1984) tarafından geliştirilen STASHA programı deterministik ve olasılıksal analizin ikisini de gerçekleştirir.

Bender ve Perkins (1987) tarafından SEIRISKIII adlı sismik tehlike analizi programının kaynak kodu paylaşılmıştır. Bender ve Perkins tarafından geliştirilen bu yazılım sismik tehlikelerin lokasyonunu belirlemek ve deprem belirsizliğini de baz alarak analizi gerçekleştirir (Kayabalı, 1995).

SEISPACK adlı program 5 ayrı yazılım paketi içerir. Bu program Türkiye'nin deprem lokasyon derecelendirme haritasını oluştururken kullanılmıştır.

Kullanıcılar açısından kullanımı kolaylaştırmak ve kullanılabilirliğini sağlamak adına Kayabalı (1995) tarafından SISTEHAN adlı program geliştirilmiştir. SISTEHAN programı FORTRAN 77 dili kullanılarak tek bir noktanın olasılıksal (probabilistik) sismik tehlike analizini yapmak doğrultusunda geliştirilen bir yazılımdır (Kayabalı, 1995). Bu programın avantajı, analiz aşamasında değişiklik yapmak isteyen kullanıcılar için programın her aşamasında kolaylık sağlamak açısından kullanıcılara açıklamalar verilir.

EZ-FRISK programı coğrafi yerleşim değerlerini ve karakteristik sönüm durumlarını değerlendirerek olasılıksal (probabilistik) sismik tehlike analizi hesaplamalarını gerçekleştirir. EZ-FRISK sismik tehlike analizi, spektral eşleştirme ve bölge tepki analizi yaparak analizi tamamlar.

DAMHA analiz programı Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Deprem Araştırma Merkezi tarafından geliştirilen deterministik ve olasılıksal sismik analizi gerçekleştiren bir programdır. DAMHA programı Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) temeli altında çalışır (Tosun ve Seyrek, 2007).

CRISIS programı ise 1986 yılında Professor Mario Ordaz tarafından yayınlanmıştır. CRISIS programı 3.bölüm olan Materyal- Metot kısmında detaylı bir şekilde anlatılmıştır.

Genel olarak bu programlarda farklı sönüm ilişkileriyle eşleştirilerek analiz yöntemleri kullanılabilir. Sonuçlar sönüm ilişkileriyle bağlantılı olarak ivme spektrum grafikleri şeklinde saptanır ve deprem sürecini Poisson veya karakteristik deprem süreci şeklinde modellemesini gerçekleştirebilir. Bu programlar dinamik entegrasyon sistemi sayesinde genişletilmiş bölgelerde tehlikeyi hızlı bir şekilde saptar.

2.1. Azalım İlişkileri Örnekleri

Herhangi bir alanda belirli bir büyüklükte meydana gelen depremin belirli mesafedeki şiddetli yer hareket bileşenlerinin tespit edilmesi, sismik tehlike analizleri için temel araştırmaları oluşturur. Depreme karşı dayanıklı mühendislik yapılarının uygun bir biçimde tasarımının yapılabilmesi için bunların uğrayacakları zemin sarsıntısının çeşitli parametrelerinin hesaplanması gerekmektedir. Zemin sarsıntı şiddeti seviyesi doğru bir biçimde zemin hareketi karakteristiği türünden açıklandığında zemin hareketi parametre değerlerini hesaplamaya ihtiyaç duyulur. Değişik kaynak ve birbirinden farklı yer şartlarından alınan depremlere ait ivme parametrelerinin hesaba katılmasıyla denklemler tasarlanarak bir alan için maksimum zemin hareketi değeri öngörülür.

Sismik tehlike durumunun belirlenmesi, kuvvetli zemin hareketi dağılımını ve dönüşümünü hareketin büyüklüğü ile kaynak ve araştırılan alan arasında kalan uzaklığın işlevi şeklinde tanımlayabilecek uygun yer hareketi sönüm ilişkilerini gerektirir. Şiddetli zemin hareketinin; genliği, süresi, frekansı gibi özelliklerinin farklılaşması genelde kaynak işleyişi, kaynak mesafesi, dağılım jeolojisi ve yerel zemin şartlarının bir fonksiyonudur. Deprem dalgaları yayılım hattı boyunca: ortamdaki anizotropi ve heterojen yapı; sönümlenme faktörleri; yansıma, kırılma, dalga tipi dönüşümü, dalga girişimleri sebepleriyle farklılığa maruz kalır.

Batman ili ve çevresinde meydana gelmesi beklenen en büyük yer ivmelerinin (PGA) olasılıksal analiz yöntemiyle hesaplanmasında beş ayrı azalım bağıntısından yararlanılmıştır. Benzer şekilde yeni nesil azalım ilişkileri, Excel Tabanlı NGA Model Version adlı değerlendirme programı yardımıyla yapılan deterministik değerlendirmede de aynı azalım bağıntıları kullanılmıştır.

Sönüm (azalım) ilişkileri dinamik yükler altında deprem odağında oluşan enerjinin yayılım gösterirken jeolojik oluşumlara bağlı olarak değişim göstermesi hareket düzeyi, hız ve ivme değerlerinin hangi düzeyde düştüğünü tespit etmek için

oluşturulmuştur. Sönüm ilişkileri, yer hareketi değerlerinin merkezden uzaklaştıkça nasıl değişkenlik sergileyeceğini anlatan ve ölçümleri esas alan fonksiyonlardır. Bu bağıntı genelde "M" büyüklüğünde meydana gelmiş bir depremin "r" merkez mesafesindeki çalışma sahasında oluşturacağı en büyük yer ivmesi değerini (y) verir.

$$y = f(M, r) \quad (2.1)$$

Sönüm fonksiyonları; depremin büyüklüğü, dış merkezlik mesafesi, kaynak sistemi ve zemin koşullarıyla ilişkili olarak şiddetli yer hareketinin çeşitli parametrelerinin medyan ve standart sapma değerlerini veren, log- normal dağılımı ilişkide barındırdığı varsayılan ampirik bir tanımlamadır (Ansal vd., 2004). Deprem kaynağında bir bölgede meydana gelen sarsıntının çalışma alanına yansımaları sönüm bağıntıları ile tespit edilir. Sönüm ilişkileri genelde;

$$\text{Log} y = a + bM + d \log(R + c(M)) + d'R + \varepsilon \quad (2.2)$$

bağıntısıyla ilişkilendirilir. Bu bağıntıda yer alan "y" yer hareketi parametresi, "M" deprem büyüklüğü, "ε" hata parametresidir. a, b, c, d ise ampirik verilerden ulaşılan katsayılardır.

Sönüm ilişkilerinin belirlenmesinde genelde jeolojik zemin yapısı ve zemin şartlarının farklı olduğu alanlardan toplanan bulguların değerlendirilmesi tercih edilmektedir. Bununla birlikte aynı alanda oluşan depremler de farklı sönüm özellikleri gösterebilir. Bu durumun temel nedeni deprem dalgalarının yayılım gösterirken her noktada aynı etkiyi sergilememesidir. Çalışma alanına uygulanacak sönüm ilişkisi seçilirken; bu sahaya yönelik herhangi bir bağıntı geliştirilmemişse çalışma sahasına benzer özellikte olan alanlar için geliştirilmiş bağıntılar tercih edilir. Azalım bağıntılarının sık rastlanan biçimi sıralanan maddelere dayanmaktadır (Ulutaş, 2012):

- Yer sarsıntısı parametrelerinin maksimum sonuçları log- normal dağılıma sahip olan grafiği belirler. Regresyon analizi, azalım ekseninde (Y) değil, logaritma ekseninde yapılır.
- Deprem büyüklüğü belirlenmiş bir pik hareket değerinin logaritması olarak açıklanır. Buna bağlı olarak $\ln Y$ ile M değeri doğru orantılı olur.
- Deprem merkezinden uzaklaşırken yayılan deprem dalgalarının genlikleri $1/R'$ 'ye göre cisim dalgalarında azalırken, yüzey dalgalarında bu azalış $1/\sqrt{R}$ 'ye göre gerçekleşir.

- Depremlerden meydana gelen gerilme dalgaları ilerlerken bazı yüzeylerde sönümlenir. Bu sönümlenme olayı zemin sarsıntı genlikleri R'ye bağlı olarak üssel azalır.
- Zemin sarsıntı parametreleri (doğrultu atımlı, normal atımlı ve ters faylanma gibi) kaynak özellikleri ile çalışma alanı zemin özelliklerinden etkilenebilir.

Bu maddeler göz önüne alındığında tipik bir azalım ilişkisi;

$$\ln Y = C_1 + C_2 M + C_3 M^C + C_5 \ln[R + C_6 \exp(C_7 M)] + C_8 R + f_{(kaynak)} + f_{(saha)} \quad \sigma_{\ln Y} = C_9 \quad (2.3)$$

$\sigma_{\ln Y} = C_9$ ilişkisi sönüm ilişkisiyle sunulan yer sarsıntı parametresindeki standart sapma olan belirsizliği açıklar.

2.1.1. Sabetta ve Pugliese (1987) azalım ilişkisi

Sabetta ve Pugliese 1987 yılında yaptıkları araştırmalar neticesinde, İtalya bölgesindeki şiddetli zemin hareket verilerini ele alarak ivme ve hız değerleri için sönümlenme bağıntıları öne sürmüşlerdir. Veri tabanları 1976 yılından 1987' ye kadar olan süreçte meydana gelen 4.6 ve 6.8 arasında büyüklüğe sahip 17 adet depremi kapsar. Öne sürdükleri sönüm ilişkileri (Sabetta ve Pugliese, 1987);

$$\log A = (-1.562) + 0.306.M - \log(R^2 + 5.8^2)^{0.5} + 0.169.S \quad (2.4)$$

$$\log V = (-0.710) + 0.455.M - \log(R^2 + 3.6^2)^{0.5} + 0.133.S \quad (2.5)$$

gibidir. Mevcut denklemlerde A (g) türünden yatay zemin ivme değerini, V cm/s türünden yatay hız değerini, M büyüklüğü, R km türünden fay kırığına olan dik mesafeyi, S ise saha jeolojisine bağlı 0 ve 1 arasında olan değişken parametreyi simgelemektedir. Sabetta ve Pugliese öne sürdükleri çalışmada faya olan uzaklık yerine odak mesafesini ele alarak belirsizliği daha açık bir şekilde tanımlayan sönüm ilişkilerine ulaştıklarını öne sürmüşlerdir (Sabetta ve Pugliese, 1987). Fakat yüksek büyüklük ve yakın mesafeler için varsayılandan daha büyük değere sahip verilere ulaştıklarını tespit etmişlerdir.

2.1.2. Fukushima ve Tanaka (1990) azalım ilişkisi

Japonya bölgesi aktif derecede deprem alanı olduğundan farklı sönüm ilişkileri hazırlanmıştır. Fukushima ve Tanaka geliştirdikleri azalım bağıntısının modellenmesinde toplam 1372 adet en yüksek yatay zemin ivmesi bileşeninden

faydalanmışlardır. Bunların 28' i Japonya, 15' i Amerika Birleşik Devletleri ve geri kalan ülkelerden derlenmiştir (Fukushima ve Tanaka, 1990). Bu model;

$$\log A = 0.41.M - \log_{10}(R + 0.032.10^{0.41.M}) - 0.0034.R + 1.30 \quad (2.6)$$

şeklindedir (Fukushima ve Tanaka, 1990). A iki adet yatay bileşenden saptanan mak. ivme değerinin medyan değeri, R çalışma bölgesi ile fay kırığı arasındaki dik mesafe, M yüzey dalgası büyüklüğüdür. Bununla birlikte bu ilişkide dört değişik jeolojik bölge şartlarının (zemin tipi) sönüm ilişkisine olan etkisi incelenmiştir. Zemin tipindeki kaya ve yumuşak zemin durumuna göre mak. yatay zemin ivmesi 0.1 ile 1.4 değerleri arasında değişmektedir. Diğer modellerle arasında oluşan farklılık bu modelde ivme değerlerinin ölçeğindeki değişiklik, jeolojik ortam koşulları ve farklı ivme ölçerinden kaynaklanmaktadır (Fukushima ve Tanaka, 1990).

2.1.3. İnan vd. (1996) azalım ilişkisi

Ülkemizde aletsel süreçte kayıt altına alınmış sismik yer hareketlerinden ulaşılan veriler ele alınmıştır (İnan vd., 1996) Bu sönüm bağıntısı;

$$\log A = 0.65xM - 0.9\log r - 0.44 \quad (2.7)$$

şeklindedir. Bu bağıntıda A maksimum yatay doğrultulu zemin ivme değerini, M büyüklüğü, r episantr mesafe değerini simgelemektedir.

2.1.4. Ulusay vd. (2004) azalım ilişkisi

Ulusay vd. tarafından önerilen bu sönüm bağıntısı, ülkemizde 1976 ve 2003 seneleri arasında oluşan 122 sismik yer hareketinin 221 şiddetli deprem kayıt ölçerleri tarafından esas alınan ivme verileri baz alınarak tasarlanmıştır (Ulusay vd., 2004). Bu modelde ele alınan yer hareketleri $4.1 \leq M \leq 7.5$ değerleri arasında bulunmakta ve moment büyüklüğü ölçeğinde olup 20- 806 gal değerlerinde pik yatay doğrultulu zemin ivme parametresine sahiptir.

$$PGA = 2.18e^{(0.0218(33.3M_w - Re + 7.8427S_A + 18.9282S_B))} \quad (2.8)$$

Zemin parametre değerleri olarak kaya zeminlerde $S_A = 0$, $S_B = 0$; yumuşak zeminlerde ise $S_A = 0$, $S_B = 1$ değerleri esas alınmalıdır.

2.1.5. Beyaz (2004) azalım ilişkisi

Beyaz tarafından oluşturulan modellemede, 1976- 2004 seneleri aralığında Ülkemizde yaşanmış sismik yer hareketlerinin $M_w \geq 4.0$ ve $a_{mak} \geq 10 \text{ cm/s}^2$ ve 200 km' ye kadar olan uzaklık içerisinde yer alan deprem verileri baz alınmıştır. Bu yüzden oluşturulan bu modelde baz alınan bütün veriler kaya zeminde ölçülmüş gibi varsayılmıştır. Bu model kullanılarak hesaplanan ivme parametresi herhangi bir zemin üzerinde hesaba katıldığında, zemine ait büyütme parametresi ele alınarak işlemler yapılmalıdır.

$$\log A = \beta_0 + (\beta_1 M_w^2) + (\beta_2 (\log(R+1))) \quad (2.9)$$

$$(\beta_0=2.08, \beta_1=2.54 \cdot 10^{-2}, \beta_2=-1.001, \sigma=0.712)$$

R= Episantr mesafesi (km)

A= En büyük yatay yer ivmesi (cm/sn^2)

2.1.6. Kalkan ve Gülkan (2005) azalım ilişkisi

Türkiye' de 1999 yılında iki yıkıcı kentsel deprem sonrasında Kuzey Amerika ve Avrupa için geliştirilen güçlü azalım ilişkilerinin ampirik modelleri birçok ulusal sismik tehlike analizinde kullanılmıştır. Türkiye' de artan kayıt sayısı ile birlikte ulusal güçlü yer hareketi kayıtlarından elde edilen spektral şekillerin genel özellikleri arasındaki ilişkiyi arttırmak mümkündür (Kalkan ve Gülkan, 2005).

Türkiye'nin azalım özellikleri ile ilgili bilgi eksikliğinin ve dış tahminine dayalı denklemlerin uygulanmasında ki belirsizliklerin giderilmesine yardımcı olur; pik yatay ve özel hızlanma koordinatları için sönüm ilişkilerinin geliştirilmesine yönelik güncellenmiştir. Kalkan ve Gülkan modellemesinde pik yer ivmesi (PGA) ve %5 sönümlü dikey spektral ivmelenme tepki spektrumunun dikey bileşenini tespit etmek için geliştirilmiştir. Türkiye' de 1976 ve 2002 yılları arasında gerçekleşen 47 depremden oluşan 100 dikey kuvvetli yer hareketi kaydına ait bir veri, yatay zayıflama ilişkilerinin türetildiği önceden derlenmiş veri tabanının genişletilmiş ve güncellenmiş halidir.

Veri tabanında deprem büyüklükleri $M_w \geq 4.5$ ile sınırlandırılmıştır. İstisna durum ise 2002 yılında meydana gelen $M_w=4.2$ olan Burdur depremi yüksek dikey hızlanma nedeniyle dahil edilmiştir (Kalkan vd., 2004).

USGS, PEER ve COSMOS tarafından yayınlanan bilgilere dayanarak Kocaeli ve Düzce depremlerinin uzaklığı ve yerel saha koşul parametrelerinde birtakım düzeltmeler yapılmıştır. Kaynak mesafesi için, kayıt istasyonu ile yeryüzündeki yırtılma bölgesinin yatay izdüşümündeki bir nokta arasındaki en yakın yatay mesafe kabul edilmiştir.

$$\ln Y_v = c_1 + c_2(M-6) + c_3(M-6)^2 + c_4(M-6)^3 + c_5 \ln r + c_6 \Gamma_1 + c_7 \Gamma_2 + P\sigma \quad (2.10)$$

$$r = (r_{c1}^2 + h^2)^{1/2} \quad (2.11)$$

Bu bağıntının genel formunda Y_v dikey yer hareket parametresi, M moment büyüklüğü, r_{c1} istasyondan km' de ki çalışma alanına en yakın yatay mesafedir. C_1 , C_2 , C_3 , C_4 , C_5 ve h belirlenecek regresyon parametreleridir. C_6 ve C_7 , kayaya göre zemin ve yumuşak zemin büyütme parametreleridir. Bu denklemde h kurgusal bir derinliktir, G ise yerel jeoloji koşulları kontrol eden endeks değişkendir. Kaya zeminler için $\Gamma_1 = \Gamma_2 = 0$, yumuşak zeminlerde $\Gamma_1 = 0$ ve $\Gamma_2 = 1$, normal zeminlerde ise $\Gamma_1 = 1$ ve $\Gamma_2 = 0$ 'dır. $\ln Y_v$ ' nin standart sapması σ 'dır ve P ortalama değerler için 0, $\ln Y_v$ ' nin %84'ü için 1 değerini alır. Ortaya çıkan azalım ilişkileri $4.5 \leq M_w \leq 7.4$ aralığında ve $r_d \leq 200$ km'ye kadar olan mesafelerde kullanılır (Kalkan vd., 2004).

2.1.7. Idriss (2008) azalım ilişkisi

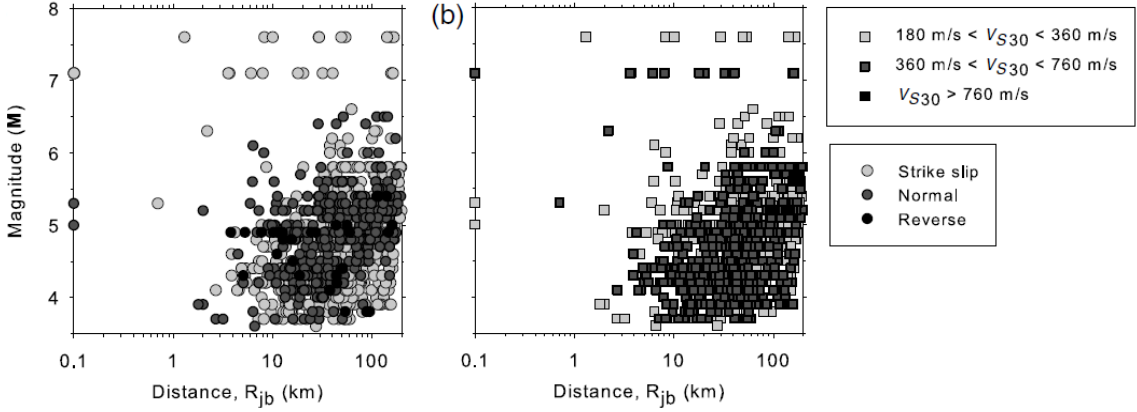
Bu modelde PSA parametreleri değerlerini tahmin etmek için kullanılan deneysel bir model olarak geliştirilmiştir. Idriss (2008) sönüm ilişkisi temelde ülkemiz için oluşturulmuş yeni nesil azalım bağıntısıdır. 200 km'ye kadar olan mesafeler için, moment büyüklüğü 4.5 ve 8.0 arasında olan sismik yer hareketleri için kullanılır.

Spektral ivme değerleri için %5 sönüm oranına göre farklı periyot değerlerinde değişmekte olan katsayılar için azalım ilişkisi geliştirilmiştir. Bu azalım ilişkisi parametreler doğrultusunda değerlendirildiğinde zemin etkileri üst 30 m'deki ortalama kayma dalgasına (V_{s30}) bağlı olarak ifade edilmekte olup, Idriss (2008) ilişkisi kayma dalgası hızının 450 m/s'den büyük olduğu zeminler için geçerli olmaktadır. Daha yumuşak zemin durumlarında çalışma sahasına özel analiz yapılması önerilmektedir. Farklı faylanma tiplerini dikkate alan eşitlik aşağıda verilmektedir.

$$\ln[PSA(T)] = \alpha_1(T) + \alpha_2(T)M - [\beta_1(T) + \beta_2(T)M]\ln(R_{rup} + 10) + \gamma(T)R_{rup} + \phi(T)F \quad (2.12)$$

2.1.8. Akkar ve Çağnan (2010) azalım ilişkisi

Bu azalım ilişkisi yönteminde öncelikli olarak Türkiye yer hareketi veri tabanı kullanılarak en yüksek yatay hızlanma değeri, hız ve sahte hızlanma tahmini için GMPE denklemleri elde edilmiştir. Bu yöntemde kullanılan veri tabanı 573 depremden moment büyüklüğü ve $3.5 \leq M \leq 7.6$, $0 \text{ km} \leq R_{JB} \leq 200 \text{ km}$ kaynak mesafesi ile Şekil 2.1 de görüldüğü gibi 1259 kayıt içerir (Akkar ve Çağnan, 2010).



Şekil 2.1. Uzunluk dağılımı ile büyüklük ilişkisi (Akkar ve Çağnan, 2010)

Verilerin önemli bir kısmı $M < 5$ olan depremlerin kayıtlarına aittir. Veri tabanındaki en büyük iki yer hareketi, başka yerlerdeki diğer benzer büyüklükte olan depremlerle karşılaştırıldığında nispeten düşük genlikli pik hareket sergileyen 1999 Düzce ($M = 7.1$) ve Kocaeli ($M = 7.6$) depremleridir.

Akkar ve Çağnan (2010) yönteminde geliştirilen denklem, yatay zemin ivmesi (PGA_{GM}), hız (PGV_{GM}) ve yabancı spektral hızlanma koordinatlarının ortalama tahminleri için temel denklemlerdir (Akkar ve Çağnan, 2010).

$M \leq c_1$ durumu için;

$$\ln(Y) = a_1 + a_2(M - c_1) + a_4(8.5 - M)^2 + [a_5 + a_6(M - c_1)] + \ln\sqrt{(R_{JB}^2 + a_7^2)} + a_8F_N + a_9F_R \quad (2.13)$$

$M > c_1$ durumu için;

$$\ln(Y) = a_1 + a_3(M - c_1) + a_4(8.5 - M)^2 + [a_5 + a_6(M - c_1)] + \ln\sqrt{(R_{JB}^2 + a_7^2)} + a_8F_N + a_9F_R \quad (2.14)$$

Bu denklemler logaritmik mesafe teriminin çarpanı büyüklüğüne bağlı yer hareketi bozulmasını hesaba katar. Bununla birlikte yüksek frekanslı yer hareketlerinin kısa mesafelerde doygunluğunu da kontrol eder. c_1 sabiti bu yöntemde 6.5 olarak sabit tutulmuştur (Akkar ve Çağnan, 2010). F_N ve F_R parametreleri, faylanma etkisine yönelik model değişkenlerdir. Normal ve ters atımlı faylar için 1, aksi halde 0 alınır.

GMPE modeli; faylanma stilini, doğrusal olmayan zemin davranışını ve büyüklüğe bağlı doygunluk ve bozulma etkilerini hesaba katan işlevsel bir form

aracılığıyla PGA_{GM} , PGV_{GM} ve %5' lik PSA_{GM} i $0.03s < T < 0.02s$ değerleri arasında tahmin eder (Akkar ve Çağnan, 2010).

2.1.9. Campbell ve Bozorgnia (2014) azalım ilişkisi

Campbell ve Bozorgnia modeli 2008 modelinden sonra aktif tektonik bölgelerde sığ kabuksal karasal depremlerden yatay zemin hareketi tahmin etmek için geliştirilmiştir (Menekşe, 2016). Fay yırtılma düzlemi üzerinde tavan blok etkileri küçük büyüklük ve uzak kaynak tahminlerinde gelişmeler ve $M_w > 5.5$ için ek aktif tektonik bölgelerden depremlerin dahil edilmesi nedeniyle olaylar arası değişkenlikte artışlar için modifikasyonlar geliştirmiştir. NGA-West2' nin geniş veri tabanına dayanarak geliştirilen modelde, büyüklük ölçeklendirme ve küçük büyüklükteki olayların azalımının sağlanmasında daha iyi kısıtlamalar sunar (Campbell ve Bozorgnia, 2014).

$PSA < PGA$ ve $T < 0.25s$ durumunda;

$$\ln Y = \ln PGA \quad (2.15)$$

Diğer koşullar için;

$$\ln Y = f_{mag} + f_{dis} + f_{flt} + f_{hng} + f_{site} + f_{sed} + f_{hyp} + f_{dip} + f_{atn} \quad (2.16)$$

Denklemden kullanılan f_{mag} büyüklük terimi, f_{dis} geometrik azalım terimi, f_{flt} faylanma teriminin tarzı, f_{hng} tavan blok terimi, f_{site} sığ alan tepki terimi, f_{sed} havza tepki terimi, f_{hyp} iç merkez derinlik terimi, f_{dip} fay eğimi terimi, f_{atn} süreli esnek azalım terimini ifade eder (Campbell ve Bozorgnia, 2014).

2.1.10. Chiou ve Youngs (2014) azalım ilişkisi

Chiou ve Youngs (2014) modeli aktif tektonik bölgelerde oluşmuş sığ kabuksal depremlerin neden olduğu yatay doğrultulu zemin hareketi genliklerini öngörmek için 2008 modeline karşılık güncelleme modeli olarak oluşturulmuştur. Bu model aracılığıyla tahmin edilen medyan yer hareketi değerleri 2008 modeliyle karşılaştırılacak olursa, $M_w > 7$ büyüklüğü için eski model ile benzerdir ancak $M_w < 5$ büyüklüğü için daha düşüktür. Bu modelde faylanma etkilerinin fay sistemindeki tavan blok, kopma tepesine kadar derinlikli ölçeklendirme, tortu kalınlığına sahip ölçeklendirme, fay eğimi ve kopma direncinin etkileri için ek terimler dahil edilmiştir (Chiou ve Youngs, 2012).

CY 2008 yeni nesil azalım ilişkisine ait (NGA), yer hareketi tahmin denklemi (GMPE), Pasifik Deprem Mühendisliği araştırma merkezinin NGA- West2 projesi kapsamında güncellenmektedir. Chiou ve Youngs (2008) yer hareketi tahmin denkleminin süreli esnek azalım ilişkisi ve $\ln V_{s30}$ ölçekleme katsayılarını belirlemek için Kaliforniya, Japonya, Yeni Zelanda, Tayvan ve Türkiye’de ki depremler için yer hareketi verileri analiz edilmiştir. Bu değerler PGA ve PSA için 0.3 ve 1.0 sn’ li periyotlarda elde edilmiştir. CY geniş mesafelerde ($R > 100$ km) geometrik yayılma terimini, $1/R^{1/2}$ ’ nin Lg dalgaları için teorik değere sabitleme yaklaşımını benimsemiş ve R ile orantılı bir süreli esnek azalım değeri tahmin etmiştir (Chiou ve Youngs, 2012).

Deprem yırtılma parametresi olan R_{rup} mesafesiyle $\ln Y$ için en yüksek yer hareketi mesafesinin sönümlenmesi için ortaya çıkan formül aşağıdaki gibidir:

$$\ln Y \propto -2.1 \times \ln[R_{rup} + C_{NS}] + (-0.5 + 2.1) \ln \sqrt{(R_{rup}^2 + 50^2)} + \gamma(M) \times R_{rup} \quad (2.17)$$

Denklem yakın kaynak geometrisini tanımlarken, C_{NS} parametresi kaynağa yakın doygunluk derecesini M ise moment büyüklüğünün bir fonksiyonu olarak verilir.

$$C_{NS} = c_5 \cosh\{c_6 \max(M-3, 0)\} \quad (2.18)$$

Denklemden büyük mesafelerde 50 km' den daha kısa mesafelerde cisim dalga geometrik yayılımından Lg dalga geometrik yayılımına geçişi tanımlar. Üçüncü denklemden ifade tarafından verilen büyüklüğe bağlı olarak süreli esnek sönümlenme terimini tanımlar.

$$\gamma(M) = C_{\gamma 1} + C_{\gamma 2} / [\cosh\{\max(M-4, 0)\}] \quad (2.19)$$

Üç denklemden bulunan c_5 , c_6 , $C_{\gamma 1}$ ve $C_{\gamma 2}$ parametreleri yer hareketi parametresinin spektral süresine bağlıdır.

Bu çalışmada Chiou ve Youngs (2008) tarafından kullanılan yaklaşım izlenmiştir. İncelenen bölgeler için veri setleri geliştirilmiştir. γ parametresini tahmin etmek için yeterli veri bulunan bireysel depremler tespit edilmiştir. γ değerine makul bir sınırlama getirebilmek için 100 km' den daha az mesafeler için en az 5 veri noktası gerekir (Chiou ve Youngs, 2012).

$$\ln(Y_{ref}) = c_1 - 2.1 \times \ln[R_{rup} + C_{NS}] + (-0.5 + 2.1) \times \ln \sqrt{(R_{rup}^2 + 50^2)} + \gamma \times R_{rup} \quad (2.20)$$

$$\ln(Y) = \ln(Y_{ref}) + \emptyset_1 \times \ln(V_{s30}) + F_{NL}(V_{s30}, y_{ref}) \quad (2.21)$$

Birinci denklem satırında CY (2008) tarafından kullanılan referans alan koşulu üzerinde en yüksek 30 m'de (V_{s30}) 1.130 m/s ortalama kayma dalga hızına sahip bir alan olan tepe zemin hareket tahminini sağlamıştır. Ortalama zemin hareket seviyesini tahmin etmek için sabit bir c_1 kullanılır. Denklemin ikinci satırı modelin alan terimini

temsil etmektedir. $F_{NL}(V_{s30}, y_{ref})$ terimi katsayıların verilen değerlerde sabitlendiği doğrusal olmayan zemin tepkisi terimi ifade etmektedir. Doğrusal $\ln(V_{s30})$ ölçeklendirme parametresi $\emptyset_1$, uygunluk işleminin bir parçası olarak deprem verilerinden hesaplanmıştır. V_{s30} sığ kabuğun yer hareketleri üzerindeki genel etkileri için aracı değişken olarak kullanıldığı için, doğrusal ölçeklendirmenin bölgeden bölgeye değişebilme potansiyeli vardır.

2.1.11. Boore vd. (2014) azalım ilişkisi

Aktif tektonik bölgelerde sığ kabuksal depremler için kaydedilen zemin hareketi genliklerinin ortalama yatay bileşeninin standart sapmalarını hesaplamak için geliştirilen bir modeldir. Kaynak, yol ve saha etkilerinde bölgesel değişkenlik göz önünde bulundurulur, ancak model yönlendirme etkilerini ele almayan bir model örneğidir. Değişkenlik modeli, M ile olay değişkenliği arasındaki düşüşü, periyoda bağlı olarak büyüklük ile değişkenlik gösteren, mesafeyle artan ve azalan zemindeki değişkenliği yakalayan modeldir (Boore vd., 2014).

Bu model 400 km'ye varan mesafelerde V_{s30} 'un 150 m/s ile 1,500 m/s olduğu yerlerde 0,01- 1,0 s spektral süreler için geçerlidir. Kaynak, yol ve saha etkilerinde bölgesel değişkenlik göz önüne alınırken, yönlendirme etkileri göz önüne alınmamıştır (Boore vd., 2014). Yer hareketini tanımlayan denklem aşağıda verilmiştir.

$$\ln Y = F_E(M, mech) + F_P(R_{jb}, M, region) + F_S(V_{s30}, R_{jb}, M, region, z1) + \epsilon_n \sigma(M, R_{jb}, V_{s30}) \quad (2.22)$$

Bu denklemde “Y” yer hareketi olan IM’nin doğal logaritmasını temsil eder; F_E , F_P , F_S ise sırasıyla E için olay, P için yol, S için bölge etkilerini temsil eder. ϵ_n bir $\ln Y$ değerinin ortalamadan uzaklaşmış standart sapmalarının fraksiyonel sayısıdır. σ ise modelin toplam standart sapma değeridir. Tahmin değişkenleri M, mech, R_{jb} (km cinsinden), bölge; V_{s30} (m/s) ve $z1$ km cinsindendir. Mech parametresi sırasıyla tanımlanmamış değerler için 0, SS (doğrultu atımlı fay) için 1, NS (normal atımlı fay) için 2, RS (ters atımlı fay) için 3 değerini alır. Bölgesel düzeltme yapılmaması durumunda parametre bölgesi varsayılan değer olan 0’dır; Kaliforniya, Yeni Zelanda, Tayvan için 1, Çin ve Türkiye için 2, İtalya ve Japonya için 3 olarak belirlenmiştir. Bu denklem temel durum fonksiyonunun ve arta kalan maddelerin analizinden elde edilen bir fonksiyondur.

2.1.12. Abrahamson vd. (2014) azalım ilişkisi

Abrahamson vd. (2014) yeni nesil azalım ilişkisinde; tektonik bölgelerdeki sığ kabuk depremlerinden ortalama yatay bileşen değeri için ampirik yer hareketi modelleri, NGA veri tabanı kullanılarak elde edilmiştir. Bu model 3,0- 8,5 büyüklüğüne, derinliği 300 km'yi aşmayan ve 0- 10 sn spektral sürelerine sahip yer hareketlerine uygulanabilir. Modelin temel giriş parametreleri, bazı istisnalar dışında, Abrahamson ve Silva (2008) tarafından kullanılanlarla aynıdır.

Zayıf zemin bulunan bölgelerdeki kayıtlar mak 80 km mesafeyle sınırlanırken, Kaliforniya, Çin, Tayvan ve Japonyadan gelen kayıtlarda ise bu derinlik mesafesi 400 km olarak sınırlandırılmıştır (Abrahamson vd., 2014).

Zemin özellikleri için ortalama kayma dalgası 30 m derinlikte dikkate alınmaktadır (Abrahamson vd., 2014). Azalım bağıntısı aşağıda yer alan denklemde tanımlanmıştır.

$$\ln S_a(g) = f_1(M, R_{rup}) + F_{RV} f_7(M) + F_N f_8(M) + F_{AS} f_{11}(CR_{jb}) + f_5(Sa_{1180}, V_{s30}) + F_{HW} f_4(R_{jb}, R_{rup}, R_x, R_{y0}, W, dip, Z_{TOR}, M) + f_6(Z_{TOR}) + f_{10}(Z_{1.0}, V_{s30}) + Regional(V_{s30}, R_{rup}) \quad (2.23)$$

Doğrultu atımlı faylar için temel büyüklük ve mesafe bağımlılığı 2008 modellemesi ile aynıdır; sadece $M < 5$ büyüklük değerleri için ek bir kırılma değeri tanımlanmıştır (Abrahamson vd., 2014).

$M > M_1$ durumunda;

$$f_1 = a_1 + a_5(M - M_1) + a_8(8.5 - M)^2 + [a_2 + a_3(M - M_1)] + \ln(R) + a_{17} R_{rup} \quad (2.24)$$

$M_2 \leq M < M_1$ durumunda;

$$f_1 = a_1 + a_4(M - M_1) + a_8(8.5 - M)^2 + [a_2 + a_3(M - M_1)] + \ln(R) + a_{17} R_{rup} \quad (2.25)$$

$M < M_2$ durumunda;

$$f_1 = a_1 + a_4(M_2 - M_1) + a_8(8.5 - M)^2 + a_6(M - M_2) + a_7(M - M_2)^2 + [a_2 + a_3(M_2 - M_1)] \ln(R) + a_{17} R_{rup} \quad (2.26)$$

2008 modellemesi uzaklığı ölçeklendirirken H_w faktörü içerirken, 2014 modellemesinde H_w 'nin büyüklük, dip ve mesafeye bağımlılığını sınırlandırmak için sonlu hata simülasyonlarından elde edilen değerler kullanılmıştır.

Azalım ilişkilerini deterministik analize dahil ederken yeni nesil azalım ilişkisi özelliği taşıyan ve diğer ülkelerde de kabul görmüş denklemler tercih edilmiştir. Azalım bağıntıları temel özellikleri Çizelge 2.1.' de gösterilmiştir.

Çizelge 2.1. Azalım ilişkileri temel özellikleri

AZALIM İLİŞKİLERİ			
Modeller	Yıl	R Mesafesi (km)	M _w (N.m)
Sabetta ve Pugliese	1987	-	$4.6 \leq M_w \leq 6.8$
Fukushima ve Tanaka	1990	-	-
İnan	1996	-	-
Ulusay vd.	2004	-	$4.1 \leq M_w \leq 7.5$
Beyaz	2004	$R \leq 200$ km	$M_w^{34.0}$
Kalkan ve Gülkan	2005	$R \leq 200$ km	$4.5 \leq M_w \leq 7.4$
Idriss	2008	$R \leq 200$ km	$4.5 \leq M_w \leq 8.0$
Akkar ve Çağnan	2010	$R \leq 200$ km	$3.5 \leq M_w \leq 7.6$
Campbell ve Bozorgnia	2014	$R \leq 300$ km	$3.0 \leq M_w \leq 7.5$
Chiou ve Youngs	2014	Sert kaya zeminlerde	$3.0 \leq M_w \leq 7.5$
Boore vd.	2014	Kaya zeminlerde	$3.0 \leq M_w \leq 7.9$
Abrahamson vd.	2014	$R \leq 300$ km	$3.0 \leq M_w \leq 8.5$

2.2. Sismik Tehlike Analizi Çalışmaları

Aşağıda yer alan bölümlerde bu tez çalışması kapsamındaki inceleme alanına yakın yerlerde yapılan ve bu tez çalışmasına benzer prensiplerle yapılan birkaç çalışma özetlenmiştir.

2.2.1. Kırıkkale ili yerleşim alanı için en büyük ivme, zemin büyütmesi ve hakim titreşim periyodu özelliklerinin değerlendirilmesi

Bulunduğu konum açısından depremsellik tehlikesi teşkil eden Kırıkkale ili için Sönmezer vd. (2015) tarafından yapılan çalışmada en büyük ivme değeri, zemin büyütme parametresi ve zemin hakim titreşim periyodu parametrelerinin değerlendirilmesi yapılarak yürütülmüştür.

Kentleşme alanlarına kılavuz olmak amacıyla yapılan çalışmada moment büyüklüğü 7.2 alınarak parametreler belirlenmiştir. Sönmezer vd. (2015) yaptıkları çalışma doğrultusunda yer tepki analizinden elde edilen en büyük ivme parametresi 0.30 g ile 0.74 g arasında olacak şekilde bulunmuştur. Zemin hakim periyodu çalışma alanının bazı bölgelerinde 0.40 sn - 0.50 sn iken bazı bölgelerde 1 sn olarak tespit edilmiştir (Sönmezer vd., 2015).

2.2.2. Siirt ili sismik tehlike analizi

Çalışmada Siirt şehrinin en büyük ivme, büyüklük ve tasarım parametreleri azalım bağıntıları doğrultusunda Köker (2013)' ün yaptığı yüksek lisans tez çalışmasında tespit edilmiştir. Çalışma alanından saptanan zemin tepkileri, olasılıksal analiz kapsamında tehlike grafikleri ile çizilmiştir. $M_w \geq 4.5$ olan deprem verileri çalışmada esas alınmıştır.

Çalışma alanı olan Siirt ili merkez olmak üzere 200 km yarıçapa sahip olan bölge 1. ve 2. dereceden deprem bölgesi üzerine kuruludur. Köker (2013)' in yaptığı çalışma sonucunda 50 yılda %2 aşılma olasılığı beklenen depremin büyüklüğü 6.87 olarak belirlenmiştir.

2.2.3. Şırnak ilinin olasılıksal sismik tehlike analizi

Arin vd. (2018) yaptığı çalışmalar doğrultusunda Şırnak ilinin probabilistik sismik analizi yapılmıştır. Şırnak ili ve 100 km çevresinde 1900- 2016 seneleri arasında $M_w \geq 3$ olan depremler doğrultusunda analiz gerçekleştirilmiştir. Yapılan sismik tehlike analizine göre Şırnak ve 100 km çevresi için en büyük ivme değeri; 50 yılda %2 aşılma olasılığı için 0.449 g, 50 yılda %50 aşılma olasılığı için hesaplanan en büyük ivme değeri 0.084 g olarak saptanmıştır.

Şırnak ili ve 100 km çevresinde meydana gelen depremlerin tarihsel verileri Arin vd. (2018)' nin çalışmasında istatistiksel değerlendirmeye göre 50 yıllık bir ömürde 6.0, 6.5 ve 7.0 büyüklüğündeki depremin aşılma olasılıkları %39, %16 ve %6 olarak tespit edilmiştir.

2.2.4. Düzlemsel kaynak modelleri kullanılarak Doğu Anadolu Fayı' nın olasılıksal sismik tehlike analizi

Menekşe (2016) tarafından hazırlanmış olan çalışmada geliştirilmiş olan sismotektonik tasarım, fayların davranış özelliklerini doğru bir şekilde aktarılabilmesi için sismik yer hareketi büyüklük yayılım modeli ile fay mekanizması, fay kırılma durumlarını içerir. Sismik yer hareketinde yeni nesil azalım ilişkileri kullanılarak analiz yapılmıştır. Çalışmada 6 bölge için ivme spektrum grafikleri ve tehlike harita senaryoları tasarlanmış, tasarım spektrumları değerlendirilmiştir.

475 yıllık geri dönüş sürecinde PGA değeri Menekşe (2016) tarafından tasarlanan 1. model için 0.82 g ve 2. model için 0.72 g olarak bulunmuştur. 2475 yıl içinde 1. model için PGA değeri 1.40 g ve 1.21 g olarak bulunmuştur. Bu çalışmada aynı zamanda sismik yer hareketi karakterizasyon durumu açısından yapılan diğer çalışmalardan farklılık göstermektedir.

2.2.5. Yüksekova (Hakkari) bölgesinin depremselliği ve sismik tehlike analizleri

Yüksekova bölgesi 1. derece deprem bölgesi üzerinde yer almaktadır. Akkaya vd. (2013) yaptıkları çalışmada saha incelemeleri ve alanda daha önce oluşmuş sismik yer hareketleri doğrultusunda bölgenin depremselliği zemin koşulları göz önünde tutularak araştırılmıştır. Sismik tehlike analizi sonucunda bulunan PGA değeri gevşek ve suya doymuş olan bölgelerde 0.30- 0.40 g olduğu tespit edilmiştir. Düşük olan ivme parametresi ise kentleşmenin daha az düzeyde olduğu bölgelerde ise 0.1 g olarak çalışmada tespit edilmiştir. Akkaya vd. (2013) çalışmasında Gutenberg- Richter bağıntısına göre büyüklüğü 7 olan bir hareketin tekrarlama periyodu 100 yıl, büyüklüğü 7.5 olan bir depremin tekrarlama periyodu ise 255 yıl olarak tespit edilmiştir.

3. MATERYAL- METOT

3.1. Materyal

3.1.1. Batman ilinin genel özellikleri

İstiklal savaşında işgale uğramayan Batman bölgesi 1950 yılından sonra petrolün çıkarılıp değerlendirilmesiyle bölge açısından büyük bir gelişme sağlanmıştır. 1990 yılına kadar Siirt'e bağlı olarak kalan Batman bu tarihten sonra şehir merkezi haline geldi. Batman şehri, Diyarbakır Havzası'nın doğusunda Batı Raman Dağı'nın kuzeyinde bulunan, K- G yönünde akan Batman Çayı'nın eski menderes yeniği şekilleri üzerine kurulmuştur.

Mezopotamya bölgesini oluşturan alüvyonlu ovaların bulunduğu bölge Dicle ve Fırat Nehirleri arasında kalan yörede insanlar ilk defa yerleşik hayata geçip, tarihsel süreçte medeniyetlerin kurulduğu bölgedir. Mezopotamya Bölgesi' nin kuzeyini sulayarak geçen Dicle Nehri ve Batman-Garzan çaylarının Batman şehir sınırları dahilinde akması Batman şehrine büyük fayda sağlamıştır.

Batman şehir merkezi 41,129674 boylamı ile 37,900643 enlemi arasında yer almaktadır. Batman ili Türkiye' nin güneydoğusunda yer almaktadır. Şekil 3.1. ve Şekil 3.2.' de görüldüğü gibi kuzeyinde Muş, kuzeydoğusunda Bitlis, doğusunda Siirt, güneydoğusunda Şırnak, güney- güneybatısında Mardin ve batısında da Diyarbakır illeriyle komşudur. Batman ili sınırları dahilinde 6 ilçe bulunmaktadır. Bunlar Merkez, Kozluk, Sason, Hasankeyf, Gercüş ve Beşiri'dir (Anonim-4, 2019).

İl merkezinin bulunduğu Raman, Garzan ve Aydınlık Dağları ile çevrili olan bölge, Dicle Nehri ve bu nehrin yan kolları olan Batman ve Garzan Çayları arasında kalan Batman Ovası üzerindedir.



Şekil 3.1. Batman ili yer haritası (Anonim-1, 2019)



Şekil 3.2. Çalışma alanının Google Earth üzerindeki yeri (Google Earth)

Şekil 3.3.' de belirtilmiş olan çalışma sahası merkezinde yer alan Batman ilinin yüzölçümü 4.694 km² ve 2017 yılı verilerine göre nüfusu 585.252'dir. Şehrin doğu kısmında yer alan önemli petrol yataklarına sahip ve üretimi yapılan Raman Dağı ve güneydoğu Toroslar; güney bölgesinde ise Gercüş Antiklinali yer almaktadır. Batman Petrol Rafinerisi göçü tetiklemiş, şehrin gelişmesini sağlamıştır.



Şekil 3.3. Çalışma alanı uydu görüntüsü (Google Earth)

3.1.2. Jeolojik ve tektonik veriler

Batman merkez olmak üzere ve 100 km çevresinde meydana gelebilecek bir depremin zeminde yarattığı titreşim etkisi en fazla düşük taşıma kapasiteli dediğimiz zayıf zeminlerde; en az ise sert ve yoğun kayalardan oluşan ana kaya olarak adlandırılan sağlam zeminlerde hissedilecektir. Yerleşme ile zemin özellikleri arasındaki ilişki düşünüldüğünde, depremde oluşacak can ve mal kayıpları konusundaki endişeyi artırmaktadır. Bu nedenle kentleşme zemin özellikleri baz alınarak sağlanmalıdır. Zemin özellikleri dikkate alınırken yapı periyodu ve zemin büyütme parametreleri değerlendirilmelidir. Yapı periyodu, mühendislik yapısında bir tam titreşim hareketinin meydana gelmesi için geçen zaman dilimidir. Yapı periyodu; yapı kütlesi ve sistemin rijitliğine bağlıdır. Zemin büyütme parametresi ise kaya zeminde meydana gelen bir deprem kaya zemin boyunca aynı şekilde ilerler; fakat alüvyonlu zeminlerde ilerlerken zemin büyütme parametresi devreye girmektedir. Bu durumda zemin büyütme parametresi, zeminin maruz kaldığı dalgaanın genliğini arttırması olayıdır.

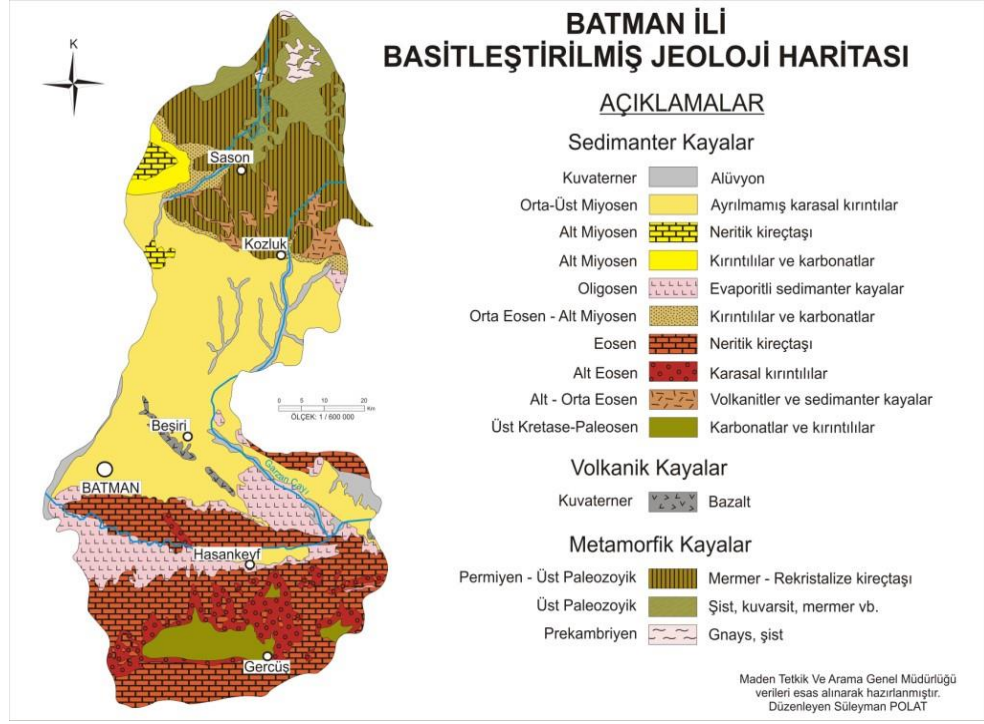
Batman ili zemin özellikleri belirlenirken geçmiş yıllarda yapılan sondaj raporları derlenerek elde edilmiştir. Bu çalışmada zemin özellikleri ve davranışları depremsellik açısından değerlendirilmiştir. Sismik hareketlerin davranışları doğrudan yerel jeolojik zemin özelliklerine bağlı olup, zeminde bu özelliklere göre ilerleyip, zemin emniyet düzeyine göre hasara sebep olurlar.

Ülkemizde ve özellikle bölgemizde; barajlar, köprüler, yollar, viyadükler, hastaneler gibi yapıların zarar görmesi halinde büyük kayıplara yol açacak olan tasarlanmış ya da tasarlanacak olan önemli mühendislik yapılarının güvenli tasarımında kullanılacak parametreler zemin koşullarına göre belirlenmektedir. Batman bölgesinin jeolojik açıdan irdelenmesi amacıyla bu bölgede yer alan birim ve formasyonları incelenmiştir.

3.1.2.1. Jeolojik veriler

Petrol aramak için Batman ili ve çevresinde bu zamana kadar pek çok araştırma yapılmıştır. Bu araştırmalar neticesinde bölgenin farklı düzeyde jeolojik yaştaki kütlelere sahip olduğu anlaşılmıştır. Ülkemizin önem teşkil eden petrol üretim bölgesi olan Batman bölgesinde petrol üretim alanı olan Batman Raman Dağı'nda görülen birimler Germik formasyonunu meydana getirmektedir. Petrol aramak için Batman

yöresinde yapılan çalışmalar esnasında açılmış olan sondaj kuyu raporuna göre bu alan siltli kumlu dolomit, jips ve kireçli şeyl ardalanmasından oluşur. Şekil 3.4.' de görülen jeoloji haritasında 6 ilçede görülen jeolojik formasyon birimleri jeolojik yaş kütlelerine göre belirtilmiştir. Zemin büyütme parametrelerinin belirlenme ve yorumlanma aşamasında Şekil 3.4.' de sergilenmiş olan jeoloji haritası temel alınmalıdır.



Şekil 3.4. Batman ili jeoloji haritası (Polat, 2019 ve MTA,2007)

3.1.2.1.1. Gercüş formasyonu

Formasyon tiplerinden biri olan Gercüş formasyonunun tip birim kesit bölgesi Gercüş ilçesinde yer alan Gercüş antiklinalidir. Batman'ın güneydoğusunda Raman antiklinalinin çekirdeğinde küçük mostralr şeklinde yüzeyler. Midyat kireçtaşlarının aşındığı yerlerde en alt tabakalarda gözlenir. Gercüş formasyonu, ince- orta- kalın tabakalı, gri- yeşilimsi gri, yeşil, bej ve pembe renkli kumtaşı, çakıltaşı, silttaşı, marn ve şeylerden oluşur (Eren vd., 2012).

3.1.2.1.2. Hoya formasyonu (Midyat kireçtaşı)

Batman ilinin güney kesiminde Gercüş formasyonunun üst kısmında gözlemlenirler (Yeşilova ve Helvacı,2012). Batman yöresinin güney doğrultusundan

başlayarak Raman Dağı boyunca devam eder. Hoya formasyonu çeşitli (dolomitik ve killi) kireçtaşlarından oluşmuştur.

3.1.2.1.3. Germik formasyonu

Midyat kireçtaşları üst bölgesinde Raman Dağı eteklerinde görülür. Bölgede kalınlığı maksimum 465 metredir. Germik formasyonu Gercüş antiklinalinin Dicle Nehri' ne yönelik azalım sergilediği kuzey şeridinde ve batı yöresinde oluşum yapmaktadır. Batman ilinde geniş alana yayılan dağlarda oldukça sık mostraları görülen tebeşirli kalker bantları görülür. Genç dönemde oluşmuş bölgeler arasında bölge bölge jipsli bantlar görülmektedir.

3.1.2.1.4. Şelmo formasyonu

Batman şehrinin yerleşim bölgesinin geniş bir kısmı bu formasyon üzerinde yer alır. Bölge bölge beyaz jips düzeyleri görülmektedir (Bolgi ve Kıratlıoğlu, 1962; Saltık, 1970; Açıkbaş ve Baştuğ, 1975; Pasin, 1989). Şelmo formasyonu Dicle vadisinden başlayarak kuzeye doğru kalınlığı artmaktadır. Bu formasyon Sason- Kozluk bölgeleri ve Hakkari şehrinde Fırat formasyonu üzerinde farklı bir şekilde tabakalaşarak uyumsuzluk sergilemiştir (Özdemir ve Ünlügenç, 2013).

3.1.2.2. Tektonik veriler

Sismik yer hareketleri, iç dinamik hareketlerle litosferde meydana getirdiği deformasyonların oluşturduğu ve jeoloji biliminde tanımlanmış kırılmalar ardından oluşan zemin sarsıntılarıdır. Depremin büyüklüğü, kırılma durumunda ortaya çıkan enerjinin miktarına bağlı olarak değişmektedir (Akdeniz, 2003). Çoğu zaman, açığa çıkan enerji kırılma merkez noktasından ayrıldıkça azalmaktadır. Bazı durumlarda bölgesel jeolojik oluşum niteliklerinden ortaya çıkan negatif zemin özellikleri bu olayı değişime uğratabilir; kaynak noktasından uzak mesafede bulunmasına karşın sismik yer hareketinin hasara uğratabilecek etkisinin sanılandan daha büyük olmasına neden olabilir. Bu yüzden çalışma alanlarının sismik yer hareketi potansiyeli incelenip yorumlanırken depreme neden olan fayların (aktif fay) ve bölgesel zemin niteliklerinin iyi tanımlanması gerekir (Akdeniz, 2003).

Ülkemizin güneydoğu bölgesi Kuzey Anadolu Plakası ile kuzeyde, Arap Plakası ile güneyde sıkışmış bindirme bölgesidir (Akdeniz, 2003). Oluşan bu bindirme bölgesi senede yaklaşık olarak 3 cm kuzey doğrultuda ilerleyen Arap Plakası, Kuzey Anadolu ve Anadolu Plakalarını sıkışmaya maruz bırakırken alanda farklı büyüklüklerde sığ odaklı depremlere neden olmaktadır. Bölgemizde mevcut olan iki etkili sismo- tektonik oluşum, Güneydoğu Anadolu Bindirmesi ile kuzey doğrultusunda bulunan ve Arap Plakası ile Anadolu Plakası ortasındaki sınır çizgisini meydana getiren Doğu Anadolu Fayı' dır. Bulunan iki sismo- tektonik oluşumda Arap Plakası' nın kuzey doğrultuda ilerleyişi ve Güneydoğu Anadolu bölgesinde Anadolu Plakasına bindirmesi neticesinde oluşan sıkışma oluşumlarıdır.

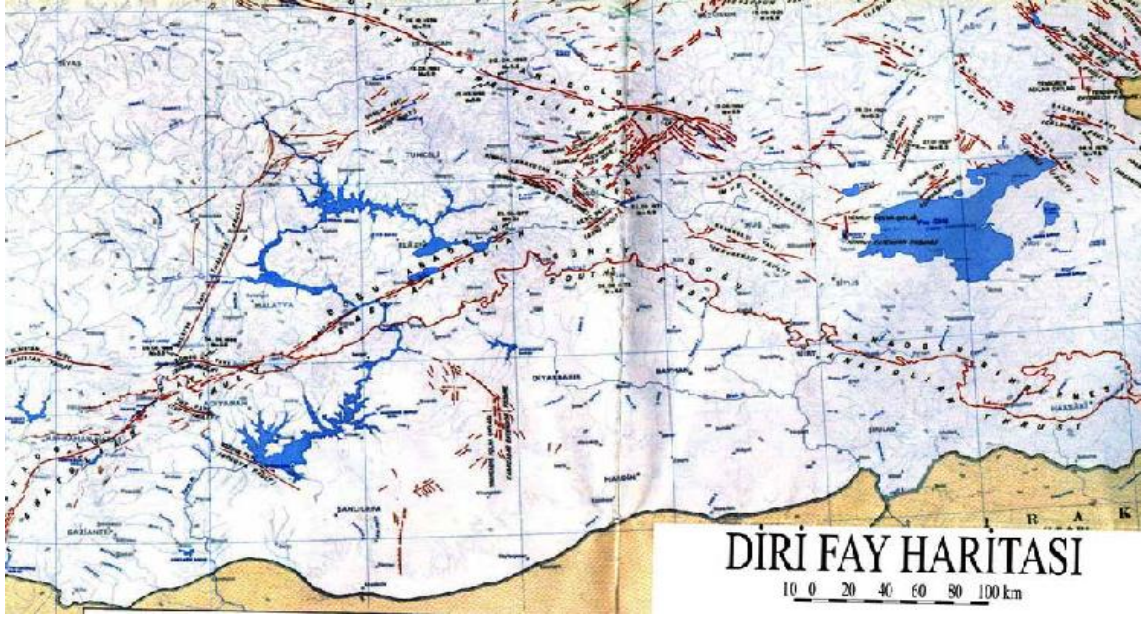
Alandaki plakaların birbirlerine doğru meydana gelen ilerleyişleri sonucunda gelişen K- G doğrultulu sıkışma, bindirme kuşağı boyunca oluşan kıvrımlanma ve bindirmelerle kıtasal kabuğun deforme olmasına sebep olur. Anadolu Plakası' nın sağ doğrultulu Şekil 3.5.' de görüldüğü gibi Kuzey Anadolu Fayı ve sol doğrultulu Doğu Anadolu Fayı boyunca batı yönlü ilerleyişine neden olur (Akdeniz, 2003).



Şekil 3.5. Anadolu'da meydana gelen levha hareketleri (Polat, 2019; Koçbulut vd., 2013; Piper vd., 2006)

MTA Müdürlüğü canlı yaşamını ve mühendislik yapılarını etkileyen sismik yer hareketlerinin deprem afeti öncesi hazırlık planlarında kullanılmak için diri fay haritaları Şekil 3.6.' da görüldüğü gibi oluşturulmuştur. Alanda birikmiş deformasyon enerjisi genellikle iki sismo- tektonik oluşum üzerinde sismik yer hareketleriyle ortaya çıkar. Bu iki yapı Kuzey Anadolu Fay Deprem Kuşağı ile kıyaslanabilecek düzeyde,

aktif bir kuşak içerisinde bulunmakta ve etkin bir deprem kaynağı meydana getirmektedir (Akdeniz, 2003). Güneydoğu Anadolu Bindirmesi; güneydoğu tarafında Şemdinli – Yüksekova Fay zone ile birleşmektedir. Batı tarafa doğru Doğu Anadolu Bölgesi sınır hattı doğrultusunda yol alır ve Adıyaman bölgesinde Doğu Anadolu Fayı ile çakışır. Çakıştığı bu alanda batı doğrultuda ilerleyen Sürgü Fayı meydana gelir. Bu oluşumun devamında Elbistan Fayı uzanır. Kesişme alanında bindirmenin 25 km’ lik bir atımı bulunmaktadır. Kesişmeden sonra Doğu Anadolu Fayı güneye doğru dönüm yaparak Antakya tarafında sonlanır (Akdeniz, 2003).



Şekil 3.6. Çalışma alanı diri fay haritası (Şaroğlu F. vd., 1987)

Yukarı kısımda bahsedilen hat doğrultusunda Arap ve Afrika levhalarının bindirme yapması mümkündür. Güneydoğu Anadolu Bindirmesinin kuzey doğrultulu sıkıştırma faktörüne maruz kalan Doğu Anadolu Bölgesi, diğer bir yandan da Kuzey Anadolu Fayı hattının KB-GD yönünde sıkıştırmasına maruz kalmaktadır. Bu yüzden alandaki kuzey - güney yönlü sıkışma hattına paralel olarak ilerleyen bindirme faylarının dışında, bu eksene paralel olarak ilerlemekte olan irili - ufaklı doğrultu atımlı faylanmalar doğrultusunda meydana gelen blok kaçışları ile, alanda ayrıca blok içi deformasyonların da meydana geldiği, alandaki sismik hareket üzerinde etkisi olduğu bilinmektedir.

M= 5.7 ve M= 5.6; 1949 yılında Karlıova'da M= 6.7 ve 1966' da M= 6.2; 1971'de Bingöl'de M= 6.8; 1979 yılında Adana'nın Kozan ilçesinde M= 5.1; 1988 yılında Adana Ceyhan'da M= 6.2; 2001 yılında Osmaniye'de M=4.9; 2003 yılında Bingöl'de M= 6.4 büyüklüğünde olan depremler sırasında DAFZ kırılmıştır.

Literatür araştırmasına göre yapılan çalışmalardan tektonik oluşumlar baz alınarak ötelenme değerleri saptanmıştır.

3.1.2.2.2. Güneydoğu Anadolu fay bölgesi- Bitlis Zagros kenet kuşağı (BZKK)

BZKK, Orta Miyosen ve Erken Geç Miyosen döneminde Arabistan ve Avrasya levhalarının çarpışması sonucu kenetlendiği bölgedir. Bu çarpışma sonucu aradaki denizin kapanmasıyla oluşan kenet kuşağıdır. Güneydoğu Anadolu Bölgesi' nin kuzey kenarı boyunca gelişen BZKK, kıta- kıta ve kıta- okyanusal litosfer yapısının kompleks bir yapısıdır. Bu bölgede bindirmeler aracılığıyla birbirinden ayrılmış olan üç farklı ana tektonik birim bulunur. Bunlar Arabistan platformu, İmbrike bölgesi ve Nap bölgesidir. Arabistan platformu; Jura tipi kıvrım kuşağını temsil ederken, İmbrike bölgesi ve Nap bölgesi ana orojenik birimleri oluşturur (Menekşe, 2016).

BZKK, İran' da yer alan Zagros Bindirme Kuşağı'nın devamı durumunda olup, doğudan batıya doğru Hakkari, Beytüşşebap, Narlı, Pervari güneyi, Kozluk, Kulp, Lice kuzeyi, Ergani kuzeyi, Çüngüş ve Çelikhan'dan bölgelerinden geçer. DAFZ tarafından atıma uğramış olan BZKK, Gölbaşı'nın kuzeyinde tekrar ortaya çıkmaktadır. İki bindirme durumunda batıya doğru uzanımı olan BZKK'nın bir kolu Kahramanmaraş' tan, bir kolu da Andırın doğusunda güneye dönerek belirsizleşmektedir (İmamoğlu ve Çetin, 2007). Bu bölgede oluşan bindirmeler Toroslar' ın güney kenarı doğrultusunda devam etmekte ve doğu bölgesinde Bitlis- Zagros bindirme kuşağına bağlanmaktadır (Akdeniz, 2003).

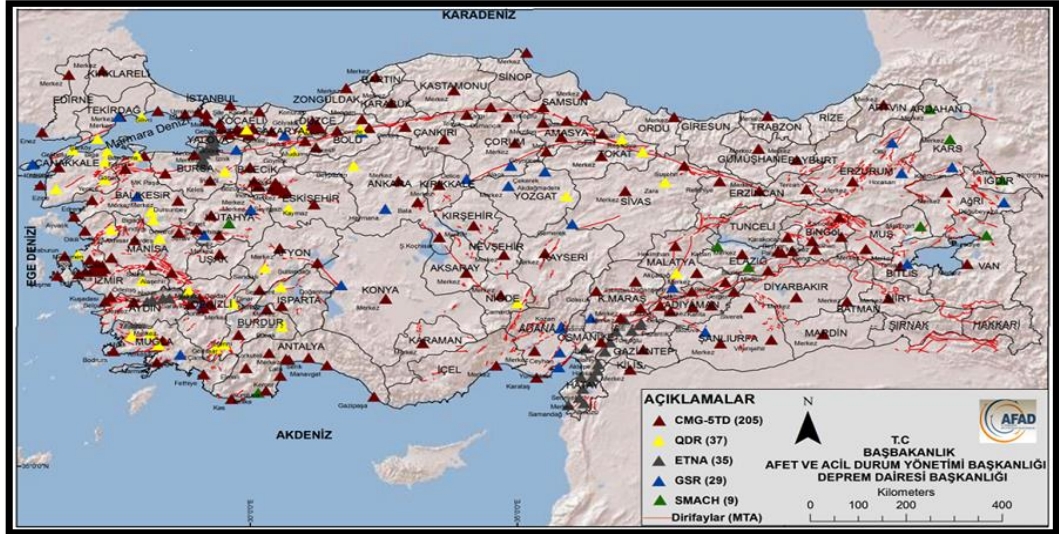
Hazro bölgesinde Paleosen öncesinde, Mardin- Derik bölgesinde ise Eosen öncesinde bu çarpışma doğrultusunda yapılar oluşmuştur (Perinçek vd., 1987). Bu fay hattı aktif olmakla birlikte halen etkinliği devam etmekte ve bu fay hattı üzerinde en son 1975 Lice depremi (M= 6.6) meydana gelmiştir.

3.1.2.3. İvme kayıtları

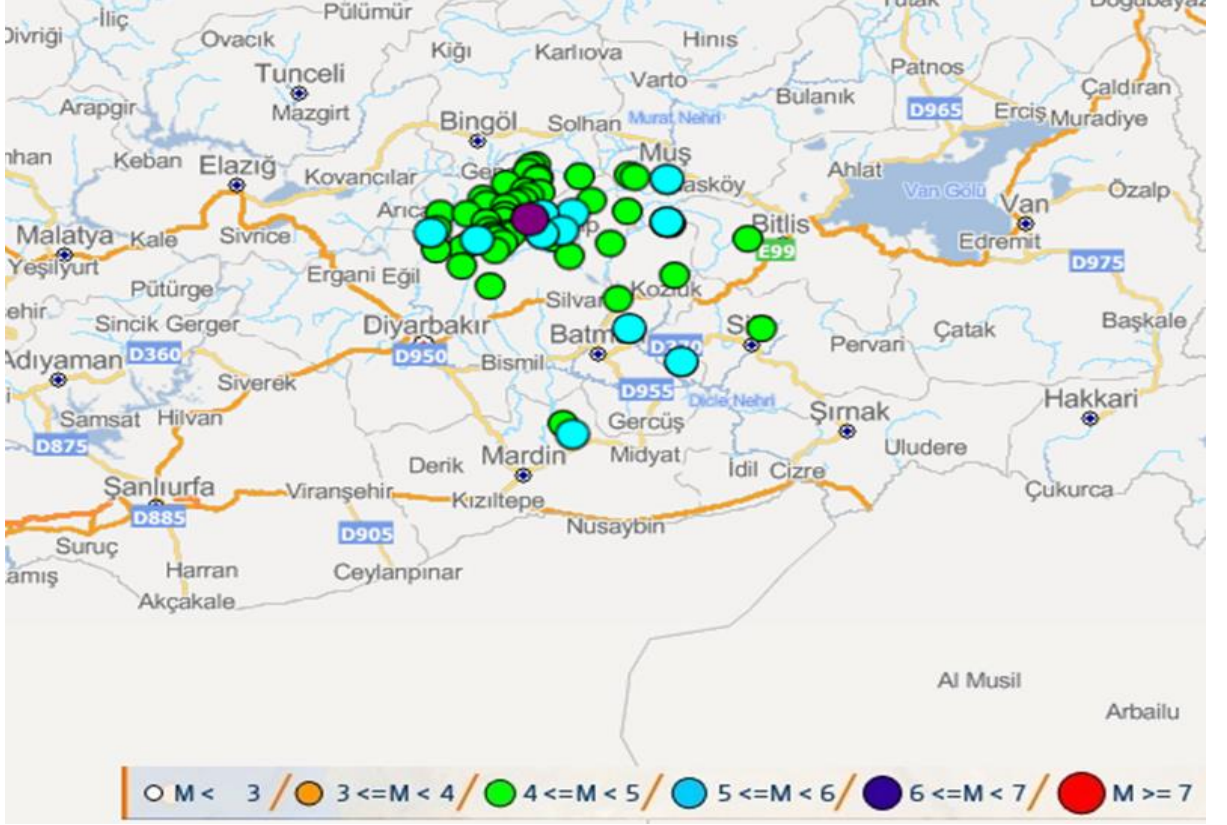
Sismik yer hareketleri tespiti aşamasında deprem kayıtları olarak isimlendirilmektedir. Proje tasarım aşamasında mühendislerin amaçlarında özellikle ivme verilerinden faydalanılmaktadır. Ülkemizde sismik yer hareketlerinden oluşan ivmelerin kayıt altına alınabilmesi için Şekil 3.8.' de sergilenen farklı bölgelerde Ulusal Şebekeyle ilişkili olarak oluşturulmuş olan sismik yer hareket kayıt merkezlerinde ivme kayıt gereçleri mevcuttur.

Öte yandan barajların gövdelerine ve ana kayada ivme kayıt cihazları yer almaktadır. İvme kayıt cihazları normal koşullar altında kayıt durumuna alınmadan bekleme aşamasında durmaktadır. Sismik yer hareketi meydana gelme aşamasında deprem titreşimleri belirli bir değerin üstüne ulaştığında kayıt cihazı otomatik bir şekilde çalışıp veriyi kaydeder ve tekrar dinlenme moduna girer.

İvme kayıtçıları aracılığıyla kayıt altına alınan çalışma alanındaki depremler Şekil 3.9.' da büyüklüğüne göre işaretlerle gösterilmiştir.



Şekil 3.8. Türkiye' de yer alan ivme kayıt bölgeleri



Şekil 3.9. 1900 – günümüz tarihleri arasında Batman İli merkez olmak üzere 100 km alan içerisinde $4 \leq M < 9$ arasında olan depremlerin bölgesel dağılımı (Anonim-2, 2019)

3.1.2.4. Çalışma sahasını etkileyen önemli depremler

Kandilli Rasathanesi, Afet İşleri Genel Müdürlüğü deprem verileri ve haritaları incelendiğinde; Güneydoğu Anadolu Bölgesi ve çevresinin yoğun sismik aktiviteye sahip olduğu görülmektedir. Bu alanda önemli sismo- teknik yapılar olan Güneydoğu Anadolu Bindirmesi ve Doğu Anadolu Fay Bölgesi' nin bulunması bu yoğun sismik aktiviteyi destekler niteliktedir.

Çalışma alanını etkileyen, 1900 yılından günümüze kadar meydana gelen depremlere ait $M_w \geq 4.0$ olan veriler zaman, mekan ve farklı büyüklük değerleri Çizelge Ek-1 de gösterilmiştir. Sismik tehlike analizinde baz alınacak olan depremlere ait temel katalog verileri sadeleştirilmiş bir şekilde zaman, yer ve büyüklük olarak çizelge halinde listelenmiştir. Analiz çerçevesinde kullanılacak olan temel büyüklük M_w ile sembolize edilen moment, büyüklük ya da moment büyüklüğü olarak tanımlanmış büyüklüklerdir. Esas alınan büyüklüğün M_w olma sebebi, rasyonel ve bağımsız bir aralıkta büyüklüğü sayısal olarak ifade edebilmesidir.

M_w çoğu zaman şiddetli depremlerin etkilerini belirlemek için tercih edilen büyüklük ölçeğidir. Moment büyüklük ölçeğini hesaplarken öncelik sismik momenti hesaplamaktır (Day, 2004). M_0 fayların ötelenmesinden elde edilen değerdir.

$$M_0 = \mu \times A_f \times D \quad (3.1)$$

(M_0 = Sismik moment değeri (N.m), μ = Kayma Modülü, A_f = Kaymaya maruz kalan fayın düzlem alanı (m²), D = Yırtılmış olan fayın ötelenme değeri (m).)

M_w büyüklük ölçeği için Hanks ve Kanamori (1979) tarafından aşağıdaki denklem tanımlanmıştır.

$$M_w = -6.0 + 0.67 \log M_0 \quad (3.2)$$

Büyüklüğün fazla olduğu değerlerde, M genelde M_w baz alınarak belirlenir. Bunun nedeni yüksek M sonuçlarında moment büyüklüğü diğer büyüklüklere göre ciddi ölçüde sapma eğilimindedir; moment büyüklüğü çok şiddetli depremler aracılığıyla ortaya çıkan toplam enerji miktarını daha iyi yansıtmaktadır. M_w değerine bağlı olarak 1900-2019 yılı arasında meydana gelen depremler çizelge şeklinde Ek-1 bölümünde listelenmiştir. Güneydoğu Anadolu Bölgesinde araştırılan ve belirlenen büyüklük verilerine göre depremlerin dağılımı incelendiğinde, depremlerin 3,0- 3,9 ve 4,0- 4,9 değerleri arasında yoğunlaştığı gözlenmektedir. Ülkemizde depremin şiddeti ve etkinlik derecesini etkileyen faktörler baz alınarak “deprem şiddeti etkinlik derecesi” dikkate alınarak “Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası” oluşturulmuştur. Şekil 3.11.' de görülen Türkiye Deprem Tehlike Haritası en yüksek yer ivmesi değerine göre kritik bölgelere ayrılmıştır. Batman İli, 18.4.1996 tarih ve 96/8109 sayılı karar ile yürürlüğe giren Afet İşleri Genel Müdürlüğü “ Türkiye Deprem Bölgeleri Haritasına” göre Şekil 3.10.' da görüldüğü gibi büyük oranda 1. ve 2. Derece Deprem Bölgesi üzerinde kalmaktadır.

"Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası" AFAD tarafından en büyük yer ivmesine göre güncellenerek bölgelendirme yapılmıştır. Bölgelendirme yapılırken tasarım depremi kavramlarından biri olan maksimum tasarım depremi kavramı ivme değerleri kullanılmıştır. Bu durumda çalışma sahasına ait ivme değerleri 0.2g ile 0.4g arasında yer almaktadır.

ise sarsıntılarının az zararlı ya da zararsız geçtiği alanlardır, yıkıcı etkileri yoktur. Türkiye Deprem bölgeleri haritasında, inşa edilecek yapıların deprem bölgelerine ve onlara uygun olarak hazırlanmış yönetmelikleri göz önünde bulundurarak inşa edilmesi gerekir. İvme konturlarına göre bölgeleme aşağıda verilen Çizelge 3.1.' de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1. İvme konturlarına göre bölgeleme (Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, 1996)

DEPREM BÖLGESİ DERECEŚİ	
1. Derece Deprem Bölgesi	$a_{mak} \geq 0.40 \text{ g}$
2. Derece Deprem Bölgesi	$0.30 \text{ g} \leq a_{mak} < 0.40 \text{ g}$
3. Derece Deprem Bölgesi	$0.20 \text{ g} \leq a_{mak} < 0.30 \text{ g}$
4. Derece Deprem Bölgesi	$0.10 \text{ g} \leq a_{mak} < 0.20 \text{ g}$
5. Derece Deprem Bölgesi	$a_{mak} < 0.10 \text{ g}$

Batman il merkezi ve ilçelerin deprem bölgeleri Çizelge 3.2.' de gösterilmiştir.

Çizelge 3.2. Batman ili deprem bölgeleri (Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, 1996)

Merkez	2
Balıpınar	2
Beşiri	2
Beşpınar	2
Beşçayırı	1
İkiköprü	2
Oğuz	2
Gercüş	2
Kayapınar	2
Hasankeyf	2
Kozluk	1
Bekirhan	1
Tuzlagözü	1
Sason	1
Yücebağ	1

3.1.3. Zemin koşulları

Mühendislik yapılarının uğrayacağı sismik yer hareketi, bu mühendislik yapılarının konumlandığı zeminlerin dinamik nitelikleriyle de ilgilidir. Batman ili ve çevresindeki formasyonlardan bahsetmek gerekirse; inceleme alanı ve yakın civarında miyosen yaşlı karasal kırıntılılar mevcuttur.

Sismik yer hareketine karşı dayanıklı mühendislik yapısı projelendirme adımında zemin koşullarının göz önünde bulundurulması önlemlerin alınması ve hasarların azaltılmasına yönelik aşamalarda önemli olmaktadır.

Çalışma sahasının bulunduğu zemin sınıfları B ve C zemin sınıflarıdır. Zemin sınıflama çalışmalarında amaç zemin büyütme parametresinin tespit edilmesidir.

İvme kayıt istasyonlarının dâhil olduğu zemin sınıfları aşağıdaki V_s (kayma) dalga hızı değerlerine göre Çizelge 3.3.' de tanımlanmıştır. Kayma dalga hızı, zeminin bünyesinde barındırdığı boşluk oranına, efektif basınca, bağlı sıklığa, gerilme durumuna göre değişen temel parametredir. Kayma dalga hızı kayma modülü ile doğrudan ilişkilidir.

Çizelge 3.3. NEHRP- Uniform Building Code ve Eurocode 8 V_{s30} 'a göre zemin sınıflaması

NEHRP - Uniform Building Code (UBC)		
Zemin Sınıfı	Tanım	Özellikler
A	Sert Kaya	$V_{s1} > 1500$
B	Kaya	$760 < V_{s1} \leq 1500$
C	Çok Sıkı/Sert Zemin ya da Yumuşak Kaya	$360 < V_{s1} \leq 760$
D	Sert/Sıkı Zemin	$180 < V_{s1} \leq 360$
E	Zayıf Zemin	$V_{s1} < 180$
V_{s1}: 30 m derinlikteki ortalama kayma dalga hızı – V_{s30} (m/sn)		
Eurocode 8		
Zemin Sınıfı	Tanım	Özellikler
A	Kaya ya da diğer kaya benzeri formasyonlar	$V_{s1} > 800$
B	Çok sıkı kum, çakıl ya da çok sert killer	$360 < V_{s1} \leq 800$
C	Sıkı ya da orta sıkı kum, çakıl veya sert kil	$180 < V_{s1} \leq 360$
D	Gevşek'ten orta sıkıya kadar kohezyonsuz zemin veya yumuşak'dan sert'e kadar kohezyonlu zemin	$180 < V_{s1}$
V_{s1}: 30 m derinlikteki ortalama kayma dalga hızı – V_{s30} (m/sn)		

Spektral ivme değerleri, AFAD'ın hazırlamış olduğu Türkiye Deprem Tehlikesi Haritası zemin koşulu $V_{s30}=760$ m/sn esas alınarak düzenlemiştir. $V_{s30}=760$ m/sn olarak hesaplara dahil edilmesinin nedeni çalışma alanı dahilinde kalan yörenin kritik seviyede bulunan değerinin ele alınarak analizin güvenli yönde kalmasını hedeflemektir. Batman ili ve çevresinde $V_{s30}=760$ m/sn hızı öngörülerek, NEHRP (2003) kriterlerine göre kayma dalga hızı $V_s=760$ m/s olan, (C-B) sınırı zemin sınıfı için hazırlanmıştır.

3.1.4. Tasarım depremi kavramları

Baraj, gölet, enerji santrali, viyadük, köprü vb. mühendislik yapıları projelerinin deprem afetine karşı dayanıklı bir şekilde tasarlanabilmesi için iki düzeyli zemin hareketi göz önüne alınmalıdır. Araştırmanın bu bölümünde ICOLD aracılığıyla tasarım depremine bağlı önemli açıklamalar olan MDE, OBE, MCE tanımları hakkında tanımlamalara yer verilmiştir.

Maksimum Tasarım Depremi (MDE): Projenin tasarlandığı veya incelemenin yapıldığı büyüklük verisi olan, maksimum düzeyde zemin hareketi oluşturması beklenen bir depremdir. Maksimum Tasarım Depremi için önerilen 50 yıllık ekonomik ömür içerisinde %10 aşılma olasılık durumu için beklenmekte olan zemin hareketi ivmesidir. Bu tarz bir hareket için ortalama 475 yıllık geri dönüş periyodu göz önüne alınmaktadır. Mühendislik yapısı bu şiddette bir depremin etkisine maruz kaldığında önemli ölçüde hasar gördüğünde bile ayakta kalabilecektir. Mühendislik yapısının ağır hasar görmesi büyük bir sosyal tehlikeye yol açacaksa bu takdirde MDE değeri olarak 50 yıllık ekonomik ömür içerisinde % 2 aşılma olasılığı ile beklenen yer hareketi ivmesinin dikkate alınması daha uygun olacaktır. Bu seviyede ki bir yer hareketinin geri dönüş periyodu 2475 yıldır.

İşletmeye Esas Deprem (OBE): İşletmeye esas deprem olgusu mühendislik tasarımlarında sadece küçük hasarlar oluşturabilecek bir zemin hareketi düzeyini açıklar. Mühendislik tasarımı, yardımcı yapılar ve teçhizatlar işlevlerini OBE düzeyinde bir deprem ardından devam ettirebilecektir. İşletmeye esas deprem değer sonucuna yakın değerde ve sınır değerini aşmamış olan yer hareketinin meydana gelmesi durumunda oluşacak olan zararlar kolaylıkla onarılabılır düzeyde olmuştur. Farklı bir deyişle, işletmeye esas deprem 100 yıllık bir sürede %50 olasılıkla aşılmayacak olan deprem değerini açıklar. Bu şekilde oluşan bir hareketin geri dönüş periyodu 144 yıla denk gelir.

Oluşabilecek En Şiddetli Deprem (MCE): MCE kavramı sismotektonik alan veya fay zonu üzerinde olabilecek muhtemel en şiddetli depremi tanımlar. Fakat bu deprem 100 yıl ile 10000 yıllık oldukça geniş bir periyotta meydana gelebilir.

3.1.5. CRISIS 2015

Bu çalışmada kullanılmış olan bilgisayar programları CRISIS 2015, ArcGIS Map, Microsoft Office Excel ve Google Earth Map olarak sıralanabilir. Excel programından deprem kaynaklarının büyüklük- frekans ilişkilerinin belirlenmesinde yararlanılmıştır. ArcGIS Map programı aracılığıyla çalışma alanı belirlenmiş ve Boğaziçi Kandilli Rasathanesi'nden alınan deprem verileri programa atanarak kaynak mekanizması belirlenmiştir. Google Earth Map programı yapı yerlerinin belirlenmesinde kullanılmıştır. CRISIS 2015 programı ise olasılıksal (probabilistik) ve deterministik analiz yöntemlerine dayalı olarak sismik tehlike analizinin yapılmasında kullanılmıştır.

Sismik tehlike analizinin yapılması, şehirlerin sismik risklerinin doğru bir şekilde belirlenebilmesi için temel bilgilere sahip olunması gereken önemli bir faaliyettir. Olasılıksal sismik tehlike analizi, şehirlerdeki sismik tehlikenin azaltılmasına katkı sunabilecek en temel analizlerden biridir. Günümüzde olasılıksal analizleri yapmak için farklı programlar mevcuttur, bunlardan biri ise CRISIS 2015 programıdır. CRISIS 2015 yazılımı yabancı kaynaklı sismik tehlike analizi yapılmasını sağlayan bir programdır. Program üzerinde çalışma alanı tanımladıktan sonra program üzerinde tanımlı azalım bağıntıları seçilip kullanılır. Parametreler azalım bağıntılarına bağlı bir şekilde ivme spektrum eğrileri elde edilir. Belirlenen çalışma alanı için saha düğüm noktalarına ayrılarak belirli bir zaman diliminde aşılma olasılığı beklenen en büyük ivme değerini (PGA) hesaplamaktadır. CRISIS 2015 programında geri dönüş periyotlarına göre spektral ivme değerlerini hesaplamaktadır. Sismik tehlike analizi sonuç değerleri esas olarak her hesaplama bölgesi için, farklı zaman dilimlerinde belirli bir yoğunluk değerini aşılma olasılıkları için elde edilirken, sonuçları hem aşmama riski hem de eşdeğer yıllık aşılma oranları açısından elde etmek mümkündür.

CRISIS' in 1999, 2007 ve 2015 versiyonları, Meksika'daki Instituto de Ingenieria' nın II-UNAM desteğiyle geliştirilmiştir.

CRISIS' in ilk versiyonu 1986 yılında sonraki versiyonlarında başyazarı olan Professor Mario Ordaz tarafından yayınlanmıştır. CRISIS programının ilk versiyonu Fortran dilinde geliştirilmiş ve MS- DOS işletim sisteminde çalıştırılabilir şekilde; sonraki sürümler ise Visual Basic dilinde geliştirilmiştir.

90' lı yıllarda Windows döneminin başlangıcında, Windows'ta bulunan MS-DOS seçeneğini kullanarak CRISIS' in Fortran sürümünü çalıştırmak mümkündür fakat

bununla birlikte eş zamanlı olarak CRISIS' in yeni bir versiyonu olan CRISIS99 geliştirildi. Bu sürüm grafiksel kullanım ara yüzü (GUI) olarak tasarlanan CRISIS' in ilk sürümüdür ve Visual Basic dilinde geliştirilmiştir. CRISIS programının güncellenme sürecinde yazılım dilinin değişimi Çizelge 3.4.' de belirtilmiştir. CRISIS2015 sürümü, farklı CRISIS sürümlerinin on beş yıldan uzun bir süredir geliştirilmesinin sonucudur.

Çizelge 3.4 CRISIS versiyonları

Yazılım Adları	Geliştiriciler	Yazılım Dili
CRISIS50	Ordaz M.	Fortran
CRISIS99	Ordaz M.,	Visual Basic
CRISIS2003	Aguilar A.,	Fortran
CRISIS2007	Arboleda J.	Visual Basic
CRISIS2008	Ordaz M.,	Visual Basic
CRISIS2012	Martinelli F.,	Visual Basic
CRISIS2015	AguilarA., Arboleda J.	Visual Basic

CRISIS 2015 yazılımı, çalışma alanındaki herhangi bir koordinatta stokastik senaryolara dayalı sismik ve tsunami tehlikesinin probabilistik sismik tehlike analizi modellemesini geliştirmeyi sağlar. Probabilistik sismik tehlike analizini değerlendirirken, olaylar arasındaki zamanın bir fonksiyonu olarak büyüklük oranlarını destekler. Çizelgede belirtilen CRISIS' in temel versiyonları hakkında önemli verilere sahiptir. Çizelge 3.5.' de CRISIS' in on beş yılda gelişen temel özelliklerini göstermektedir (Aguilar vd., 2007).

Çizelge 3.5 CRISIS sürümlerinin temel özellikleri

CRISIS SÜRÜMLERİ							
ÖZELLİKLER	98	99	3	7	8	12	15
GUI (Grafiksel Kullanım Arayüzü)	-	x	x	x	x	x	X
Sismik Kaynak Türleri							
Alan (Yatay Düzlemde Dikdörtgensel Kaynaklar)	x	x	x	x	x	x	X
Alan (Eğimli Poligon)	-	x	x	x	x	x	X
Fay Hattı	x	x	x	x	x	x	X
Fay - 3D	-	x	x	x	x	x	X
Nokta	x	x	x	x	x	x	X
Her Kaynağa Derinlik Dağılımı Atama	x	x	x	x	x	x	X
Her Kaynağa Fay Stili Atama	-	-	-	-	x	x	X
Kırılma Uzunluğu& Genişlik Modellemesi	-	-	x	x	x	x	X
Büyüklük Frekans Dağılımı (MFD)							
Gutenberg- Richter	x	x	x	x	x	x	X
Gaussian	-	-	-	-	x	x	X

Kullanıcı Tanımlı	x	x	x	x	x	x	X
Sismik Kaynak Türü başına farklı GMPE'ler atamaya izin	-	x	x	x	x	x	X
Maksimum Kesme Yer Hareketi Değeri	-	x	x	x	x	x	X
Sigma'nın Kesilme Sayısı	-	x	x	x	x	x	X
Uyarlanabilir Birimler	x	x	x	x	x	x	X
Mantık Ağacı							
Mantık Ağacı Tanımlama	-	-	-	x	x	x	X

Çizelge 3.6.' da belirtilmiş olan çıktı özellikleri yıllara göre çıktı fonksiyonları belirtilmiştir.

Çizelge 3.6 Çıktı verileri için temel özellikler

Çıktı Özellikleri	98	99	3	7	8	12	15
Tehlike Haritası	-	x	x	x	x	x	x
Uniform Tehlike Spektrumu	-	x	x	x	x	x	x
Ayrıştırma M-R	-	-	x	x	x	x	x
Ayrıştırma M-R-Epsilon	-	-	-	x	x	x	x
Senaryo/ Sarsıntı Haritası	-	-	x	x	x	x	x

Deprem oluşumu Poisson süreci veya Poisson olmayan süreç olarak modellenebilir. Poisson modellemesi için Crisis birkaç büyüklük- frekans ilişkilerini kabul eder. CRISIS99 yazılımı iki deprem modeli olan Poisson ve deprem karakteristiği modelini içerir. Günümüzde ise CRISIS2015 yazılımı dört model içerir. Bunlar Gutenberg- Richter modeli, deprem karakteristik modeli, non-Poisson model ve kafes deprensellik modelidir. Poisson olmayan modeller için çeşitli zaman dilimlerinde açıkça deprem oluşma ihtimallerinin verildiği genelleştirilmiş bir Poisson olmayan model ile çalışılabilir. "Seismicity" ekranında değiştirilmiş Gutenberg- Richter yasasını uygulamak için iki seçenek bulunmaktadır. Bunlar G- R seçeneği ve gridded seçenekleridir.

Mekansal dağılımlar ve diğer faktörler göz önüne alındığında kaynaklar; alanlar, çizgiler, SSG, ızgara, alan planları, OQRuptures ve RectFault olarak modellenir. Yer hareketi tahmin modelleri (GMPPM), probabilistik açıdan deprem özelliği ve kaynağa göre çalışma sahasında depremden kaynaklanan sarsıntıyla ilişkilidir. CRISIS, GMPPM' nin üç seçeneğini de onaylamaktadır. Bunlar; kullanıcı tarafından döşenmiş zayıflama tabloları, yerleşik parametrik modeller ve genelleştirilmiş azalım modelleridir. Bu olasılıklar CRISIS' e sismik tehlike analizi yapmak için büyük olanaklar sağlamaktadır. CRISIS genişletilmiş çalışma sahalarında tehlikenin hızlı bir şekilde hesaplanmasını sağlayan dinamik bir entegrasyon prosedürü ile çalışmaktadır (Ordaz vd., 2017).

Program yüklendikten sonra masaüstü simgesi açılarak program başlatılabilir ve ilk olarak Şekil 3.12.' de gösterildiği gibi programın sürümünü sergileyen ekran görünecektir.



Şekil 3.12. CRISIS başlangıç ekranı

CRISIS 2015 programını kullanabilmek için çeşitli harita programlarına ve Excel programına da hakim olmak gerekmektedir. Programın ara yüzü Şekil 3.13. de görüldüğü gibidir. Bu ekran programda bulunan farklı araçları kullanmanın yanı sıra farklı verilerin seçilmesinde izin vermektedir.

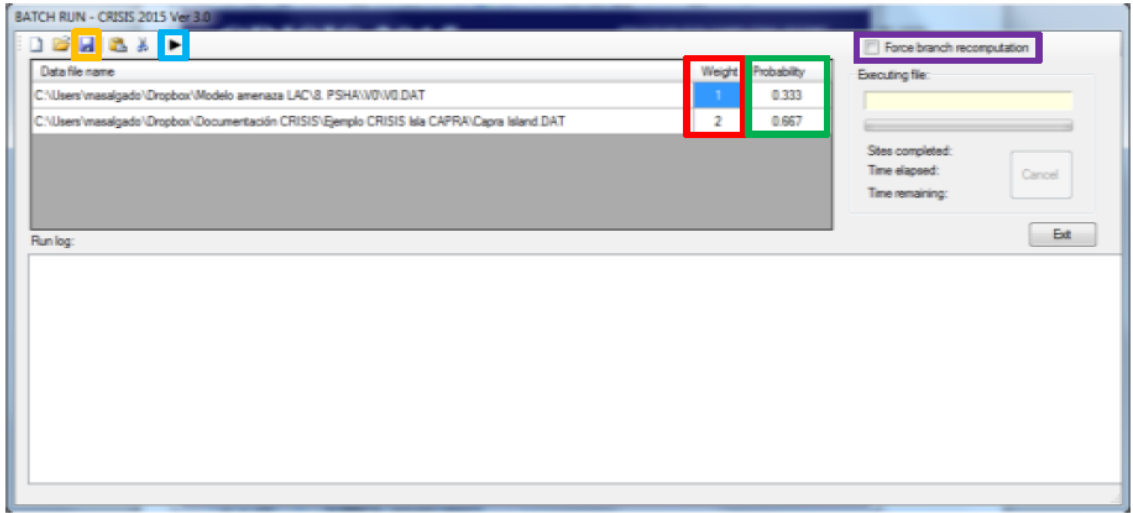


Şekil 3.13. CRISIS2015 programı arayüzü

CRISIS 2015' in ana ekranı yedi menü olarak sınıflandırılmıştır. **File (Dosya)** sekmesinden yeni dosya oluşturulur , mantık ağacı kısmı açılır , dosya farklı kaydedilir, Şekillerden kaynak veri eklenir, kaynak verileri şekle aktarılır ve çıkış işlemleri yapılır. **Input (Giriş)** sekmesinden isteğe bağlı olarak harita eklenir , çalışma

alanı ızgaralar haline ayrılır , kaynak geometrisi belirlenir  ve kaynağın sismisitesi  hesaplanabilir, azalım bağıntıları tanımlanabilir , spektral koordinatlar seçilir , global parametreler tanımlanır Σ , isteğe bağlı olarak çıktı dosyaları seçilir, çalışma alanı etkileri seçilebilir . **GMPE Analyzer (Yer Hareketi Tahmin Denklemleri Analizi)** sekmesinden analiz gerçekleştirilir . **Run(Çalıştır)** sekmesinden programdaki analizler doğrulanır ve çalıştırılır ►. **Hazard (Tehlike)** sekmesinden tehlike haritaları incelenir , ayrıştırılmış haritalar incelenir , CAPRA senaryosu oluşturulur  ve etkinlik kümesi oluşturulur . **Tools**  (**Araçlar**) sekmesinden yer hareketi tahmin denklemlerine uygun tasarım sağlanır, haritalar karşılaştırılır, çalışma alanı etkileri dosya haline dönüştürülür, non-Poisson dosya dönüşümü yapılır. **Help (Yardım)** sekmesinden katalog incelenir, CRISIS komutları hakkında bilgi alınır, yer hareketi tahmin denklemleri analizleri destek durumu görüntülenir (Ordaz vd., 2017).

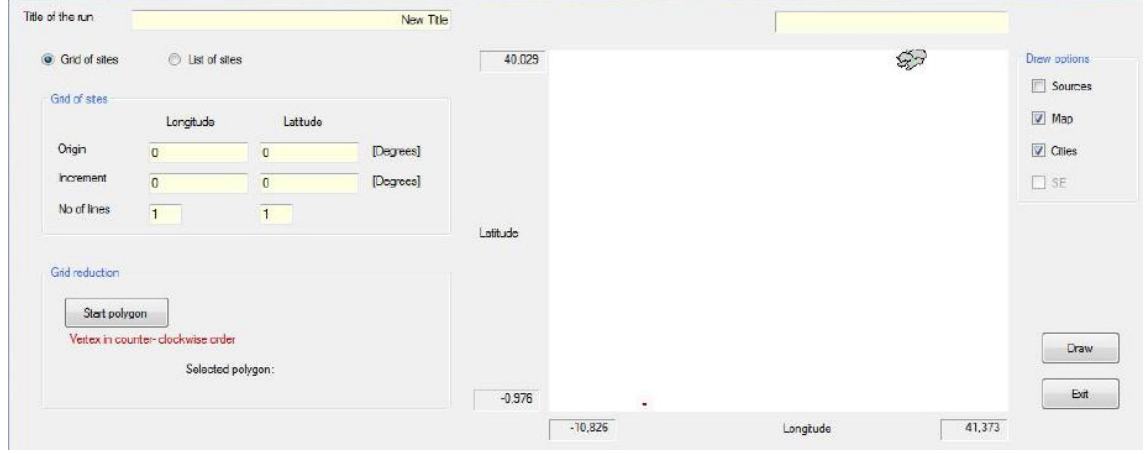
Logic tree butonu kullanıcının projelerini ekleyebileceği ve her birine göre bağlı ağırlıklarını atayabileceği Şekil 3.14.' de görülen bir pencere açar. Bölüm eklemek için kullanıcının "bölüm ekle" butonuna tıklayarak ilgili .dat dosyasını yüklemesi gerekmektedir. Bu işlem dahil edilecek bölümler kadar tekrarlanmalıdır. Kullanılabilir bölümler şekilde gösterildiği gibi tam adıyla görüntülenir ve ardından bağlı ağırlıklar tanımlanarak olasılıklar hesaplanır.



Şekil 3.14 Mantık ağacı hesaplama ekranı

Kullanıcı PSHA projesinin sismik kaynaklarının konumunun doğrulanmasını kolaylaştırmak için daha sonra program ekranlarında görüntülenecek haritaları ekleyebilir. Haritalar ondalık derecelerde koordinatlarla çalışır ve bu nedenle programa eklenen haritaların aynı formata sahip olması gerekmektedir.

Sismik tehlikenin hesaplanacağı bölgeleri tespit etmek için "grid of sites" sekmesi seçilerek tanımlama ekranı açılır. Ardından kullanıcı Şekil 3.15.'de görülen iki farklı kategoriden birini seçebilir. Bunlar düğüm noktalarına ayırarak hesaplama ve çalışma alanı hesaplama seçenekleridir.



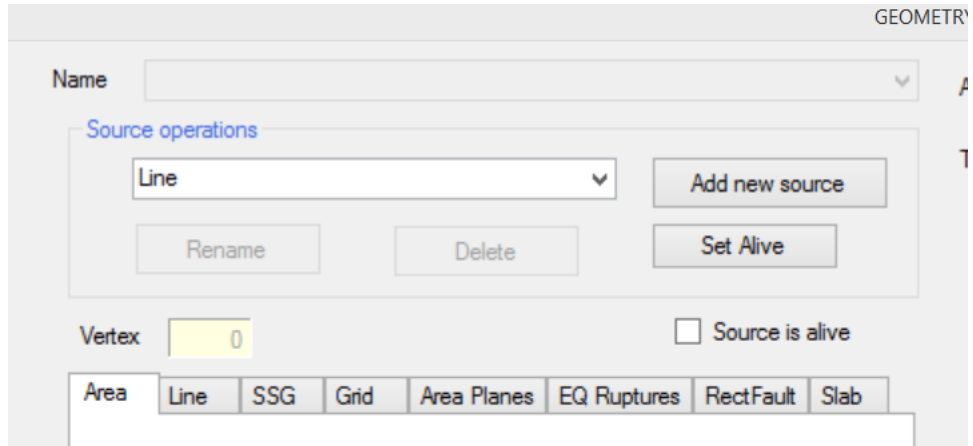
Şekil 3.15. Çalışma alanı tanımlama

PSHA' nın çıktısı olarak sismik tehlike haritaları ihtiyaç halinde çalışma sahasının kullanıcı tarafından düğüm noktaları cinsinden tanımlanması gerekir. Bu iki ortogonal yöndeki orjin, aralık ve satır sayısı kullanıcı tarafından belirlenir.

-Orjin boylam: -50° , enlem: 35° (Eksi olan veriler batı yarımküreyi göstermektedir.)

-Artış: Her iki dikey yönde 0.1°

PSHA' yı gerçekleştirmek için sadece bazı alanlar ilgileniyor ve çıktı, tehlike eğrileri tek tip tehlike spektrumları açısından gerekliyse daha hızlı bir hesaplama işlemi için alan seçenekleri listesinin ilgili alan seçilerek çizilmesi önerilir. Sismik kaynakların geometrisini tanımlamak için kullanıcı Şekil 3.16.'da görülen "source geometry" sekmesine tıklanmalıdır. Bu çalışmada çizgisel kaynak niteliğine sahip olan Kozluk Segmenti esas alınmıştır.



Şekil 3.16. Kaynak geometrisi veri ekranı

CRISIS programında mevcut olan sismisitenin kullanıcı tarafından tanımlanan bir dizi dilimde farklı derinliklerde homojen bir biçimde dağıldığı hacimler kabul edilebilir. Projede yer alan her kaynak geometrisine uygun seçilmelidir. Sismik aktivitenin dağılım göstereceği hacim ve dilim sayısı kalınlığı belirlenmelidir. Geometri veri ekranında mevcut olan listede ilgili seçenek seçilerek alan- düzlem kaynağı eklendikten sonra geometri ve tepe noktaları için gereken verilerin farklı alan kaynaklarında da olduğu gibi tamamen aynı olduğu görülebilir. Çizgi kaynağı seçildikten sonra sismik kaynak projeye uygun olarak eklenir ve kaynağın tepe noktasının koordinatları, alan, hacim ve alan-düzlem durumları eklenir.

Spektral koordinatların sayısının ve bununla bağlantılı olarak temel periyotları tanımlamak için kullanıcı ana ekranda yer alan "spectral ordinates" butonuna tıklayarak verilere erişebilir. Şekil 3.17.' de belirtilen ekranda atanması gereken parametreler aşağıda açıklanmıştır:

- Toplam spektral koordinat sayısı tanımlanır.
- Esas spektral koordinat butonu ile kullanıcı aktif olan parametreleri tanımlamak için spektral koordinatlar arasında geçiş yapabilir.
- Asıl spektral koordinatın yapısal periyodu; çalışma alanında saniye cinsinden temel periyot her bir spektral koordinata atanır.
- Yoğunluk seviyesinin alt ve üst limit değerleri: Bu bölgelerde belirlenmiş bir zaman diliminde aşılma olasılıklarının hesaplanması için minimum ve maksimum yoğunluk değerleri atanır.
- Kullanıcı boşluğu logaritmik, lineer, PEER ve large-PEER olarak tercih edebilir.
- Sismik tehlike analizinde hesaplanacağı yoğunluk seviyesi adedi; bu bölgede tanımlanan seviye sayısı için aşılma olasılık değerleri alt ve üst limitler arasında hesaplanacaktır.

INTENSITIES FOR EACH SPECTRAL ORDINATE - CRISIS 2015 Ver 3.0

Spectral ordinates

Total number of spectral ordinates: 10

Actual spectral ordinate: 1

Structural period of actual spectral ordinate: 0.01

Lower limit of intensity level:

Upper limit of intensity level: 2500

Spacing

☒ Log ☐ Linear ☐ PEER ☐ Large PEER

General values

Units: cm/s2

Number of levels of intensity for which seismic hazard will be computed: 15

Exit

Şekil 3.17. Spektral koordinat ve parametreler

Proje alanına GMPM eklemek ve bunları sismik kaynaklara atamak için "add model" butonuna tıklanmalıdır. GMPM tanımlamanın iki yolu vardır: Mevcut modellerden birinin kullanımı veya kullanıcı tarafından azalım ilişkisi seçimidir.

CRISIS programı, PSHA projesine eklenmiş olan farklı GMPM' lerin grafiksel olarak karşılaştırılmalarını sağlar. GMPM analiz sekmesinde projeye daha önce eklenmiş olan tüm GMPM' ler gösterilir ve çiz sekmesi ile etkinleştirilebilir veya devre dışı bırakılabilir. GMPM spektrum veya azalım grafikleri türünden gösterilir. Büyüklük, spektral ordinat ve yüzdelik değerleri çiz seçeneği ile güncellenebilir. Etkinleştirildiğinde yatay ve dikey doğrultudaki onay kutuları logaritmik değerleri ayarlar.

Hesaplama sürecinde kullanılacak maksimum entegrasyon mesafesi, zaman dilimleri, tehlike haritaları ve tek düze tehlike spektrumları için ortalama geri dönüş süreleri gibi parametreleri incelemek veya ayarlamak için Şekil 3.18.' de vurgulanmış "global parameters" butonundan yararlanılır.

GLOBAL PARAMETERS - CRISIS 2015 Ver 3.0

Integration parameters

Maximum integration distance: 500 km

Minimum triangle size: 11 km

Minimum Distance/Triangle Size ratio: 7

CAV filter: None

Time frame

50

Insert Row
Delete Row

Map return period (years)

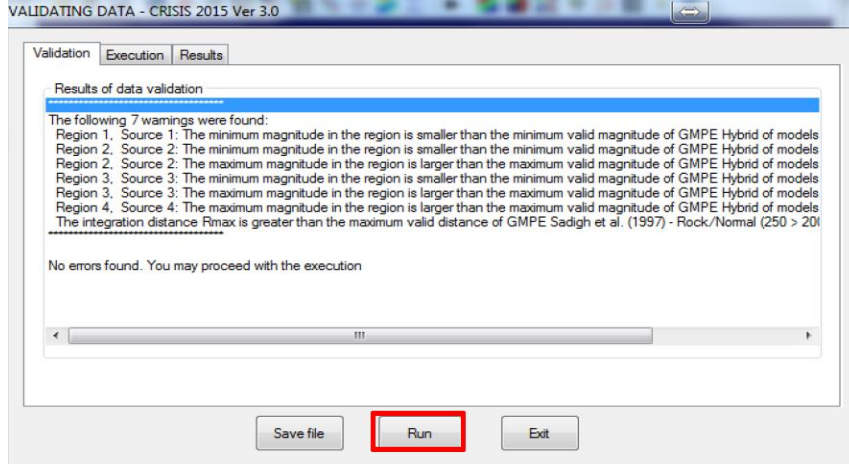
100	PE in 50 years: 3.93E-01
250	1.81E-01
500	9.52E-02
1000	4.88E-02
2500	1.98E-02

Exit

Şekil 3.18. Sismik tehlike analizi için global parametre tanımlanması

Maksimum entegrasyon mesafesi km bazında dikdörtgen içinde yer alan kırmızı alana göre ayarlanır, kaynakların tekrarlayan alt bölümlerinin üçgenlere bölünmesi için yeşil dikdörtgen içindeki alanlarda sağlanacaktır. Projeye göre varsayılan 50 yıl zaman dilimi olarak dahil edilir. Ancak sarı dikdörtgene tıklayıp satır eklediğimizde beş farklı ortalama geri dönüş periyodu gösterilen bölgeye yazılarak ayarlanabilir. Her zaman dilimi için aşılma olasılığı hesaplanır. M_s ve M_w değerleri "CAV Filtreler" bölümünde ki listeden seçilebilir. Bu çalışmada orjine olan mesafe 100 km olarak ayarlanmıştır.

Projeye ilgili verilerin kesin olarak doğrulanması için Şekil 3.19' da görülen "yürüt" seçeneği tıklanır. Doğrulama işlemi sonucunda iki farklı seçenek ekrana yansır. Bunlar uyarılar ve hatalardır. Uyarılar program tarafından çoğunlukla GMPM' de yer alan büyüklük ve mesafe aralıkları ile ilgili doğrulamalar yapıldıktan sonra ortaya çıkan önerilerdir. Hatalar ise açık poligonlar, atanmış mevcut GMPM olmayan kaynaklar vb. varsa hata listesini gösterir. Uyarı durumunda kullanıcı işleme aynı şekilde devam ettiğinde analiz işlemi başlatılabilir ancak hata listesinin bulunduğu durumda değişiklik yapılmadan hesaplama adımına geçilemez.



Şekil 3.19. Hesap veri ekranı

Analiz yürütülüp doğrulandıktan sonra sismik tehlike haritaları her geri dönüş periyodu için ayrı olacak şekilde oluşturulur.

3.2. Metot

3.2.1. Sismik tehlike analizi

Deprem felaketinin hangi koşulda ve ne büyüklükte gerçekleşeceği bilinmeyen bir durumdur. Bununla birlikte deprem esnasında depremin büyüklüğüne, zeminin durumuna ve mühendislik yapılarının tasarımına göre hasar görme oranları değişkenlik göstermektedir. Mühendislik yapılarının tasarım aşamasından önce bölgenin sismolojik durumu incelenmelidir. Olasılıksal ve deneysel bulgular kullanılarak sahanın sismik potansiyelleri, faylanma oluşumları, zeminin durumu ve oluşabilecek deprem durumları belirlenmelidir (Polat, 2015).

Deprem senaryolarının değerlendirilmesi, deterministik ve olasılıksal tehlike analizlerinde yaygın olarak kullanılan yöntemdir. Deprem senaryoları aracılığıyla belirli bir büyüklükte olan depremin yakın bölgesine etkisi belirlenebilmektedir. Sismik tehlike analizi, belirli bir sahada belirli bir yapı ömründe meydana gelebilecek yer hareketinin hesaplanması olayıdır. Çalışma sahasını etkileyecek diri faylar, diri faylarda meydana gelebilecek yer deplasmanının büyüklüğü, analizlerdeki belirsizliklerin hesaplanması gibi faktörler analizlerin temelini oluşturmaktadır. Kısacası sismik tehlike analizi önceden meydana gelen depremlere ait değerlerin baz alınarak çalışılacak olan bölgede ileriki zamanlarda olabilecek sismik aktivite için farklı istatistiksel metotları kullanarak tehlike parametresi saptamayı hedefler.

Sismik tehlike analizinde; hesaplanan metodlarda yaklaşık değerlerden meydana gelen belirsizlikler, depremin ne zaman, hangi koşulda ne büyüklükte oluşacağını bilinmemesi, çalışma sahasının sismik ve geometrik parametrelerinin yeterli düzeyde olmaması gibi belirsizlikler bulunmaktadır (Polat, 2015).

Sismik tehlike analizi hesaplanırken asıl olan alan merkez alınarak 200- 300 km çaplı alanda kalan bölgelerde tehlikenin aşılma olasılığı değerlendirilir. Bu çalışmada ise Batman merkez alınarak 100 km çevresi değerlendirilmiştir. Çalışma alanı Batman şehir merkezi merkez noktada yer almak üzere 100 km yarıçap oldukça geniş bir alan olduğundan dolayı Batman valiliğine ait desimal derece, ondalık koordinatları ve standart UTM konumları Çizelge 3.7.' de belirlenmiştir.

Çizelge 3.7. Batman şehir merkezi koordinatları

	Desimal Derece		
	Boylam	Enlem	
Batman Valiliği	41,129674	37,900643	
	Derece	Dakika	Saniye
Kuzey	37	54	2,3148
Doğu	41	7	46,8264
	Doğu	Kuzey	Zon
Standart UTM	687242,4	4196929,5	37 / N

1900- 2019 yılları arasında $M_w > 4.0$ olan depremler Ek-1 de tarih sıralamasına göre gösterilmiştir. Sismik bulgular ikiye ayrılır. 1900 yılı ve sonrasına ait olan depremler tarihsel veriler olarak deprem kataloglarında mevcuttur. Aletsel veriler ise 1900 yılı ve sonrasına ait depremlerin hem gözlemsel hem de aletsel olarak kaydedilmesine ait bulguları kapsar. Kaydedilen verilere bağlı oluşturulan parametreler Çizelge 3.8.' de gösterilmiş Mercalli Denkleminde sunulmuştur.

Çizelge 3.8. Değiştirilmiş Mercalli denklemi

Hissedilen Sarsıntı	Hissedilmemiş	Çok Zayıf	Zayıf	Orta	Güçlü	Çok Güçlü	Sert	Şiddetli	Çok Şiddetli
Potansiyel Hasar	Yok	yok	Yok	çok az	az	orta	orta	yüksek	çok yüksek
Pik ACC (%g)	<17	0.17- 1.4	1.4- 3.9	3.9- 9.2	9,2- 18	18- 34	34- 65	65- 124	>124
Pik VEL (cm/s)	<0.1	0.1- 1.1	1.1-3.4	3.4- 8.1	8,1- 16	16- 31	31- 60	60- 116	>116
Yapay Şiddet	I	II- III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X

Çalışma sahasında sismik tehlikenin saptanması için deterministik ve olasılıksal (probabilistik) analiz yöntemleri kullanılır. Her iki analiz yönteminde de birbirine yakın analiz sonuçları elde edilir.

Sismik tehlike analizi sonucunda elde edilen belirli bir saha için mevcut olan jeoloji ve depremsellik verilerine dayalı olarak değerlendirilen maksimum büyüklükteki yer hareketi değerleridir (maksimum ivme, şiddet, hız vb.) (Akın, 2001). Sismik tehlike analizi iki yöntemle belirlenir:

1. Deterministik Sismik Tehlike Analizi
2. Olasılıksal (Probabilistik) Sismik Tehlike Analizi

Genellikle analizi yapılan alan için farklı kaynakların mevcut olması halinde probabilistik analiz uygun iken, alandaki tehlike haritasını bir kaynak kontrol ediyorsa deterministik analiz yaklaşımı kullanılmalıdır.

3.2.1.1. Deterministik sismik tehlike analizi (DSTA)

Deterministik sismik tehlike analizinde ilk olarak çalışma sahasını etkileyecek diri faylar ile birlikte önceden olmuş ve olabilecek en büyük deprem felaket senaryosu belirlenmelidir. Sonraki adımda ise çalışma sahasında mevcut alanın parametrelerine uygun sönüm ilişkisi belirlenir. Çalışma alanına belli bir mesafede yer alan diri fay da meydana gelebilecek en büyük depremin inceleme alanında oluşacak maksimum büyüklükteki yer ivmesi sönüm ilişkileri doğrultusunda değerlendirilip, hesaplanır (Polat, 2015). Deprem senaryoları oluşturulurken, mevcut rejim boyunca “maksimum güvenilir deprem” ibaresi kullanılır. Deprem senaryosunu oluşturan maksimum güvenilir depremi, zamanında meydana gelmiş en büyük depremden farklı kılan en temel husus zamandan bağımsız meydana gelmesidir.

Maksimum güvenilir depremlerin öngörülmesinde belirli yöntemler kullanılmaktadır (Akın, 2001). Bunlar:

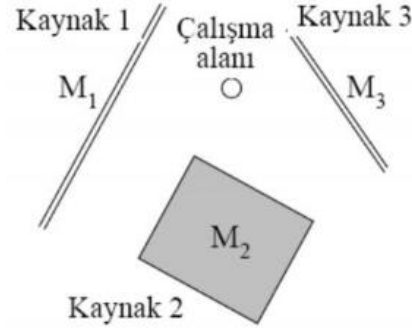
- Önceden meydana gelen tarihsel depremlerin irdelenmesi,
- Paleosismik veriler,
- Fay özelliklerinin (fay uzunlukları, deplasmanlar, fay kırığı uzunluğu vb.) araştırılmasıdır.

Önceden meydana gelen tarihsel depremler incelenirken; deprem kayıt süreci de göz önüne alınır. Fakat bu yöntemde deprem verilerinin yetersiz kalma durumu oluşabilir. Paleosismik faaliyetlerde ise jeolojik süreç döneminde oluşmuş depremler ve bunların büyüklüğü ile bağlantılı olarak jeolojik oluşumlardaki etkisi saha araştırması ile belirlenir (Akın, 2001). Diğer yaklaşımda olduğu gibi bu yaklaşımda da belirsizlik

bulunmaktadır. Çalışma sahasını etkileyecek en büyük deprem büyüklüğü parametresini belirlerken depremlerin karakteristik özellikleri de yer alır. Maksimum deprem büyüklüğü direkt olarak depremin kaynak mekanizması ile ilişkilendirilir. Bu yaklaşımları tek başına uygulayarak sonuca varmak doğru değildir, her bir yaklaşım kendi içerisinde bir takım belirsizlikler içerir. Bu yaklaşımları birlikte kullanmak daha güvenilir bir bulgu verir.

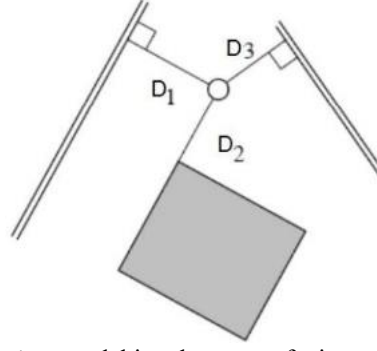
Deterministik analizde bulunan deprem tehlike senaryolarının probabilistik kritik durumun ayrılarak belli bir alandaki deprem tehlikesine belli bir oranda fayda sunan deprem merkezlerinin saptanmasıdır. Yer deplasman değeri ve yapay kuvvetli yer değerleri DSTA sonucunda belirlenir (Polat, 2015). Deterministik sismik tehlike analizi belli bir alanda ve büyüklükte depremin meydana geleceği varsayılarak senaryoların hazırlanıp, geliştirilmesi olayını kapsar. Deterministik sismik tehlike analizi 4 basamaktan meydana gelir (Reiter, 1990):

a. Belirlenen çalışma sahasında kritik seviyede meydana gelebilecek durumu içeren deprem kaynakları saptanmalıdır. Şekil 3.20.' de görüldüğü gibi kaynak isimlendirilmesi, kaynakların geometrik formlarını, deprem oluşma potansiyelini kapsar.



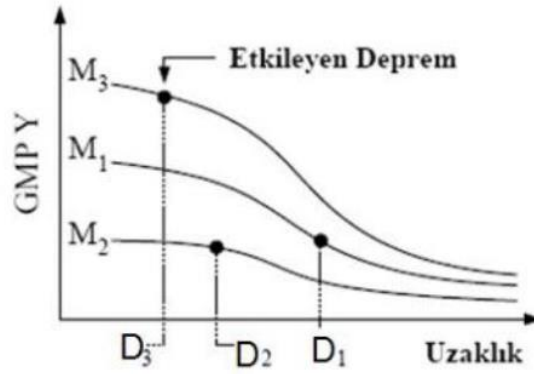
Şekil 3.20. DSTA kaynak belirlenmesi (Kramer, 1996)

b. Kaynak bölgeleri için saha ile kaynak arasındaki mesafe Şekil 3.21.' de gösterildiği gibi belirlenir. Deterministik sismik tehlike analizinde saha ile kaynak arasındaki uzaklıktan en kısa olan uzaklık tercih edilir.



Şekil 3.21. Kaynak bölgeleri arasındaki en kısa mesafenin tespit edilmesi (Kramer, 1996)

c. En üst durumdaki yer sarsıntısı meydana getirmesi düşünülen analiz depreminin tercih edilmesi çoğu zaman çalışma alanındaki yer sarsıntısı değerleri üzerinden Şekil 3.22.' de belirtildiği gibi grafik üzerinden tanımlanır. İlk aşamada belirlenmiş olan depremlerin, 2. Adımda belirlenen mesafeler için çalışma sahasında meydana gelen yer sarsıntısı aşaması, belirlenen değerler türünden sönüm ilişkileri esaslı olarak seçilir.



Şekil 3.22. Yer hareketi parametresinin tespit edilmesi (Kramer, 1996)

d. Sismik tehlike durumunda, analiz depreminin çalışma sahasında meydana getirdiği yer sarsıntısı türünden belirlenir. Sismik durumu tespit etmek için genellikle kullanılan değerler, en yüksek ivme (PGA), en yüksek hız (PGV) ve davranış spektrumu parametreleridir.

En yüksek yatay ivme değeri olan PGA değeri deterministik analizde tasarımın temel noktasını oluşturur. DSTA' nde çalışma alanını etkileme olasılığı bulunan tüm sismik kaynaklar tespit edilmelidir. Bu tespiti bağlı olarak çalışma sahasını etkileyecek kaynak zonu ile bölge arasında kalan en kısa mesafedir. Deprem risk analizi çalışmasındaki önemli konulardan birisi de deprem büyüklüğü (M), hiposantır mesafesi (R) ve maksimum yer ivmesi (A) arasındaki bağıntıyı tanımlayan azalım ilişkisinin seçimidir.

Proje yerinin deprem riskinin deterministik yöntemi ile belirlenmesi sırasında hesaplamalarda yaygın olarak dikkate alınan, “NGA=yeni nesil azalım ilişkileri” kullanılmıştır:

- Abrahamson vd. NGA, (2014),
- Campbell- Bozorgnia, NGA, (2014),
- Chiou- Youngs, (2014), sert kaya,
- Boore vd., (2014), kaya
- Idriss, (2008).

Deterministik yöntemde kullanılan yeni nesil azalım ilişkileri denklemlerinde hesapta kullanılacak parametreler gerektirmektedir. 5 adet yeni nesil azalım ilişkisinin bünyelerinde barındırdığı parametreler Çizelge 3.9.'da gösterilmiş ve tanımları yapılmıştır.

Çizelge 3.9. Azalım bağıntılarında kullanılan parametre tanımlamaları

Azalım Bağıntılarında Kullanılan Parametreler	
Parametre	Tanım
N	Hesaplamalarda dikkate alınacak standart sapma değeri
PSA	Sözde mutlak ivme spektrumu (g, %5 sönümleme)
PGA	En yüksek yer ivmesi değeri (g)
PGV	En yüksek hız değeri (cm/s)
SD	Bağıl yer değiştirme tepki spektrumu (cm, %5 sönümleme)
M	Moment büyüklüğü
R _{RUP}	AS, CB ve CY' de kullanılan sismik yırtılma kaynağına en yakın mesafe (km)
R _{JB}	Yüzeyde oluşan sismik yırtılmaya en yakın mesafe (km)
R _X	AS ve CY' de kullanılan kırılma tepesinden yatay mesafeye ve fay noktasına dik olarak ölçülen yatay mesafe
U	Belirtilmemiş mekanizma etki faktörü (BA' da kullanılmıştır.)
F _{RV}	Ters faylanma faktörü
F _N	Normal faylanma faktörü
F _{HW}	AS ve CY' de kullanılan tavan blok faktörü
Z _{TOR}	AS, CB ve CY' de kullanılan sismik yırtılma (km)
d	AS, CB ve CY' de kullanılan ortalama yırtılma düzlemi dip derecesi (derece)
V _{S30}	30 metredeki ortalama kayma dalgası hızı (cm/s)
F _{MEASURED}	AS ve CY' de kullanılan VS30' un ölçüldüğü durumlarda 1, dikkate alınmadığı durumlarda 0 alınır.
Z _{1.0}	AS ve CY' de kullanılan 1.0 km/sn hızdaki tabaka derinliği (m)
Z _{2.5}	CB' de kullanılan 2.5 Km/s kayma dalgası hızı tabaka derinliği (km)
W	AS' de kullanılan yırtılma genişliği (km)
F _{AS}	AS ve CY' de kullanılan Artçı sarsıntı faktörü (Ana sarsıntı için 0, artçı sarsıntı için 1)
HW _{TAPER}	AS' de kullanılacak olan tavan blok konikleri değeri

0,050	8,043E-02	5,542E-01
0,10	1,124E-01	5,889E-01
0,15	1,370E-01	6,091E-01
0,20	1,543E-01	6,235E-01
0,25	1,630E-01	6,347E-01
0,30	1,641E-01	6,438E-01
0,40	1,536E-01	6,582E-01
0,50	1,378E-01	6,693E-01
1,0	8,704E-02	7,040E-01
1,5	5,958E-02	7,243E-01
2,0	4,136E-02	7,387E-01
3,0	2,260E-02	7,589E-01
4,0	1,316E-02	7,589E-01
5,0	8,720E-03	7,589E-01
10,0	2,300E-03	7,589E-01

3.2.1.1.3. Abrahamson vd. azalım bağıntısı ile PGA değerini hesaplama

Abrahamson vd. (2014) tasarladıkları azalım ilişkisi modelinde Denklem 2.23' de kullanılmış olan parametrelere atanan değerler Çizelge 3.12.' de ve bulunan ivme tepki spektrum değerleri Çizelge 3.13.' de gösterilmiştir.

Çizelge 3.12. Abrahamson vd. (2014) bağıntısına atanan parametreler

M	R_{RUP} (km)	R_{JB} (km)	R_X (km)	F_{RV}	F_{NM}	F_{HW}	Z_{TOR} (km)	Z_{1.0} (m)
7,20	54,50	16,00	15,00	0	0	0	0,00	849,799127
W (km)	F_{Measured}	F_{AS}	Z_{1.0}(V_{S30})	T_D	PGA₁₁₀₀	HW Taper	Dip	V_{S30} (m/sec)
15,00	1	0	849,7991	8,1283	5,270E-02	0	90	760

Çizelge 3.13. Abrahamson vd. (2014) hesaplama ekranı

T (s)	$\sigma \ln AF / \sigma \ln A$	V₁	e₂	a₂₁	PSA₁₁₀₀	T_D Limit	Medyan
0,010	-0,0052	1500,00	0,0000	0,0000	5,307E-02	0,000E+00	6,245E-02
0,020	-0,0053	1500,00	0,0000	0,0000	5,338E-02	0,000E+00	6,282E-02
0,030	-0,0078	1500,00	0,0000	0,0000	5,495E-02	0,000E+00	6,449E-02
0,040	-0,0128	1500,00	0,0000	0,0000	5,606E-02	0,000E+00	6,546E-02
0,050	-0,0166	1500,00	0,0000	0,0000	5,847E-02	0,000E+00	6,801E-02
0,075	-0,0201	1500,00	0,0000	0,0000	6,782E-02	0,000E+00	7,859E-02
0,10	-0,0185	1500,00	0,0000	0,0000	7,960E-02	0,000E+00	9,240E-02
0,15	-0,0094	1500,00	0,0000	0,0000	1,023E-01	0,000E+00	1,206E-01
0,20	0,0000	1500,00	0,0000	0,0000	1,156E-01	0,000E+00	1,393E-01
0,25	0,0000	1500,00	0,0000	0,0000	1,219E-01	0,000E+00	1,483E-01

0,30	0,0000	1500,00	0,0000	0,0000	1,166E-01	0,000E+00	1,430E-01
0,40	0,0000	1500,00	0,0092	0,0092	1,047E-01	0,000E+00	1,299E-01
0,50	0,0000	1500,00	0,0245	0,0245	9,175E-02	0,000E+00	1,150E-01
0,75	0,0000	1083,54	0,0523	0,0523	6,690E-02	0,000E+00	8,526E-02
1,0	0,0000	862,03	0,0720	0,0720	6,041E-02	0,000E+00	6,628E-02
1,5	0,0000	764,77	0,0998	0,0998	4,177E-02	0,000E+00	4,198E-02
2,0	0,0000	700,00	0,1196	0,1196	2,957E-02	0,000E+00	2,957E-02
3,0	0,0000	700,00	0,1196	0,1196	1,769E-02	0,000E+00	1,769E-02
4,0	0,0000	700,00	0,1196	0,1196	1,200E-02	0,000E+00	1,200E-02
5,0	0,0000	700,00	0,1196	0,1196	8,907E-03	0,000E+00	8,907E-03
7,5	0,0000	700,00	0,1196	0,1196	5,148E-03	4,558E-03	5,148E-03
10,0	0,0000	700,00	0,1196	0,1196	3,330E-03		3,011E-03

3.2.1.1.4. Boore vd. azalım bağıntısı ile hesaplama

Boore vd. (2014) tasarladıkları azalım ilişkisi modelinde Denklem 2.22' de kullanılmış olan parametrelere atanan değerler Çizelge 3.14.' de ve bulunan ivme tepki spektrum değerleri Çizelge 3.15.' de gösterilmiştir.

Çizelge 3.14. Boore vd. (2014) bağıntısına atanan parametreler

M	R_{JB} (km)	U	SS
7,20	16,00	0	1
NS	RS	V_{S30}	
0	0	760	

Çizelge 3.15. Boore vd. (2014) hesaplama ekranı

T (s)	Medyan	b_{nl}	s	t_U	S_{TU}	t_M	S_{TM}
0,010	2,006E-01	0,0000	0,5020	0,2670	0,5690	0,2620	0,5660
0,020	2,046E-01	0,0000	0,5020	0,2670	0,5690	0,2620	0,5660
0,030	2,132E-01	0,0000	0,5070	0,2760	0,5780	0,2740	0,5760
0,050	2,401E-01	0,0000	0,5160	0,2860	0,5890	0,2860	0,5890
0,075	3,018E-01	0,0000	0,5130	0,3220	0,6060	0,3200	0,6060
0,10	3,423E-01	0,0000	0,5200	0,3130	0,6080	0,3180	0,6080
0,15	4,171E-01	0,0000	0,5180	0,2880	0,5920	0,2900	0,5940
0,20	4,270E-01	0,0000	0,5230	0,2830	0,5960	0,2880	0,5960
0,25	3,978E-01	0,0000	0,5270	0,2670	0,5920	0,2670	0,5920
0,30	3,622E-01	0,0000	0,5460	0,2720	0,6080	0,2690	0,6080
0,40	3,194E-01	0,0000	0,5410	0,2670	0,6030	0,2670	0,6030
0,50	2,591E-01	0,0000	0,5550	0,2650	0,6150	0,2650	0,6150
0,75	1,812E-01	0,0000	0,5710	0,3110	0,6490	0,2990	0,6450
1,0	1,398E-01	0,0000	0,5730	0,3180	0,6540	0,3020	0,6470
1,5	9,773E-02	0,0000	0,5660	0,3820	0,6840	0,3730	0,6790

2,0	7,044E-02	0,0000	0,5800	0,3980	0,7020	0,3890	0,7000
3,0	4,455E-02	0,0000	0,5660	0,4100	0,7000	0,4010	0,6950
4,0	3,147E-02	0,0000	0,5830	0,3940	0,7020	0,3850	0,6980
5,0	2,502E-02	0,0000	0,6010	0,4140	0,7300	0,4370	0,7440
7,5	1,506E-02	0,0000	0,6260	0,4650	0,7810	0,4770	0,7870
10,0	7,837E-03	0,0000	0,6450	0,3550	0,7350	0,4770	0,8010

3.2.1.1.5. Campbell ve Bozorgnia azalım bağıntısı ile hesaplama

Campbell ve Bozorgnia (2014) tasarladıkları azalım ilişkisi modelinde Denklem 2.16' da kullanılmış olan parametrelere atanan değerler Çizelge 3.16.' da ve bulunan ivme tepki spektrum değerleri Çizelge 3.17.' de gösterilmiştir.

Çizelge 3.16. Campbell ve Bozorgnia (2014) bağıntısına atanan parametreler

M	R_{RUP} (km)	R_{JB} (km)	F_{RV}
7,20	54,50	16,00	0
F_{NM}	Z_{TOR} (km)	d	Z_{2,5} (km)
0	0,00	90	0,52

Çizelge 3.17. Campbell ve Bozorgnia (2014) hesaplama ekranı

T (s)	Medyan	α	σ	τ	σ_c	σ_T	σ_{Arb}
0,010	6,365E-02	-0,0055	0,4764	0,2190	0,1660	0,5243	0,5500
0,020	6,456E-02	-0,0057	0,4784	0,2190	0,1660	0,5261	0,5517
0,030	6,800E-02	-0,0084	0,4866	0,2350	0,1650	0,5404	0,5650
0,050	7,967E-02	-0,0177	0,5049	0,2580	0,1620	0,5670	0,5897
0,075	9,840E-02	-0,0215	0,5140	0,2920	0,1580	0,5912	0,6119
0,10	1,145E-01	-0,0197	0,5256	0,2860	0,1700	0,5984	0,6220
0,15	1,357E-01	-0,0101	0,5292	0,2800	0,1800	0,5988	0,6252
0,20	1,444E-01	0,0000	0,5340	0,2490	0,1860	0,5892	0,6179
0,25	1,350E-01	0,0000	0,5340	0,2400	0,1910	0,5855	0,6158
0,30	1,271E-01	0,0000	0,5440	0,2150	0,1980	0,5849	0,6175
0,40	1,100E-01	0,0000	0,5410	0,2170	0,2060	0,5829	0,6182
0,50	9,732E-02	0,0000	0,5500	0,2140	0,2080	0,5902	0,6257
0,75	6,878E-02	0,0000	0,5680	0,2270	0,2210	0,6117	0,6504
1,0	5,192E-02	0,0000	0,5680	0,2550	0,2250	0,6226	0,6620
1,5	3,279E-02	0,0000	0,5640	0,2960	0,2220	0,6370	0,6745
2,0	2,374E-02	0,0000	0,5710	0,2960	0,2260	0,6432	0,6817
3,0	1,495E-02	0,0000	0,5580	0,3260	0,2290	0,6463	0,6856
4,0	1,103E-02	0,0000	0,5760	0,2970	0,2370	0,6481	0,6900
5,0	8,986E-03	0,0000	0,6010	0,3590	0,2370	0,7001	0,7391
7,5	4,981E-03	0,0000	0,6280	0,4280	0,2710	0,7600	0,8069
10,0	3,279E-03	0,0000	0,6670	0,4850	0,2900	0,8247	0,8742

3.2.1.1.6. Chiou ve Youngs azalım bağıntısı ile hesaplama

Chiou ve Youngs (2014) tasarladıkları azalım ilişkisi modelinde Denklem 2.21' da kullanılmış olan parametrelere atanan değerler Çizelge 3.18.' de ve bulunan ivme tepki spektrum değerleri Çizelge 3.19.' da gösterilmiştir.

Çizelge 3.18. Chiou ve Youngs (2014) bağıntısına atanan parametreler

M	R_{RUP} (km)	R_{JB} (km)	R_X (km)	F_{RV}	F_{NM}	V_{S30}
7,20	54,50	16,00	15,00	0	0	760
F_{HW}	Z_{TOR} (km)	δ	Z_{1.0} (m)	F_{Inferred}	F_{Measured}	AS
0	0,00	90	23,54497	1	0	0

Çizelge 3.19. Chiou ve Youngs (2014) hesaplama ekranı

T (s)	PSA_{ref}	Medyan	σ_{NL0}	τ	σ_T
0,010	5,165E-02	6,360E-02	0,4503	0,2637	0,5215
0,020	5,236E-02	6,430E-02	0,4504	0,2671	0,5233
0,030	5,570E-02	6,798E-02	0,4606	0,2803	0,5388
0,040	6,084E-02	7,368E-02	0,4676	0,2918	0,5507
0,050	6,740E-02	8,119E-02	0,4728	0,3048	0,5619
0,075	8,354E-02	1,008E-01	0,4822	0,3129	0,5736
0,10	9,609E-02	1,173E-01	0,4891	0,3152	0,5805
0,15	1,088E-01	1,357E-01	0,4993	0,3128	0,5879
0,20	1,072E-01	1,332E-01	0,5068	0,3076	0,5918
0,25	1,008E-01	1,244E-01	0,5128	0,3047	0,5956
0,30	9,259E-02	1,144E-01	0,5176	0,3005	0,5978
0,40	7,654E-02	9,551E-02	0,5252	0,2984	0,6036
0,50	6,364E-02	8,033E-02	0,5310	0,3036	0,6113
0,75	4,411E-02	5,747E-02	0,5416	0,3205	0,6291
1,0	3,350E-02	4,498E-02	0,5490	0,3419	0,6466
1,5	2,149E-02	3,015E-02	0,5491	0,3703	0,6621
2,0	1,460E-02	2,112E-02	0,5488	0,4023	0,6801
3,0	8,220E-03	1,251E-02	0,5489	0,4406	0,7034
4,0	5,319E-03	8,440E-03	0,5492	0,4784	0,7283
5,0	3,762E-03	6,104E-03	0,5493	0,5074	0,7478
7,5	1,938E-03	3,095E-03	0,5493	0,5328	0,7653
10,0	1,130E-03	1,735E-03	0,5493	0,5542	0,7803

3.2.1.2. Olasılıksal (Probabilistik) sismik tehlike analizi

Sismik tehlike analizindeki adımların barındırdığı rassal farklılaşmalardan ve bilgi noksanlığından doğan belirsizliklerin dikkate alınması için özellikle olasılık modellerinin tercih edilmesi gerekir. Olasılıksal (probabilistik) sismik tehlike analizleri

jeolojik, sismolojik ve tarihe dayalı verilerin uyumlu ve mantıklı bir biçimde ele alınmasını gerektirir. Deterministik sismik tehlike analizinde meydana gelebilecek maksimum sismik yer hareketi ele alınırken, probabilistik yöntemde muhtemel yer hareketi senaryolarını dikkate alarak ve bu senaryoların toplamdaki etkisini sonuç verilerine ileterek analizler yapılmalıdır. Sismik olarak faaliyette olan bir alanda ileriki yıllarda meydana gelebilecek depremlerin özellikleri depremden önce kestirilemez. Buna bağlı olarak belli bir zaman diliminde meydana gelebilecek depremlerin çalışma alanına etkisi ve bununla birlikte zeminle ilgili maksimum değerlerde ki parametrelerin belirlenmesidir. Depremler yarattığı belirsizlikler nedeniyle güvenli yapıların projelendirilmesi ve inşaat aşamasında baz alınacak karakteristik değerlerin tespit edilmesinde probabilistik yöntem temelli bir analiz gerekmektedir. Deterministik tehlike analizinde oluşabilecek en yüksek deprem senaryosu göz önünde tutulurken, probabilistik yaklaşımda olası tüm deprem senaryolarını dikkate alarak ve bunların toplam etkisini sonuçlara yansıtarak hesaplamalar yapılmalıdır.

Probabilistik sismik tehlike analizi, deprem kaynaklarının çalışma alanına olan mesafesinde, azalım bağıntılarında meydana gelebilecek depremlerin büyüklük değerlerinde ki belirli olmayan durumlarda çalışılan alan için tercih edilen tasarım süreci içinde oluşabilecek ve belirli bir düzeyde aşılma değerine sahip zemin hareketi değerlerinin tasarlanıp, senaryosunun belirlenmesini sağlar. Probabilistik yöntem sismik tehlike analizlerindeki bilinmeyen parametreleri değersel ve miktarsal olarak değerlendirmesinden ötürü deterministik sismik tehlike analizinden daha çok tercih edilir (Polat, 2015). Probabilistik sismik tehlike analizinin sağladığı avantajlar şu şekilde sıralanabilir (Kayabalı, 1995):

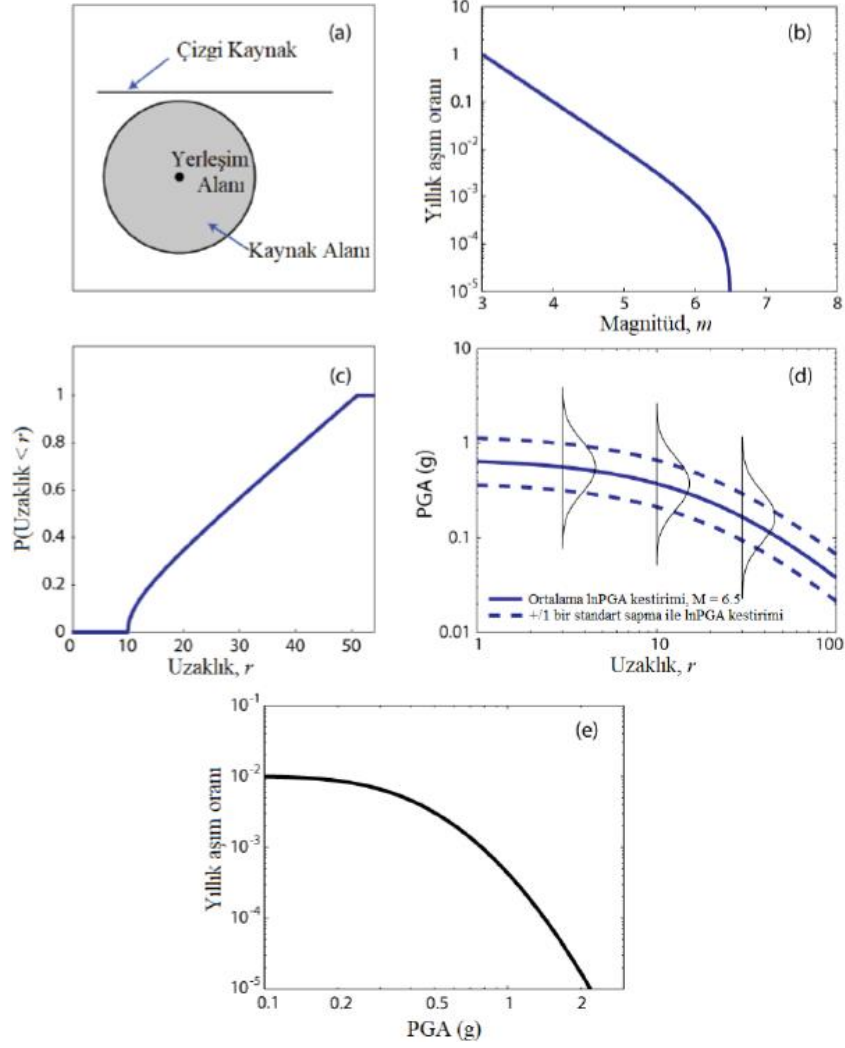
- Depremin yarattığı sismik tehlikeyi dönüş periyodu şeklinde nicel olarak hesaplar.
- Daha önceden meydana gelen depremlerin tarihsel verilerini baz alır.
- Deneyimle orantılı olarak yorumlamaya elverişli bir yöntemdir.
- Fay konumlanmasında ki eksik bulunan değerleri göz önünde bulundurur.
- Sismik tehlikeyi deprem parametreleri cinsinden değerlendirme durumuna sahiptir.

Probabilistik sismik tehlike analizi yöntemi Cornell ve McGuire' nin çalışması doğrultusunda son 30 yıldır sismik tehlike analizinde yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Probabilistik analiz yönteminde deprem verilerine ait olasılık yoğunluk fonksiyonunun belirlenebilmesi için birlikte değerlendirme yapılır (Akın, 2001). Fakat belirlenen değerler deprem kaynağından yayılmakta olan reel depremleri yansıtmazlar. Bu durumun temel nedeni faylanma karakteristik değerleri ile deprem büyüklük

dereceleri farklılaşabilmekte, bu da tekerrür değerini etkileyebilmektedir. Probabilistik analiz metodundaki negatif durum ise deprem tekerrür aralığını saptayan B hattının çizdirilmesinde uygulanan deprem büyüklüğünden doğmaktadır. B- hattı, küçük moment büyüklüğe sahip depremlerinde yer aldığı değerlerden doğar (Akın, 2001). Fakat bu düşük moment büyüklüğüne sahip depremlerin mühendislik bakımından bir etki faktörü yoktur. Düşük moment büyüklüğüne sahip depremlerin analizlerdeki tek faktörü tekerrür aralığında yarattıkları değişimlerdir. Ayrıca deprem parametreleri doğrultusunda belirlenmiş b-hattının belirlediği çalışma sahasında zamanla meydana gelebilecek depremler ile b- hattı değişebilir. Bundan dolayı B- hattının tespitinde belirlenen zaman ve bu zamanda olan depremlerin büyüklük değeri de oldukça önemlidir (Akın, 2001).

Probabilistik sismik tehlike analizi Şekil 3.24.' de grafiksel olarak tanımlanan temelde beş adımdan meydana gelir:

- a) Zeminin durumunu olumsuz olarak etkileyecek zemin sarsıntısı yaratabilecek potansiyele sahip deprem kaynak mekanizmalarının tespitinin yapılması,
- b) Deprem büyüklük verilerinin dağılım oranlarının belirlenmesi,
- c) Tehlike arz eden depremlerle bağlantılı kaynak- saha mesafesinin dağılım durumunun belirlenmesi,
- d) Büyüklük, uzaklık gibi deprem parametrelerinde zemin sarsıntı deprem senaryosunu saptamak,
- e) Probabilistik yöntemde yer alan belirsizliklerin birlikte değerlendirilmesidir.



Şekil 3.24. Probabilistik sismik tehlike analizinin temel aşamaları (Baker, 2008)

Probabilistik analizde stokastik metod olan Poisson modellemesi kullanılır. Poisson modellemesi üç ana özellikten oluşmaktadır (Kayabalı, 1995):

- Bağımsızlık Durumu:** Meydana gelen olaylar rastlantılar doğrultusunda rastgele meydana gelmektedir.
- Homojenlik Durumu:** İki ya da daha fazla depremin aynı koşullarda meydana gelme olasılığını sıfıra yaklaştıran özelliktir.
- Kararlılık Durumu:** Sismik aktivitelerin dağılım durumunu zaman faktöründen bağımsız olduğundan ötürü bu modelleme kararlılık faktörüne sahiptir.

3.2.1.2.1. Deprem büyüklüğü- Tekerrür modelleri

Gutenberg- Richter tarafından ilk defa deprem kaynaklarından meydana gelen sismik aktivitelerin büyüklükleri ile yığışımli deprem oluş sayıları arasında bulunan lineer bağıntı oluşturulmuştur. Aşağıda yer alan bağıntılar kullanılarak büyüklük frekans bağıntıları belirlenip, çizelgede gösterilmiştir:

$$\log N(M) = \alpha + \beta M \quad (3.3)$$

α, β =regresyon katsayıları

M =depremin büyüklüğü

N =depremlerin yığışım sayısı

Bu ilişki birinci dereceden lineer olabileceği gibi, ikili lineer şeklinde de olabilir.

$M < M_0$ olması durumunda;

$$\text{Log}_e N_1(M) = \alpha_1 + \beta_1 M \quad (3.4)$$

$M > M_0$ olması durumunda;

$$\text{Log}_e N'_2(M) = \alpha'_2 + \beta'_2 M \quad (3.5)$$

Kaynakların boyu veya alanı ile gözlem süresi göz önüne alınarak,

$$N(M) = N(m) / L.T ; \alpha' = \alpha - \text{Log}_e(L.T) \text{ Çizgi kaynak} \quad (3.6)$$

$$N(M) = N(m) / A.T ; \alpha' = \alpha - \text{Log}_e(A.T) \text{ Alan kaynak} \quad (3.7)$$

Dönüşümleri yapılarak aşağıdaki normalize olmuş tekrarlanma ilişkileri bulunabilir.

$$\text{Log}_e N_1(M) = \alpha'_1 + \beta'_1 M \quad (3.8)$$

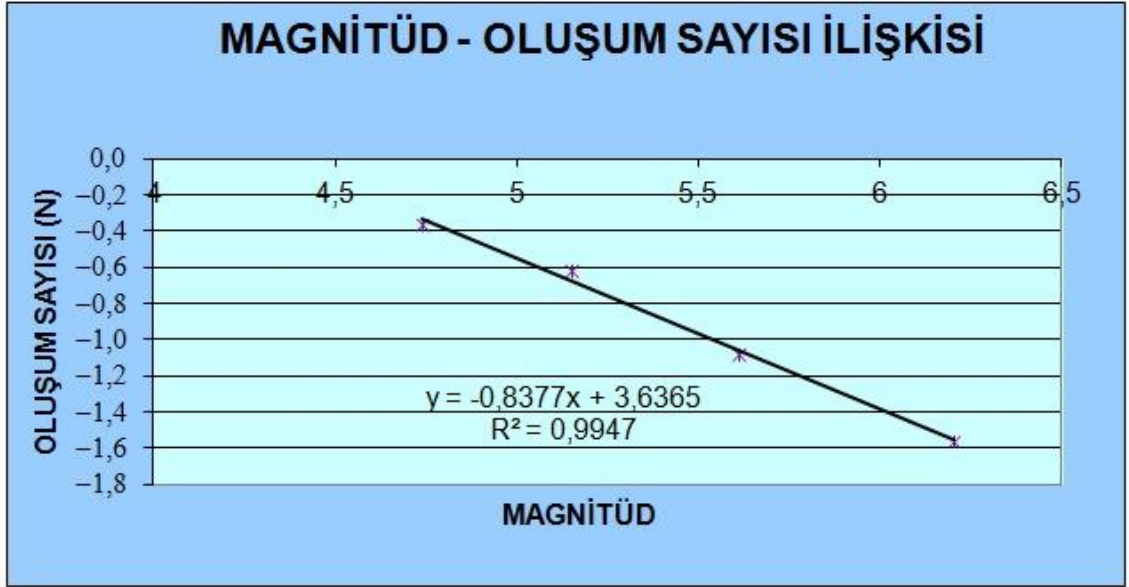
$$\text{Log}_e N'_2(M) = \alpha'_2 + \beta'_2 M \quad (3.9)$$

$N(M) = M$ büyüklüğünden büyük depremlerin yığışım sayısı,

$N_1(M) = N(M)$ normalize edilerek elde edilen depremlerin yığışım sayısı,

M_0 = Kaynaktan oluşan en büyük depremin büyüklüğü,

Depremlerin oluşum adedi ile büyüklükleri arasındaki bağıntıyı tespit eden Gutenberg- Richter ilişkisi deprem istatistik konusunun temel denklemdir. Şekil 3.26.'da görüldüğü gibi deprem büyüklüğü arttıkça depremlerin oluş miktarının düştüğü gözlemlenmiştir.



Şekil 3.26. Kaynak depremlerine ait büyüklük-oluşum sayısı grafiği

3.2.1.2.2. Depremlerin zaman içinde oluşum modelleri

Sismik yer hareketlerinin tarih sürecinde meydana geldiklerini belirten rassal dağılımının modellenebilmesi adına farklı stokastik metodlar düzenlenmiştir. OSTA çalışmalarının genelinde yer hareketlerinin zamanla meydana gelişlerinin homojen Poisson sürecine uyum sağladığı varsayımı yapılmıştır. Poisson modellemesinde deprem olaylarının bağımsız oldukları kabul edilmiştir (Yücemen, 2011). Bir sismik kaynakta ve belli bir t sürecinde minimum bir deprem oluşma olasılığı şu Şekildedir:

$$\Pr(N \geq 1) = 1 - e^{-v \cdot t} \quad (3.10)$$

Bu denklemde v , çalışma sahasında birim zamanda çoğunlukla bir yılda meydana gelmiş moment büyüklüğü 4' e eşit veya 4' ten büyük yer hareketlerinin medyan değeri olup $1/v$ ise yıl türünden ortalama değeri yinelenme süresine eşit olmaktadır (Yücemen, 2011). Poisson denkleminde v simgesi zamanla değişmeyen sabit bir değere eşittir.

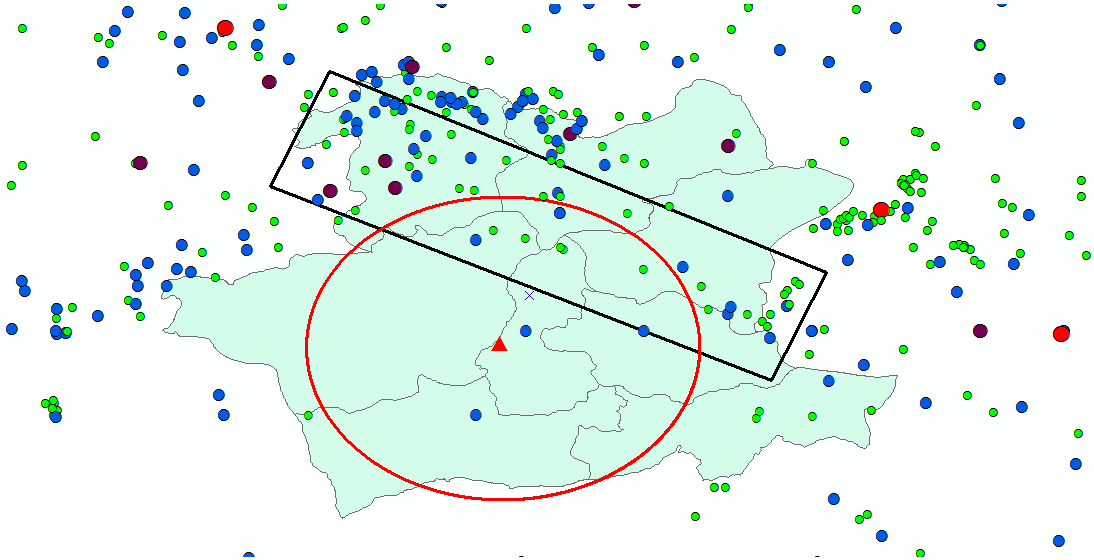
Sismik kaynak modelleme analizleri sırasında aşağıda belirtilen maddelere dikkat edilmesi gerekmektedir:

- Sismik kaynak modelleme çalışmalarında yüksek düzeyde detaylara girilmesi sayısal değerlendirmelerin yapılmasını zorlaştırır ve sonuçlara pek katkı sağlamaz.
- Sismojenik yapı değerinin artırılması inceleme alanındaki deprem sayısını düşüreceğinden $\log N(M) = a - bM$ Gutenberg-Richter denkleminin güvenilirlik derecesini azaltacaktır.
- Odak derinliğinin iki katından daha uzak olan çalışma alanları için kaynak tasarımındaki detay sonuçların hassasiyetine fazla etkisi olmayacaktır.

3.2.1.2.3. Depremlerin mekansal dağılımı

Sismik hareketlerin mekansal yayılımı sismik kaynaklar aracılığıyla sismik kaynaklar modelleme haritası olan Şekil 3.35.' te açıklanmıştır. Sismik tehlike analiz hesaplarında dikkat edilmesi gereken şartlardan biri de geçmiş zamanlarda oluşmuş depremlerin coğrafi yayılımı ile jeolojik ve tektonik verilerin araştırılarak, çalışma alanı çevresinde kritik durum meydana getirebilecek deprem kaynaklarının tespit edilmesidir. Geometrik durumlarıyla ilişkili olarak yer hareketlerinin mekansal oluşumu beş çeşit deprem kaynağına dayandırılmıştır. Bu kaynaklar noktasal, çizgisel ve alansal kaynaklardır. Sismik kaynaklarının coğrafi konumlanmasının tespitinde jeolojik, jeofiziksel ve sismolojik datalar ile daha önceden meydana gelmiş depremlerin dış merkezlerinin yerini sergileyen haritalardan faydalanılır.

Sismik tehlike analizlerinde inceleme alanı üzerinde ilerleyen zamanlarda etkili olması beklenen maksimum yer hareketi ivmelerinin saptanması için ilk adımda sismolojik değerler araştırılıp, analiz edilmiştir. Çalışma alanı merkezde bulunmak üzere 100 km yarıçapındaki sahada büyüklüğü dört ve dörtten büyük ($M \geq 4$) 1900–2019 yılları arasında meydana gelmiş depremler incelenmiş ve farklı araştırmacılar tarafından geliştirilen beş ayrı azalım bağıntısı kullanılmış ve probabilistik (olasılıksal) yöntemlerle yapılan hesaplamalara dâhil edilmiştir. Hesaplamalarda kullanılan azalım ilişkileri benzeri çalışmalarda yaygın olarak dikkate alınan, NGA= Yeni Kuşak Azalım ilişkilerinden hazırlananlar arasından seçilmiştir.



Şekil 3.27. Sismik kaynaklar modelleme haritası (Arcgis Explorer)

3.2.2. Tasarıma esas davranış spektrumlarının belirlenmesi

Mühendislik amaçları için depremlerden oluşacak ivmelerin yanı sıra, hız ve deplasman gibi parametreler de kullanılabilir. Son yıllarda spektral ivme değerlerine göre yapılan hesaplamaların ağırlık kazandığı görülmektedir. Spektral ivmeler mühendislik yapısının etkiye maruz bırakıldığı ivmedir.

İvme tepki spektrumu; mühendislik yapısına etkisi bulunan ve zeminden yapıya doğru olan deprem kuvvet değerlerini verir. Yapının doğal periyodu ile birlikte azalım bağıntı oranına göre Şekil 3.28.' de grafiği çizilen ivme tepki spektrumundan elde edilen maksimum tepki parametresi mühendislik yapısına esas ivme değeri olur.



Şekil 3.28. İvme tepki spektrumu- zaman grafiği

Hazırlanan tez çalışmasının Batman ili ve çevresinde gelecek zaman dilimleri içerisinde etkili olması muhtemel yer ivmesi maksimum değerleri (PGA) belirli ekonomik ömürlere ve belirli aşılma olasılıklarına bağlı olarak belirlenmiştir. CRISIS 2015 programı ile probabilistik yöntemle belirlenen Batman İli ve çevresi için spektral ivme değerleri hesaplanarak Ek-3' de grafik halinde sunulmuştur. Spektral ivme değerleri zeminin farklı periyotlarında saptanmış en büyük ivme değerlerinden (PGA) oluşan spektrum değeridir.

Probabilistik ivme spektrum grafikleri farklı periyot değerlerine göre ve 100, 144, 475, 975 ve 2475 yıllık çeşitli geri dönüş periyotlarına göre çalışma alanına gelecek olan spektral ivmelerin kantitatif dağılımını göstermektedir.

4. BULGULAR

4.1. Deterministik Yönteme Ait Bulgular

Deterministik analiz yönteminde yeni nesil azalım ilişkileri kullanılarak Kozluk Segmenti üzerinde tasarlanarak elde edilen ivme değerlerinin ortalaması alınarak elde edilmiş değer olan $PGA = 0.08g$ Çizelge 4.1.' de sonuçlandırıldığı üzere uygun bulunmuştur. Çizelge 4.2.' de azalım bağıntılarına göre belirlenen ivme değerleri sonucunda ortalama değer alınmıştır. Bu değer çalışmanın "Sonuç ve Öneriler" bölümünde probabilistik yöntemle bulunan ivme değeriyle birlikte değerlendirmeye alınmıştır.

Çizelge 4.1. Çizgisel deprem kaynağına ait deterministik değerlendirme sonuçları

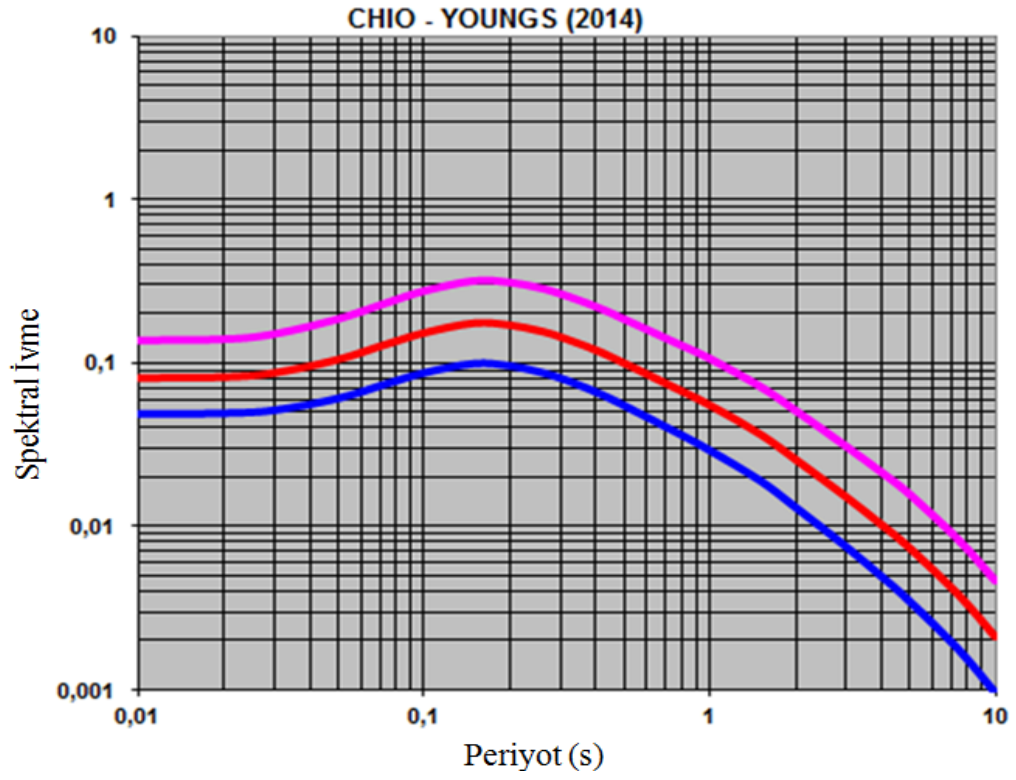
Fay		Kozluk Segmenti	
Büyükölük		M=7,2	
Faya Olan Uzaklık		43.00 km	
Kayma Dalga Hızı (Vs30)		760 m/sn.	
Azalım İlişkileri		PGA (cm/sn ²)	PGA (g)
1	ABRAHAMSON -SİLVA (2014) NGA	7,615E-02	0,07
2	ATKINSON-BOORE (2014)	1,054E-01	0,10
3	CHAMPBELL-BOZORGIA (NGA, 2014)	7,835E-02	0,07
4	CHİOU-YOUNGS (2014)	8,135E-02	0,08
5	IDRISS (2008)	8,534E-02	0,08
	ORTALAMA İVME DEĞERİ	8,531E-02	0,08

Çizelge 4.2. Deterministik yöntemle NGA Model, Period-İvme değerler çizelgesi

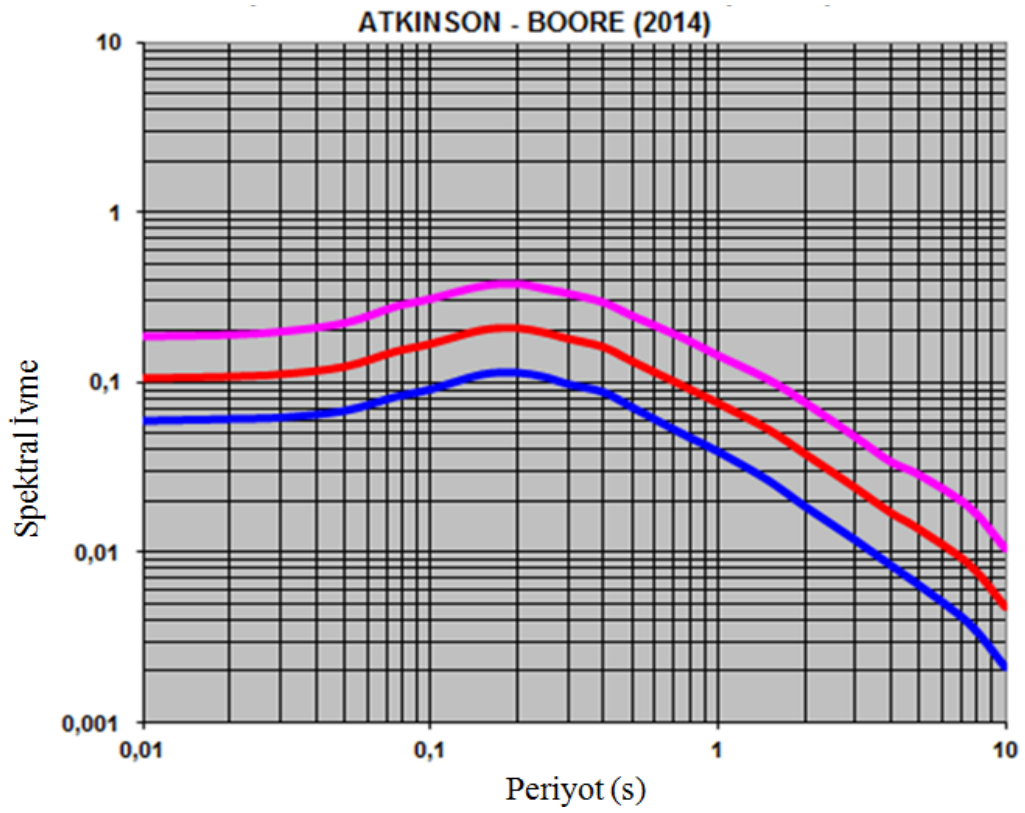
I PERİOD DEĞERLERİ T (s)	AZALIM İLİŞKİLERİ				
	ABRAHAMSON- SİLVA (NGA, 2014)	CHAMPBELL- BOZORGNIA (NGA, 2014)	CHIOU- YOUNGS (2014)	ATKINSON- BOORE (2014)	IDRISS (2008)
	PGA (g)	PGA (g)	PGA (g)	PGA (g)	PGA (g)
0.010	7,615E-02	7,835E-02	8,135E-02	1,054E-01	8,534E-02
0.020	7,676E-02	7,956E-02	8,234E-02	1,079E-01	8,534E-02
0.030	7,923E-02	8,418E-02	8,737E-02	1,114E-01	8,972E-02
0.050	8,434E-02	9,965E-02	1,053E-01	1,233E-01	1,030E-01
0.075	9,808E-02	1,250E-01	1,317E-01	1,513E-01	-
0.10	1,154E-01	1,467E-01	1,535E-01	1,683E-01	1,447E-01
0.15	1,493E-01	1,736E-01	1,762E-01	2,027E-01	1,753E-01
0.20	1,701E-01	1,818E-01	1,716E-01	2,087E-01	1,974E-01
0.25	1,790E-01	1,673E-01	1,592E-01	1,959E-01	2,075E-01
0.30	1,717E-01	1,558E-01	1,455E-01	1,810E-01	2,060E-01
0.40	1,549E-01	1,339E-01	1,205E-01	1,612E-01	1,906E-01
0.50	1,364E-01	1,179E-01	1,007E-01	1,337E-01	1,699E-01
0.75	1,005E-01	8,256E-02	7,136E-02	9,591E-02	-
1.0	7,793E-02	6,233E-02	5,550E-02	7,528E-02	1,051E-01
1.5	4,925E-02	3,936E-02	3,693E-02	5,250E-02	7,063E-02
2.0	3,466E-02	2,850E-02	2,577E-02	3,795E-02	4,851E-02
3.0	2,074E-02	1,794E-02	1,521E-02	2,386E-02	2,680E-02
4.0	1,407E-02	1,324E-02	1,025E-02	1,692E-02	1,598E-02
5.0	1,044E-02	1,079E-02	7,411E-03	1,359E-02	1,075E-02
7.5	6,035E-03	5,979E-03	3,755E-03	8,378E-03	-
10.0	3,530E-03	3,936E-03	2,105E-03	4,708E-03	2,835E-03
İvme Değeri	0,07	0,07	0,08	0,10	0,08

Çizelge 4.2.' de belirtildiği gibi 0.5 saniyelik periyoda kadar olan bölge ivme duyarlı bölge, 0.5 saniye ile 3.0 saniye arasında kalan bölge hız duyarlı bölge olup 3 saniyelik periyottan sonra kalan bölge de yer değiştirme duyarlı bölgedir. Elde edilen ivme değerleri bu aralığa göre yorumlanıp, zemin parametrelerine aktarılır.

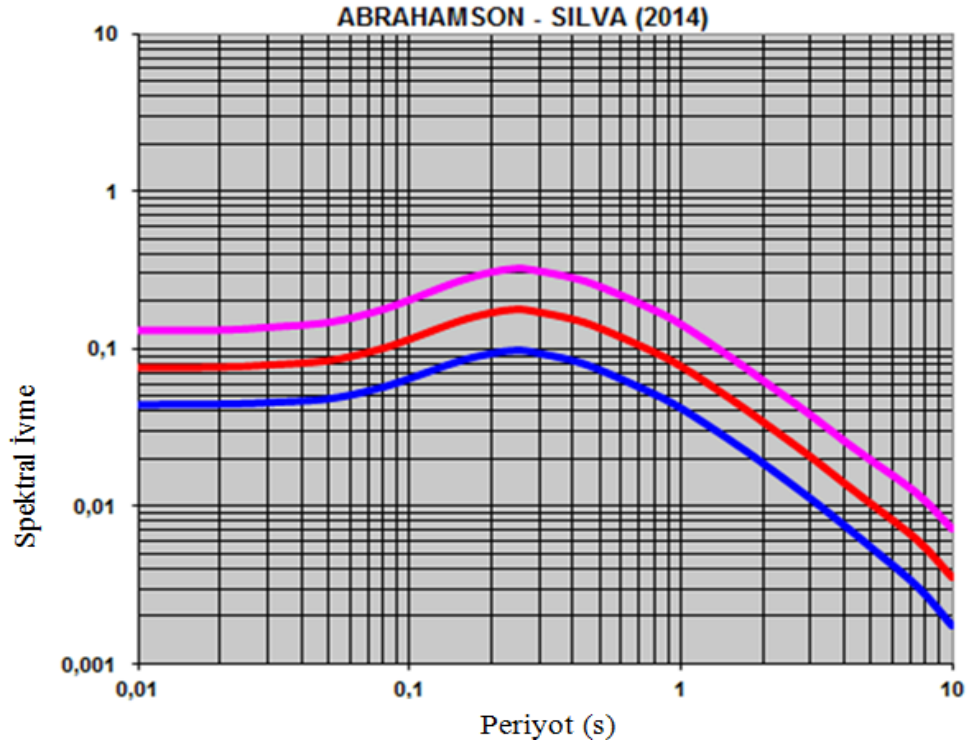
Sismik yer hareketi düzeyini hesaplamak için kullanılan ve Şekil 4.1., Şekil 4.2., Şekil 4.3., Şekil 4.4., Şekil 4.5.' de periyoda bağlı olarak hesaplanmış spektral ivme değerleri bulunmuştur. Burada 1 saniyelik periyoda denk gelen ivme değeri, ideal koşullara sahip bir mühendislik yapısına etki eden ivme değeridir. Periyodu 0 olarak bilinen bir mühendislik yapısına etki eden spektral ivme değeri zemin ivme değeri olan PGA' ya eşit olmaktadır.



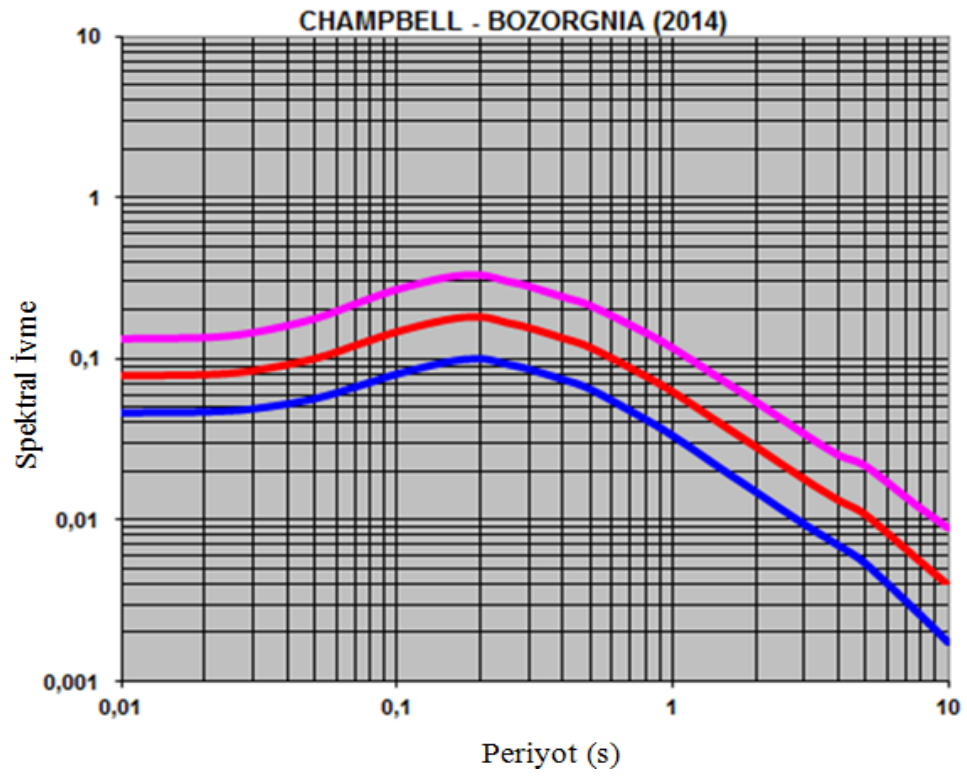
Şekil 4.1. NGA Model, Spektral ivme zaman grafiği (Chiou ve Youngs, 2014)



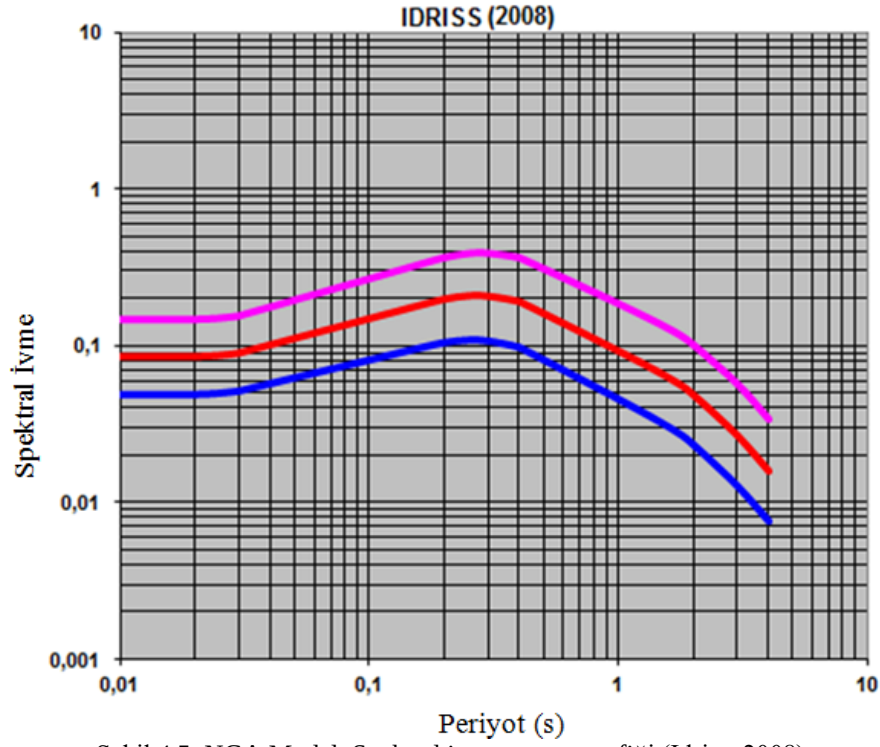
Şekil 4.2. NGA Model, Spektral ivme zaman grafiği (Boore vd., 2014)



Şekil 4.3. NGA Model, Spektral ivme zaman grafiği (Abrahamson vd., 2014)



Şekil 4.4 NGA Model, Spektral ivme zaman grafiği (Campbell ve Bozorgnia, 2014)



Şekil 4.5. NGA Model, Spektral ivme zaman grafiği (Idriss, 2008)

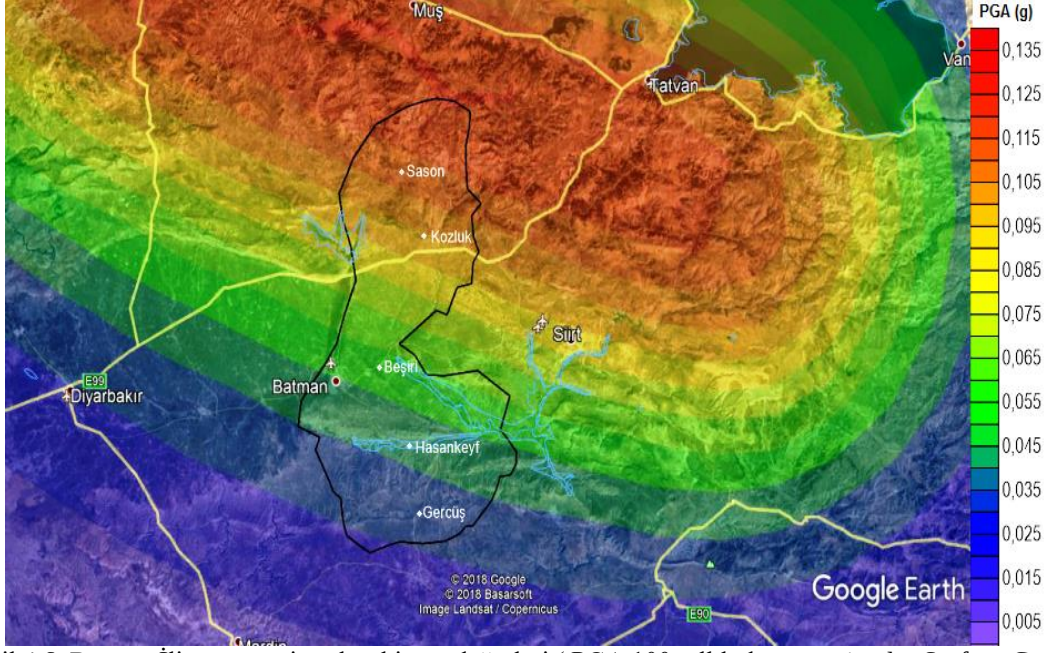
4.2. Olasılıksal (Probabilistik) Yönteme Ait Bulgular

Probabilistik analiz yöntemiyle yapılan analizde belirli bir yapı ömrü içerisinde, belirli aşılma olasılıklarına göre inceleme alanında deprem kaynaklarında meydana gelmesi beklenen maksimum yatay yer ivmeleri bulunmuş ve Çizelge 4.3.' de verilmiştir. Tasarım ve bölgelendirme haritasında kullanılan maksimum tasarım depremi ivme değeri 0.11 g olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 4.3. Proje sahasında meydana gelmesi beklenen maksimum yatay yer ivmeleri

Olasılık Yöntemi	AZALIM İLİŞKİSİ											
	ABRAHAMSON- SILVA (NGA, 2014)		CHAMPBELL- BOZORGNA (NGA, 2014)		CHIOU- YOUNGS (2014) (NGA, 2014)		ATKINSON- BOORE (NGA,2014)		IDRISS (NGA-2008)		İVME DEĞERİ	
	PGA cm/sn ²	PGA (g)	PGA cm/sn ²	PGA (g)	PGA cm/sn ²	PGA (g)	PGA cm/sn ²	PGA (g)	PGA cm/sn ²	PGA (g)	PGA cm/sn ²	PGA (g)
EÖ:100 yıl AO:% 50 RP:100yıl												
	51,3	0,05	53,6	0,05	57	0,05	51,5	0,05	56,7	0,05	54,02	0,05
EÖ:100 yıl AO:% 50 RP:144yıl												
	67,2	0,06	64,5	0,06	60,2	0,06	67,6	0,06	62,3	0,06	64,36	0,06
EÖ:50 yıl AO:% 10 RP:475yıl												
	117,4	0,11	111,2	0,11	111,8	0,11	112,7	0,11	110,4	0,11	112,7	0,11
EÖ:50 yıl AO:% 5 RP:975yıl												
	153,7	0,15	157,7	0,15	156,1	0,15	155,3	0,15	158,3	0,15	156,2	0,15
EÖ:50 yıl AO:% 2 RP:2475yıl												
	212,2	0,21	210,3	0,21	215,5	0,21	215,2	0,21	210,8	0,21	212,8	0,21

Bu sonuca göre; probabilistik yöntemle elde edilen ivme değerleri, deterministik yöntemle bulunan ivme değerleriyle birlikte dikkate alınarak çalışmanın " Sonuç ve Öneriler" bölümünde Batman ili ve çevresi için kullanılacak olan deprem parametreleri olarak önerilmiştir. Probabilistik yöntemden elde edilen ivme sonuçlarına göre, zemin ivme değerleri tarafından çalışma sahasının Crisis 2015 programı aracılığıyla kritik deprem düzey bölgeleri Şekil 4.6.' da görüldüğü gibi oluşturulmuştur. Şekil 4.6.' da 100 yıllık geri dönüş periyoduna ait sık düzeyde oluşması beklenen yer hareketi doğrultusunda ivme değeri (0.05 g) baz alınarak bölge haritası çizilmiştir.



Şekil 4.6. Batman İli ve çevresi spektral ivme değerleri (PGA 100 yıllık dönüş periyodu- Surfer - Google Earth)

Batman ili ve çevresi için yapılan probabilistik değerlendirme sırasında; özellikle baraj, viyadük, köprü, gölet ve enerji santrali projelerinin depreme dayanıklı olarak dizayn edilmesi sırasında iki seviyeli yer hareketi dikkate alınmaktadır. ICOLD tarafından tasarım depremine ilişkin önemli tanımlamalar olan MDE, OBE ve MCE kavramları hakkında açıklamaya yer verilmiştir.

Olasılıksal yöntemle yapılan değerlendirmede; Maksimum Tasarım Depremi (MDE) için tavsiye edilen 50 yıllık ekonomik ömür içerisinde %10 aşılma olasılığı ile geri dönüş periyodu 475 yıl olarak beklenen yer hareketi ivmesi (0.11g) değeridir. Mühendislik yapısı, bu şiddette bir depremin etkisine maruz kaldığı zaman önemli hasar görse bile, ayakta kalabilecektir.

Mühendislik yapısının ağır hasar görmesi halinde büyük bir sosyal tehlikeye yol açacaksa bu durumda; MDE değeri olarak 50 yıllık ekonomik ömür içerisinde % 2 aşılma olasılığı ile beklenen yer hareketi ivmesinin (0.21g) dikkate alınması daha uygun olacaktır.

İşletmeye Esas Deprem (OBE); OBE kavramı mühendislik yapısı üzerinde yalnızca küçük hasarlar yaratabilecek bir yer hareketi seviyesini tarif eder. Mühendislik yapısı, yardımcı yapılar ve ekipmanlar işlevlerini OBE seviyesinde bir deprem sonrasında sürdürebilecektir. Diğer bir ifade ile OBE 100 yıllık bir periyot içerisinde % 50 olasılıkla aşamayacak olan yer hareketini tanımlar. Böyle bir hareketin geri dönüş periyodu (return period) ise 144 yıla karşı gelmektedir.

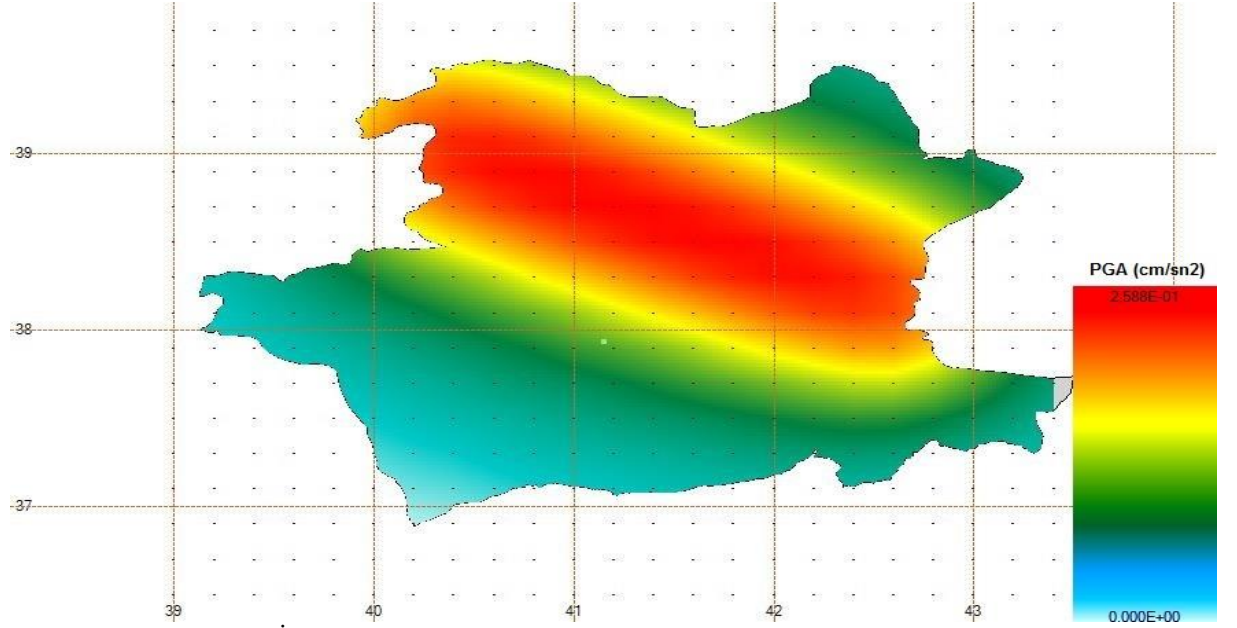
Bu tanımlamalar ışığında ortaya çıkan ivme değerleri CRISIS 2015 Programı ve Yeni Nesil Azalım İlişkileri (Excel Tabanlı NGA Model Version) adlı değerlendirme programları kullanılarak belirlenmiş ve aynı grafik üzerinde 100, 144, 475, 975 ve 2475 yıllık geri dönüş periyotlarına göre Çizelge 4.4.' de hazırlanarak verilmiştir.

Çizelge 4.4. Olasılıksal (Probabilistik) sismik tehlike analiz değerleri

<i>Olasılık Yöntemi</i>	İVME DEĞERİ	
	PGA cm/sn ²	PGA (g)
EÖ:50 yıl AO:% 50 RP:100yıl	54,02	0,05
EÖ:50 yıl AO:% 50 RP:144yıl	64,36	0,06
EÖ:50 yıl AO:% 10 RP:475yıl	112,7	0,11
EÖ:50 yıl AO:% 5 RP:975yıl	156,2	0,15
EÖ:50 yıl AO:% 2 RP:2475yıl	212,8	0,21

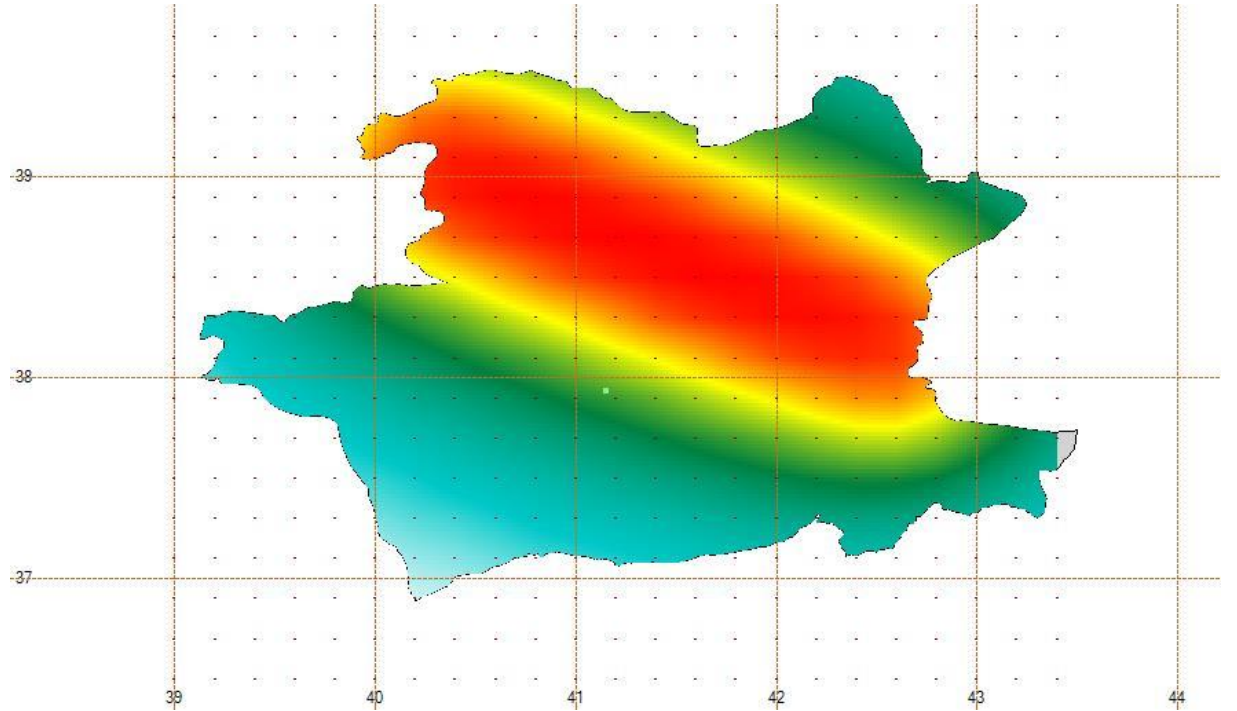
Olasılıksal sismik tehlike analizi yöntemi doğrultusunda yapılan bölgelendirme haritaları sonucunda; Batman ili ve 100 km çevresini kapsayan yörede meydana gelecek ciddi bir değişimin ancak 2475 yıllık bir süreçte meydana geleceği görülmektedir. Kentsel dönüşüm planlamaları için PGA değerlerine göre oluşturulan sismik haritalar son derece önem teşkil etmektedir. Senaryo depremler üretilip, ağır hasara uğrayacak bölgeler önceden belirlenip hazırlık çalışması yapılarak kentsel dönüşüm sürecine öncelikli olarak bu bölgelerden başlanması gerekmektedir. Yapılan olasılıksal sismik tehlike analizi sonucunda Şekil 4.7.,4.8.,4.9., 4.10. ve 4.11. de tehlike arz eden bölgeler ve ivme değerleri gösterilmiştir:

- Ekonomik ömür 100 yıl, aşılma olasılığı %50, geri dönüş periyodu 100 yıl için PGA= 54,02 cm/sn² (0.05 g.),



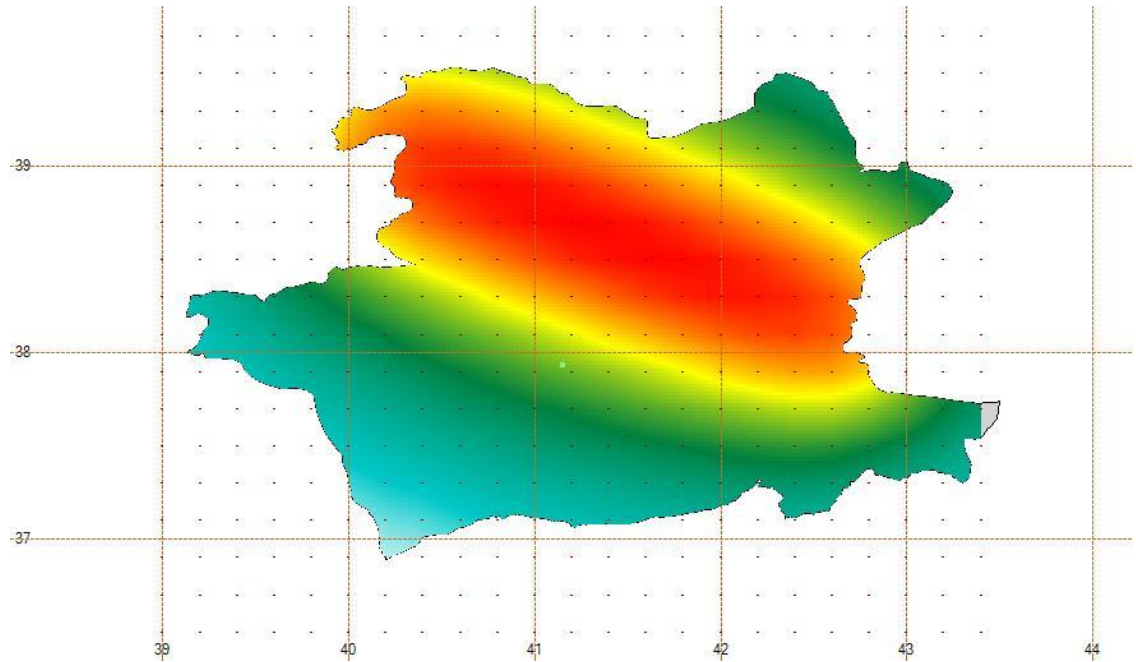
Şekil 4.7. Batman İli ve 100 km çevresinin sismik tehlike haritası 100 Yıllık Dönüş Periyodu

- Ekonomik ömür 50 yıl, aşılma olasılığı %50, geri dönüş periyodu 144 yıl için PGA= 64,36 cm/sn² (0.06 g.),



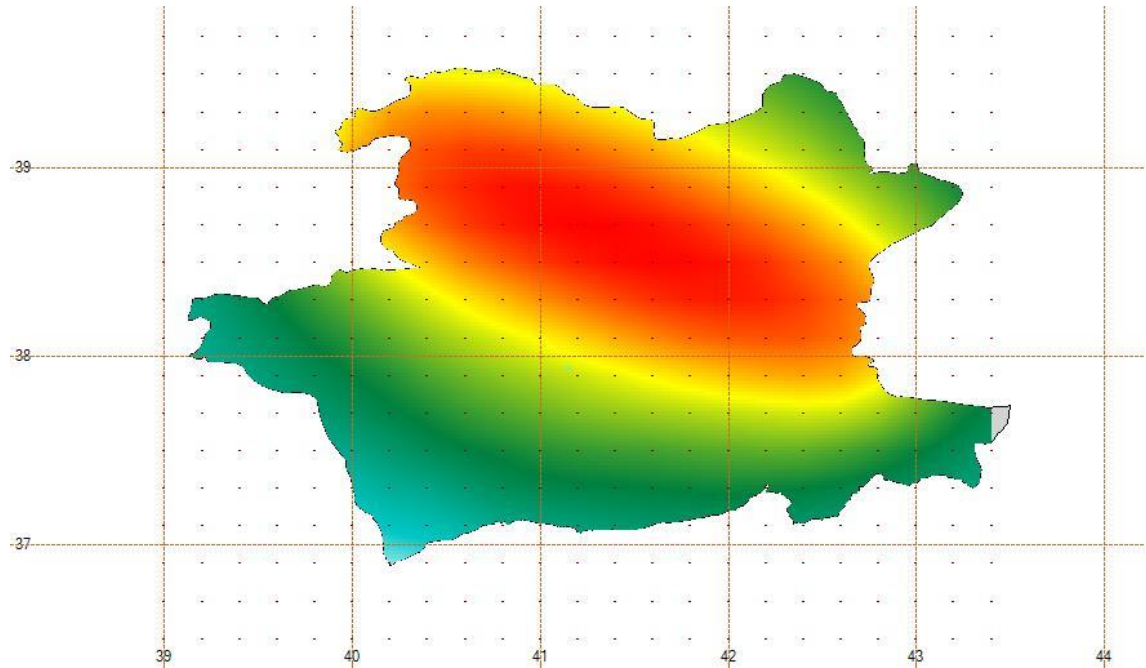
Şekil 4.8. Batman İli ve 100 km çevresinin sismik tehlike haritası 144 yıllık geri dönüş periyodu

- Ekonomik ömür 50 yıl, aşılma olasılığı % 10, geri dönüş periyodu 475 yıl için $PGA=112,7 \text{ cm/sn}^2$ (0.11 g.),



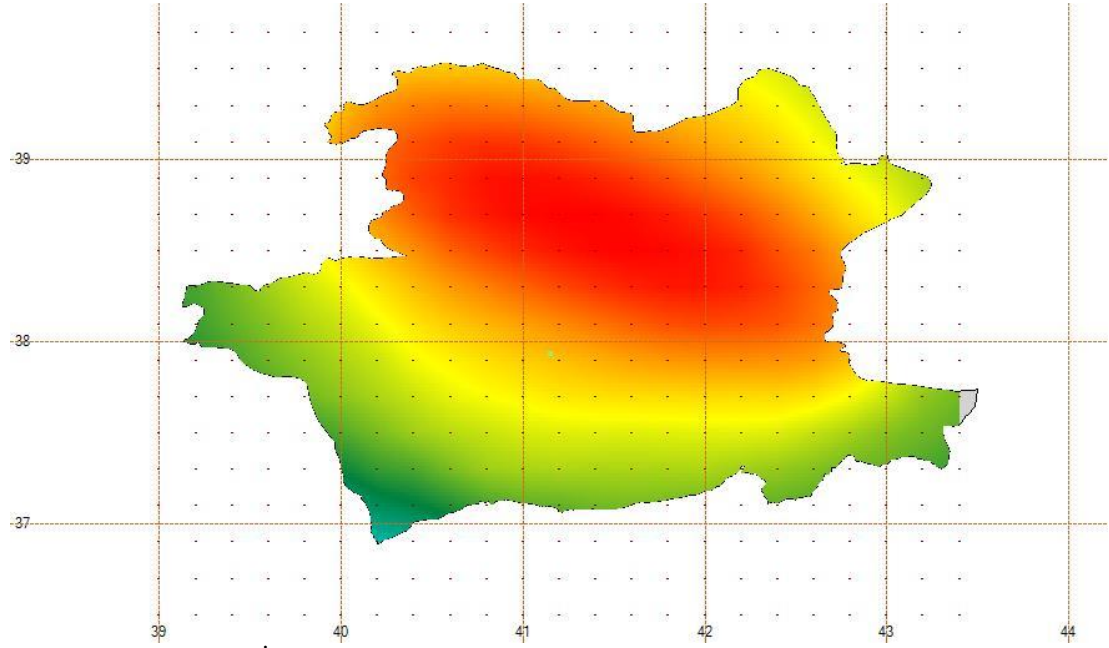
Şekil 4.9. Batman İli ve 100 km çevresinin sismik tehlike haritası 475 yıllık geri dönüş periyodu

- Ekonomik ömür 50 yıl, aşılma olasılığı %5, geri dönüş periyodu 975 yıl için $PGA=156,2 \text{ cm/sn}^2$ (0.15 g.),



Şekil 4.10. Batman İli ve 100 km çevresinin sismik tehlike haritası 975 yıllık geri dönüş periyodu

- Ekonomik ömür 50 yıl, aşılma olasılığı % 2, geri dönüş periyodu 2475 yıl için PGA = 212,8 cm/sn² (0.21 g.) ivme değerleri bulunmuştur.



5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışması kapsamında aşağıda belirtilen sonuçlara ulaşılmıştır:

- a. Bu çalışma, Batman ili ve çevresinde rasyonel yollardan probabilistik (olasılıksal) ve deterministik yöntemleri kullanarak sismik tehlikenin belirlenmesi için hazırlanmıştır. İmar- İskan Bakanlığı' nca hazırlanan ve AFAD Deprem Dairesi Başkanlığı tarafından Ocak 2019 da yürürlüğe giren " Türkiye Deprem Tehlike Haritası" na göre Batman ili ve 100 km çevresi 0.2 g ve 0.4 g aralığı üzerinde yer almaktadır. AFAD' ın hazırlamış olduğu "Türkiye Deprem Tehlike Haritası" üzerinde 50 yılda aşılma olasılığı %10 ve tekrarlanma periyodu 475 yıl olan ivme parametrelerine göre bölge derecelendirilmesi yapılmıştır.
- b. Batman il merkezi ve 100 km' lik inceleme alanının sismik tehlike analizi yapılmıştır. 1900- 2019 seneleri arasında meydana gelmiş depremler göz önüne alınarak büyüklük-frekans bağıntısı belirlenmiştir. Batman şehri için $a=3,64$ ve $b= 0,84$ değerleri esas alınmıştır.
- c. Büyüklük- frekans bağıntısı doğrultusunda bulunan a ve b parametrelerine istinaden; çalışma alanında büyüklüğü 6.0 olan bir depremin tekrarlanma periyodu 25 yıl, büyüklüğü 6.5 olan bir depremin tekrarlanma periyodu 66 yıldır.
- d. Batman ili ve çevresi M.T.A.' nın 2012 yılında yaptığı çalışmalar sonucunda yenilenen diri fay haritasının Güneydoğu Anadolu paftasında yer almaktadır. Çalışma alanı; Güneydoğu Anadolu Bindirmesi etkisi altındadır ve çalışma alanına mesafesi ise yaklaşık 43 km' dir. Coğrafi veri tabanı sistem yazılımlarından biri olan ArcGIS programı ile incelenen jeolojik veriler, sönüm bağıntılarında kullanılacak olan parametreler hesaba alınmıştır.
- e. Batman ili ve 100 km çevresi için gerek olasılık yöntemiyle gerekse deterministik yöntemiyle bulunan ivme değerleri birlikte değerlendirildiğinde olasılık yöntemiyle elde edilen maksimum tasarım değeri (MDE) için; ekonomik ömür 50 yıl, aşılma olasılığı %10, geri dönüş periyodu 475 yılına ait ivme değeri $MDE= 112,7 \text{ cm/sn}^2$ (0.11g) ivme değerinin alınması uygun görülmüştür. İşletmeye esas deprem (OBE) ekonomik ömür 100 yıl, aşılma olasılığı %50, geri dönüş periyodu 144 yıl değeri için $OBE= 64,36 \text{ cm/sn}^2$ (0.06g) değerinin alınması uygun görülmüştür.

f. Bu çalışmadan yola çıkarak, bir bölgede herhangi bir mühendislik projesi için yapılan sismik tehlike analizlerinde yöntem olarak deterministik ve olasılıksal olmak üzere her iki yönteminde sonuçlarının birlikte değerlendirilmesi ve birbirleriyle karşılaştırılması gerektiği düşünülmektedir.

g. Batman il merkezi ve 100 km yarıçapa sahip yöre için bulunan maksimum tasarım depremi PGA değeri ile AFAD tarafından hazırlanan "Türkiye Deprem Tehlike Haritası" ile paralellik sergilediği görülmüştür.

h. Yapılan sismik tehlike analizi sonuçlarına göre Batman ili ve çevresi için Sismik Dizayn Katsayısının (k) yapılabilecek mühendislik projelerinde $k=0.05$ olarak dikkate alınması gerektiği tespit edilmiştir. Projelerde kullanılacak olan bu katsayı, tasarımı yapan mühendis aracılığıyla proje özellikleriyle ilişkili olarak tekrar değerlendirilmelidir. Çalışma sismik tehlike analizleri ile bulunan ivme değerlerinin Birleşik Devletler Jeoloji Dairesince (USGS) verilen Türkiye Deprem Risk Haritası üzerinde proje sahasına isabet eden değerlere yakın olduğu tespit edilmiştir.

1. Yapılan araştırma ve incelemeler neticesinde bulunan parametrelerin Türk Deprem Yönetmeliği'nde verilen mühendislik yapılarının güçlendirme ve sismik tehlike analizlerinin yapılabilmesi için önerdiği parametrelerin birbirine uyum sağladığı görülmüştür. Fakat her şehrin sismisitesi değişiklik sergileyebildiğinden mühendislik yapılarının tehlike analizlerinin yapılabilmesi için hesaba katılacak spektrum eğrilerinin tez çalışmasında incelendiği gibi şehir derecesine indirgenerek hesaba katılması ile incelemelerin gerçeğe daha uygun veriler vereceği anlaşılmıştır.

i. Belirlenen parametreler doğrultusunda projeyi hazırlayan mühendisin maliyet verileriyle birlikte mühendislik yapılarının davranışları ile beraber performansı, zemin etüdü sonucunda taşıma gücü, zemin parametreleri ve jeolojik koşullarda sismik tehlike analizi sonucunda elde edilen parametrelerin beraber değerlendirilmesi ve standartlara uygun şekilde kullanılıp, hesaplara katılması önerilmektedir.

j. Çalışmadan elde edilen bulguların eski Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası'na göre farklılık gösterdiği görülmüştür. Geçmişte kullanılan Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası'na göre araştırma alanı ve yakın çevresinin 1. ve 2. dereceden deprem bölgeleri arasında yer almasına rağmen bu çalışmada eski Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası'nda belirlenen bölgelerden daha düşük seviyede tehlike arz eden bölgelerde yer aldığı görülmektedir. Buradan yola çıkarak bu çalışmadan elde edilen sonuçların, eski Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası'nda ki tartışmalı hususların varlığını bir kere daha ortaya koyduğunu söylemek mümkündür.

k. Bu tez çalışması neticesinde araştırma alanına ait elde edilen bulguların, güncellenmiş olan yeni Türkiye Deprem Tehlike Haritası'nda sunulan ivme değerleriyle örtüştüğü tespit edilmiştir. Geçmiş yıllardan kullanılan eski Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası'nda ki tartışmalı hususlardan yola çıkarak ihtiyaç dahilinde oluşturulan yeni Türkiye Deprem Tehlike Haritası'nda bu eksikliklerin giderildiği bu çalışmayla birlikte bir kez daha kanıtlanmıştır.

KAYNAKLAR

- Abrahamson N., Silva W., Kamai R., 2014, Summary of the ASK14 Ground- Motion Relation for Active Crustal Regions, Earthquake Spectra, 30(3).
- Açıkbaş D., Baştuğ C., 1975, V. Bölge Cacas- Hani Yöresi Kuzey Sahalarının Jeoloji Raporu ve Petrol Olanakları: TPAO Arama Grubu, Rapor no. 917, 45 s., Ankara.
- Aguilar M., Ordaz M., Puente J., Gonzalez S., Rodriguez H., Ceballos A., Garcia A., Calderon C., Escalante J., Camacho J., Campos A., 2007, Computacion y Sistemas, Vol.21 No.1, pp 67-90.
- Akdeniz A., 2003, Güneydoğu Anadolu Bölgesinin Depremselliği, Kabuk ve Üst Manto Yapısı ve Deprem Riskinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara.
- Akın M., 2001, Deterministik Yaklaşımla Türkiye’ nin Sismik Tehlike Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- 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 (6),pp.2978-2995.
- Akkaya İ., Şengül M.A., Özvan A., Tapan M., 2013, Yüksekova (Hakkari) Bölgesinin Depremselliği ve Sismik Tehlike Analizleri, İstanbul Yerbilimleri Dergisi, C.26, S.1, SS. 37-51.
- Allen C. R.,1969, Active Faulting in Northern Turkey.Contribution 1577. Div. Geol. Sciences California Inst. Technology
- Anıt, Y., 2013. Batman İlinin Uygun Yerleşim Alanlarının Belirlenmesi. Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Müh. A.B.D. Yüksek Lisans Tezi, Aksaray.
- Anonim-1,2019,
<http://www.kgm.gov.tr/Sayfalar/KGM/SiteTr/Bolgeler/9Bolge/iller/ilBatman.aspx>
- Anonim-2, 2019, <https://deprem.afad.gov.tr/depremkatalogu>
- Anonim-3, 2019, <https://www.afad.gov.tr/tr/24212/Turkiye-Deprem-Tehlike-Haritasi>
- Anonim-4, 2019, <http://www.batman.gov.tr/ilcelerimiz>

- Ansal A., Springman S., Studer J., Demirbaş E., Önalp A., Erdik M., Giardini D., Şeşetyan K., Demircioğlu M., Akman H., Fah D., Christian A., Laue J., Buchheister J., Çetin Ö., Siyahi B., Fahjan Y., Gülkan P., Bakır S., Lestuzzi P., Elmas M., Köksal D., Gökçe O., 2004, Belediyeler İçin Sismik Mikrobölgeleme Örnek Uygulamalar, Araştırma Raporu, Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Afet Risk Yönetimi Dünya Enstitüsü.
- Arin A., Işık E., Büyüksaraç A., Ekinci Y.L., 2018, Şırnak İlının Olasılıksal Sismik Tehlike Analizi, Şehri Nuh Uluslararası Multi Disipliner Çalışmalar Kongresi, Şırnak.
- Arpat E., Şaroğlu F., 1972, Doğu Anadolu Fayı ile ilgili Bazı Gözlemler, MTA Dergisi, 78, 44- 50.
- Baker J. W., 2008, An Introduction to Probabilistic Seismic Hazard Analysis (PSHA), Version 1.3.
- Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Afet İşleri Genel Müdürlüğü, 1996, Türkiye Deprem Bölgeler Haritası
- Bender B., Perkins D.M., 1987, SEIRISK III: A Computer Program for Seismic Hazard Estimation: U.S. Geol. Surv. Bull. No.1772.
- Beyaz, T., (2004) Zemin Etkisinden Arındırılmış Deprem Kayıtlarına Göre Türkiye İçin Yeni Bir Deprem Enerjisi Azalım Bağıntısının Geliştirilmesi. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, Ankara.
- Bolgi T., Kıratlıoğlu E., 1962, AR/TPO/674 no'lu sahanın jeolojik raporu: TPAO Arama Grubu, Rapor no. 324, 13s, Ankara.
- Boore, D.M., Stewart, J.P., Seyhan, E., and Atkinson G.M., 2014. NGA- West2 Equations for Predicting PGA, PGV, and %5 Damped PSA for Shallow Crustal Earthquakes. Earthquake Spectra, 30(3), pp.1057-1085.
- Bozorgnia, Y. and 31 authors, 2014. NGA-West2 Research Project, Earthquake Spectra, 30, 973-987.
- Campbell K.W., Bozorgnia Y., 2014, Campbell- Bozorgnia NGA- West2 Horizontal Ground Motion Model for Active Tectonic Domains, Tenth U.S. National Conference on Earthquake Engineering Frontiers of Earthquake Engineering, July 21-25, Anchorage, Alaska.

- Chiang, W-L., Guidi, G.A., Mortgart, C.P., Schoof, C.C. and Shah, H.C, 1984, Computer programs for seismic hazard analysis: A User Manual, Report No.62, The J. A. Blume Earthquake Engineering Center, Stanford University, California.
- Chiou B., Youngs R.R., 2008, An NGA Model for the Average Horizontal Component of Peak Ground Motion and Response Spectra, Earthquake Spectra, Volume 24, No. 1, pages 173–215.
- Chiou B., Youngs R.R., 2012, Updating the Chiou and Youngs NGA Model: Regionalization of Anelastic Attenuation, 15 WCEE
- Chiou B., Youngs R.R., 2014, Update of the Chiou and Youngs NGA Model for the Average Horizontal Component of Peak Ground Motion and Response Spectra. Earthquake Spectra: August 2014, Vol. 30, No. 3, pp. 1117- 1153.
- Coduto D., 1998, Geotechnical Engineering Principle an Practice. Prentice- Hall.
- Day W.R., 2004, Geoteknik Deprem Mühendisliği El Kitabı. (Prof. Dr. Murat MOLLAMAHMUTOĞLU, Doç. Dr. Kamil KAYABALI, Çev.), Ankara: Gazi Kitabevi.
- Eren Y., Nalbantçılar M., Beyaz T., Dinç S., Ünal M., Arslan Ş., Polat S., 2012, Esentepe (Gültepe/ Batman) Çukurunun Oluşum Mekanizması, Batman University Journal of Life Sciences, Volume1-Number2
- Fukushima Y., Tanaka T., 1990, A New Attenuation Relation for Peak Horizontal Acceleration of Strong Earthquake Ground Motion in Japan. BSSA, 80, 757-783.
- Hanks, C., and H. Kanamori (1979). A Moment Magnitude Scale, J Geophys Res 84, 2348- 2350
- Herece E., Akay E., 1992, Karlıova- Çelikhan Arasında Doğu Anadolu Fayı, Türkiye 9. Petrol Kongresi, 361- 372.
- Idriss, I. M., 2008. An NGA Empirical Model for Estimating the Horizontal Spectral Values Generated by Shallow Crustal Earthquakes, Earthquake Spectra 24, 217–242.
- İmamoğlu M. Ş., 1993, Gölbaşı(Adıyaman)- Pazarcık -Narlı(K. Maraş) Arasındaki Sahada Doğu Anadolu Fayı'nın Neotektonik İncelenmesi, Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- İmamoğlu M., Çetin E., 2007, Güneydoğu Anadolu Bölgesi ve Yakın Yöresinin Depremselliği, D. Ü. Ziya Gökalp Eğitim Fakültesi 9, 93-103.

- İmamoğlu M.Ş., 1996, Doğu Anadolu Fay Zonu Gölbaşı Kesimi Neotektonik Özellikleri ve Gölbaşı- Saray Fay Kaması Havzası, Türkiye Jeoloji Kurultayı Bülteni,11 , 176-184.
- İnan E., Çolakoğlu Z., Koç N., Bayülke N., Çoruh E., 1996, 1976-1996 Arası İvme Kayıtları Olan Deprem Kataloğu . T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü Deprem Araştırma Daire Başkanlığı, 98s., Ankara.
- Kalkan E., EERI S.M., Gülkan P., 2004, Empirical Attenuation Equations for Vertical Ground Motion in Turkey.
- Kalkan E., Gülkan P., 2005, Discussion of “An Attenuation Relationship Based on Turkish Strong Motion Data and Iso-acceleration map of Turkey” by Ulusoy et al., Eng., Geol., 74:265-291 (2004).
- Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü
- Kayabalı K., 1995, Sismik Tehlike Analizi: Teori ve Uygulama, Ankara Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Ankara.
- Koçbulut F., Akpınar Z., Tatar O., Piper J., Roberts A., 2013. Palaeomagnetic Study of the Karacadağ Volcanic Complex SE Turkey Monitoring Neogene anticlockwise Rotation of the Arabian Plate SE Turkey. Tectonophysics, 608, pp, 1007-1024.
- Köker F., 2013, Siirt İli Sismik Tehlike Analizi, Yüksek Lisans Tezi Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Kramer S.L., 1996, Strong Ground Motion, Chapter-3. Geotechnical Earthquake Engineering, Bill Stenquist et al. (Editors). Prentice- Hall, Inc. Upper Saddle River, NJ.
- McKenzie D.P., 1972, Active Tectonics of the Mediterranean, Geophysical Journal of Structural , 30 (2)p. 109- 185
- Menekşe A., 2016, Probabilistic Seismic Hazard Assessment for East Anatolian Fault Zone Using Planar Source Models, The Degree of the Master of Science in Civil Engineering, Middle East Technical University, Ankara.
- MTA, 2007. 1/100 000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritası Mardin M-46 Paftası , No:69, Ankara.
- Ordaz M., Salgado Galvez M.A., 2017, R-Crisis Validation and Verification Document, Technical Report, MExico City, Mexico.
- Özdemir F., Ünlügenç U.C., 2013, Gökiçi (Diyarbakır) Yapısının Stratigrafisi ve Hidrokarbon Potansiyeli Açısından İncelenmesi, Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 28(1), 127- 141ss.

- Pasin C., 1989, Siirt- Eruh ve Şırnak Arasındaki Bölgenin Jeolojisi: TPAO Arama Grubu, Rapor no. 2632, 24s, Ankara.
- Perinçek D.,Günay Y.,Kozlu H., 1987, Doğu ve Güneydoğu Anadolu Bölgesindeki Yanal Atımlı Faylar ile ilgili Yeni Gözlemler, Türkiye 7. Petrol Kongresi, 89 - 103.
- Piper, J.D.A., Tatar, O., Gürsoy, H., Koçbulut, F., Mesci, B.L., 2006. Palaeomagnetic Analysis of Neotectonic Deformation in the Anatolian Accretionary Collage, Turkey. In: Dilek, Y., Pavlides, S. (Eds.), Post-Collisional Tectonics and Magmatism in the Eastern Mediterranean Region. Geol. Soc. Amer, pp. 417–440 (Spec. Paper 409).
- Polat E., 2015, Yedisu Fayı'nın (Kuzey Anadolu Fayı) Sismik Tehlike Analizi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Polat, S., 2019. Kırda Dağı (Batman İli) Çevresinin Jeolojisi, Volkanik Kayaçların Petrografisi Ve Petrolojisi. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, Yayınlanmamış, Isparta.
- Reid H.F.,1911, The Elastic Rebound Theory of Earthquakes, Bull Dept.Geol.Univ.Calif., 6., 413-444.
- Reiter L., 1990, Earthquake Hazard Analysis: Issues and Insights. Columbia University Press. Newyork 254 pp.
- Sabetta F., Pugliese A., 1987, Attenuation of Peak Horizontal Acceleration and Velocity from Italian Strong Ground Motion Records: BSSA, 77, 1491- 1513.
- Saltık O., 1970, Cizre-Silopi- Rubai Sahasına ait Rekonesans Jeoloji Raporu: TPAO Arama Grubu, Rapor no. 488, 9s., Ankara
- Seymen İ., Aydın A., 1972, Bingöl Deprem Fayı ve Bunun Kuzey Anadolu Fayı ile İlişkisi, MTA Dergisi, 79, 1-8.
- Sönmezer Y.B., Akbaş S.O., Işık N.S., 2015, Kırıkkale İli Yerleşim Alanı İçin En Büyük İvme, Zemin Büyütmesi ve Hakim Titreşim Periyodu Özelliklerinin Değerlendirilmesi, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der., Cilt 30, No 4, 711-721.
- Şaroğlu F., Emre Ö., Boray A., 1987, Türkiye'nin Diri Fayları ve Depremsellikleri, MTA Derleme No:8174, 394.
- Tosun H., Seyrek E., 2007, Baraj Yeri Sismik Tehlike ve Toplam Risk Analiz Esasları- Ceyhan Havzası için Yapılan Uygulamalar, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Eskişehir.

- Ulusay R., Tuncay E., Sönmez H., Gökçeoğlu C., 2004, An Attenuation Relationship Based on Turkish Strong Motion Data and Iso- Acceleration Map of Turkey. Engineering Geology, 74, 265- 291.
- Ulutaş H.,2012, Van İli Sismik Tehlike Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Yeşilova P., Helvacı C., 2012, Germik Formasyonu Oligosen Evaporitlerinin Diyajenezi ve Paleocoğrafik Gelişimi,Türkiye; Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi Bülteni 34 (1), 1-22.
- Yüçemen M.S.,2011,Olasılıksal Sismik Tehlike Analizi: Genel Bakış ve İstatistiksel Modellemede Dikkat Edilmesi Gerekli Hususlar, 1. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, ODTÜ,Ankara.

EKLER

Ek-1. 1900-2019 Yılları Arasında Oluşmuş Büyüklüğü $M_w > 4.0$ Olan Depremler (Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü)

Oluş Tarihi	Enlem	Boylam	Derinlik (km)	Büyüklük (M_w)	Yer
1.5.2017	38,2942	42,8993	5	4,4	BAGLAMA-GEVAS (VAN) [South West 1.2 km]
23.10.2016	38,3673	41,9912	5	4,3	YENIKOY-MUTKI (BITLIS) [South East 2.4 km]
20.7.2016	39,3573	40,5123	3	4,1	SENKOY-YEDISU (BINGOL) [South West 6.5 km]
19.7.2016	39,3543	40,5177	1	4,2	SENKOY-YEDISU (BINGOL) [6.73 km]
10.6.2016	39,025	40,7383	5	4,5	ELMALI- (BINGOL) [.43 km]
23.1.2016	38,0565	42,704	4	4,4	MEYDAN-HIZAN (BITLIS) [South East 3.4 km]
7.12.2015	39,281	40,2337	5	4,3	YAZGUNU-KIGI (BINGOL) [2.17 km]
4.12.2015	39,2595	40,208	5	4,2	ACIKGUNEY-KIGI (BINGOL) [1.23 km]
4.12.2015	39,2683	40,2203	5	4,3	ACIKGUNEY-KIGI (BINGOL) [North 0.5 km]
2.12.2015	39,2815	40,2353	5	5,3	YAZGUNU-KIGI (BINGOL) [North West 2.1 km]
7.9.2015	39,1822	40,2135	8	4,6	BILEKKAYA-YAYLADERE (BINGOL) [South East 0.7 km]
9.2.2015	39,4237	40,149	5	4,1	AGASENLIGI-PULUMUR (TUNCELI) [North East 6.5 km]
4.2.2015	38,0312	42,732	3	3,9	AKYAYLA-BAHCESARAY (VAN) [North West 1.6 km]
21.1.2015	38,2423	42,853	5	4,4	YANIKCAY-GEVAS (VAN) [4.28 km]
28.9.2014	38,8398	40,9882	3	4,2	DEMIRKAPI-SOLHAN (BINGOL) [South West 1.2 km]
15.5.2013	39,0192	41,1815	6	4,2	BILEK- (MUS) [North West 4.9 km]
8.3.2010	38,78	40,06	5	5,6	ASAGIMIRAHMET-KOVANCILAR (ELAZIG) [South East 0.6 km]
8.3.2010	38,83	40,1308	5	6,1	ISAAGAMEZRASI-KOVANCILAR (ELAZIG) [South West 0.6 km]
1.5.2003	39,01	40,46	10	6,4	KURTULUS- (BINGOL) [South West 4.3 km]
29.7.1974	39,05	40,65	17	4,3	DALLITEPE- (BINGOL) [North East 4.4 km]
6.1.1974	38,28	42,92	28	4,4	KAZANC-GEVAS (VAN) [North West 0.2 km]
30.8.1973	37,96	42,75	45	5	BENTKOY-PERVARI (SIIRT) [North 2.7 km]
30.1.1973	38,13	42,38	20	4,2	KOCYIGIT-HIZAN (BITLIS) [South East 2.5 km]
7.12.1971	39,11	40,11	71	4,4	HAMURKESEN-KARAKOCAN (ELAZIG) [North East 1.6 km]
17.7.1971	38,72	40,28	25	4,8	DOGANLI-GENC (BINGOL) [North 1.1 km]
24.5.1971	38,98	40,6	33	4,9	GOLTEPESI- (BINGOL) [North East 2.4 km]
22.5.1971	39,23	40,61	50	4,7	CATMA-ADAKLI (BINGOL) [South East 1.0 km]
22.5.1971	39,08	40,63	41	5	KABACALI-ADAKLI (BINGOL) [South West 5.2 km]
22.5.1971	38,92	40,65	26	5	KARDESLER- (BINGOL) [North West 1.0 km]
22.5.1971	38,96	40,34	80	4,4	GOKCEKANAT- (BINGOL) [North 0.6 km]
22.5.1971	38,85	40,52	3	6,1	GUVECLI- (BINGOL) [North West 0.7 km]
1.10.1969	39,32	40,56	17	5	CATMAOLUK-ADAKLI (BINGOL) [North West 5.3 km]
25.9.1968	39,24	40,29	41	5,3	DALLICA-KIGI (BINGOL) [South West 1.5 km]
24.9.1968	39,19	40,29	8	5,3	DARKOPRU-KIGI (BINGOL) [West 0.4 km]
11.6.1968	38,15	42,85	53	5	BAHCESARAY (VAN) [North East 4.7 km]

26.12.1966	38,85	40,9	28	4,8	GELINTEPE-SOLHAN (BINGOL) [West 1.9 km]
13.9.1966	39,17	40,85	46	4,8	DEVECIK-KARLIOVA (BINGOL) [North West 1.0 km]
20.8.1966	39,31	40,51	34	4,8	AYSAKLI-ADAKLI (BINGOL) [East 4.8 km]
20.8.1966	39,16	40,7	33	5,7	KIRKPINAR-ADAKLI (BINGOL) [South West 3.7 km]
20.8.1966	38,82	41,49	47	5,1	KARAKOPRU- (MUS) [North West 2.8 km]
19.8.1966	38,8	41,4	33	4,8	ARPAYAZI- (MUS) [South East 1.5 km]
14.6.1966	38,16	42,86	39	4,7	BAHCESARAY (VAN) [North East 6.0 km]
9.5.1966	38,27	42,34	33	4,7	YOLALAN- (BITLIS) [East 2.9 km]
2.5.1966	38,1	42,5	50	5	OYMAPINAR-HIZAN (BITLIS) [North 1.0 km]
2.5.1966	38,1	42,75	49	4,5	SISLI-BAHCESARAY (VAN) [South West 0.6 km]
2.5.1966	38,1	42,61	55	4,7	SURUCULER-HIZAN (BITLIS) [North East 1.6 km]
27.4.1966	38,14	42,52	28	5,2	EKINTEPE-HIZAN (BITLIS) [South West 0.9 km]
4.9.1964	39,4	40,28	54	5,1	SAMPASAKARADERBENDI-PULUMUR (TUNCELI) [South East 7.2 km]
9.8.1960	38,6	41,1	66	4,5	AGACKORUR-KULP (DIYARBAKIR) [North West 1.7 km]
21.2.1960	38,49	41,52	40	4,9	CAKIRPINAR-SASON (BATMAN) [North West 4.6 km]
29.8.1959	38,55	41,29	50	4,9	CEVIZLIDERE- (MUS) [South West 6.5 km]
7.7.1957	39,37	40,46	60	5,3	CEVIZLI-ADAKLI (BINGOL) [North East 6.2 km]
28.3.1954	39,03	40,97	10	5,5	YIGITHARMANI-SOLHAN (BINGOL) [North 3.4 km]
27.3.1954	38,8	41,5	10	4,8	KARAKOPRU- (MUS) [North East 0.5 km]
14.10.1953	38,7	41,9	30	4,7	ICBOGAZ-KORKUT (MUS) [South West 1.8 km]
1.11.1949	39,3	40,3	5	4,8	CICEKTEPE-KIGI (BINGOL) [North East 0.8 km]
12.10.1948	38,5	41,5	30	4,9	KALEYOLU-SASON (BATMAN) [North East 4.8 km]
17.3.1940	38,22	42,83	10	4,8	TORELI-GEVAS (VAN) [South East 7.2 km]
14.10.1935	39,2	40,6	30	5,3	DOGANKAYA-ADAKLI (BINGOL) [South East 0.8 km]
13.10.1935	39,35	40,52	40	5,9	SENKOY-YEDISU (BINGOL) [South 7.2 km]
12.11.1934	38,54	41	50	5,5	DOLUN-KULP (DIYARBAKIR) [South East 1.7 km]
27.1.1913	38,38	42,23	10	5,5	YOLAGZI- (BITLIS) [North West 0.5 km]
5.3.1909	39	40	30	5,3	HAMZALI-KARAKOCAN (ELAZIG) [North West 0.6 km]
3.6.1907	38,7	41,5	30	5,2	SOGUCAK- (MUS) [South West 3.1 km]
6.4.1907	39,3	40,4	30	5,2	ESKIKAVAK-KIGI (BINGOL) [North East 1.2 km]

Ek-2. Bilgisayar Çıktıları

50 yılda $3,93\text{E-}01$ yoğunluk (g) değerinin aşılma olasılığı (RP: 100 yıl)

0,00E+00 , 5,40E-02

5,00E-02 , 6,74E-02

1,00E-01 , 9,59E-02

1,50E-01 , 1,07E-01

2,00E-01 , 1,10E-01

3,00E-01 , 8,91E-02

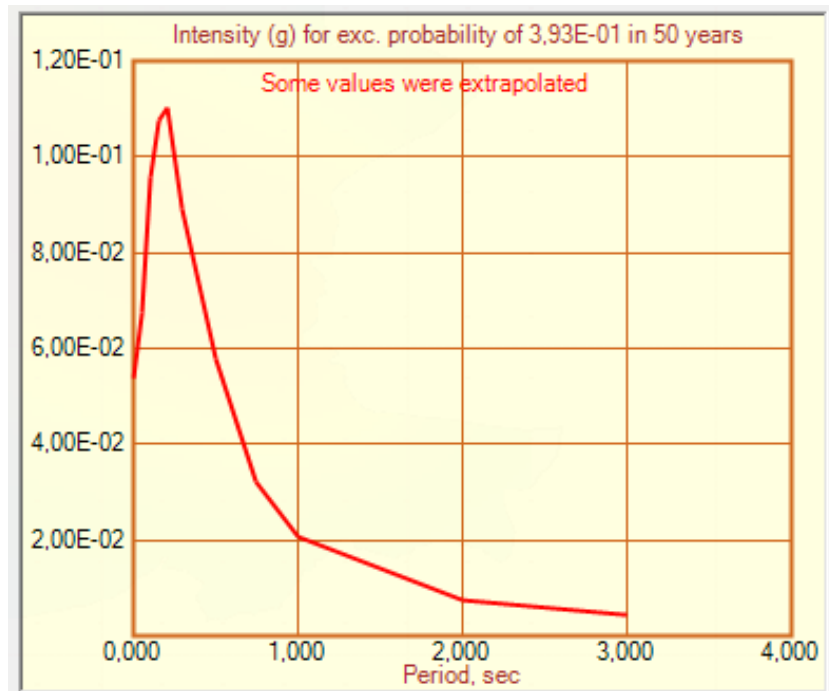
5,00E-01 , 5,77E-02

7,50E-01 , 3,23E-02

1,00E+00 , 2,05E-02

2,00E+00 , 7,55E-03

3,00E+00 , 4,45E-03



Ek-2. Bilgisayar Çıktıları

50 yılda $2,93\text{E}-01$ yoğunluk (g) değerinin aşılma olasılığı (RP: 144 yıl)

0,00E+00 , 6,43E-02

5,00E-02 , 7,91E-02

1,00E-01 , 1,11E-01

1,50E-01 , 1,27E-01

2,00E-01 , 1,31E-01

3,00E-01 , 1,06E-01

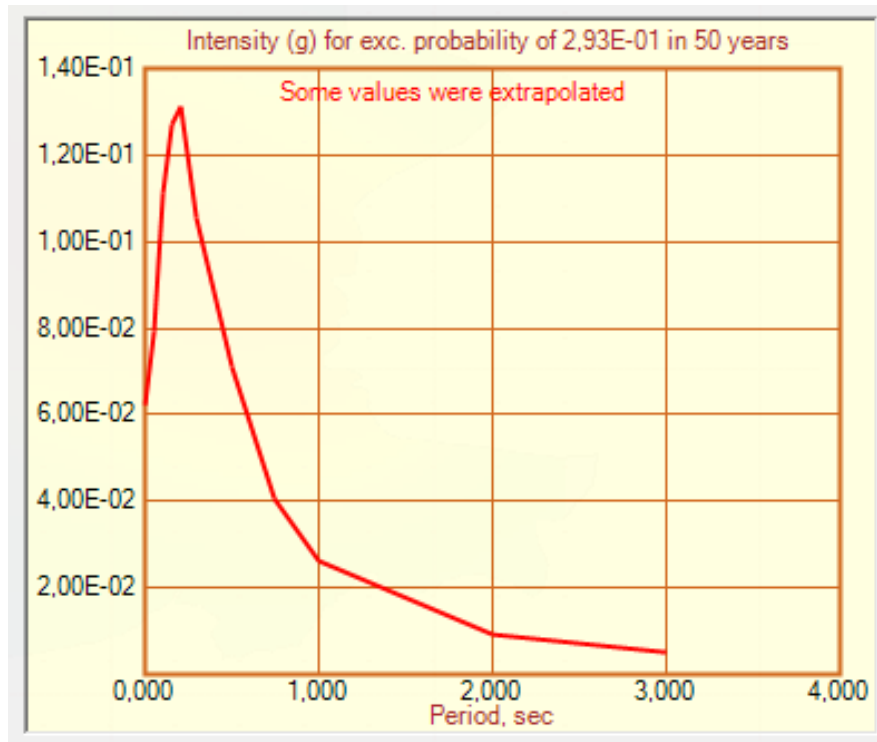
5,00E-01 , 7,10E-02

7,50E-01 , 4,06E-02

1,00E+00 , 2,63E-02

2,00E+00 , 9,34E-03

3,00E+00 , 5,30E-03



Ek-2. Bilgisayar Çıktıları

50 yılda $9,99\text{E-}02$ yoğunluk (g) değerinin aşılma olasılığı (RP: 475 yıl)

0,00E+00 , 1,12E-01

5,00E-02 , 1,42E-01

1,00E-01 , 2,05E-01

1,50E-01 , 2,35E-01

2,00E-01 , 2,45E-01

3,00E-01 , 2,07E-01

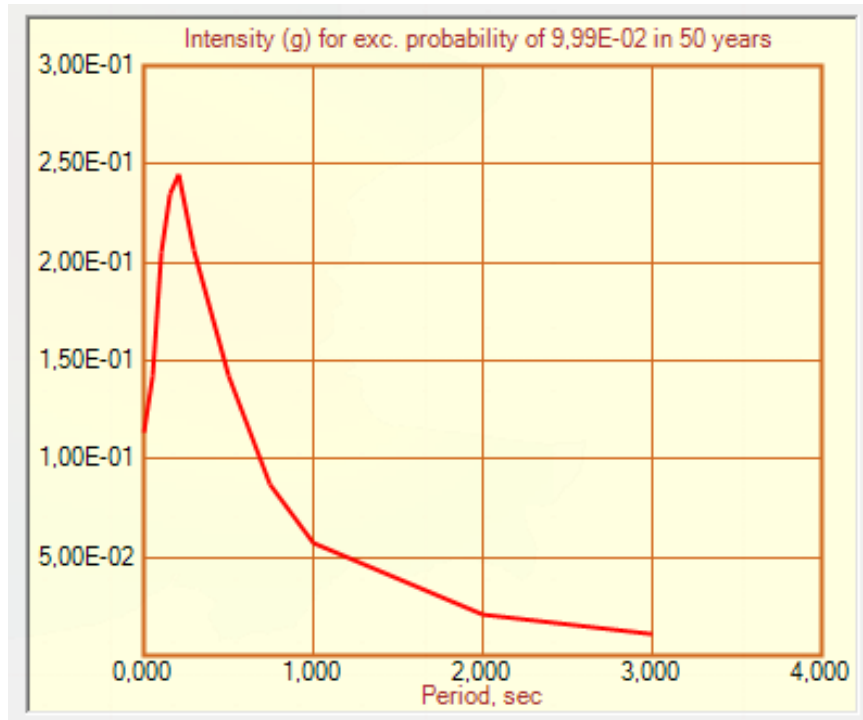
5,00E-01 , 1,42E-01

7,50E-01 , 8,66E-02

1,00E+00 , 5,74E-02

2,00E+00 , 2,12E-02

3,00E+00 , 1,07E-02



Ek-2. Bilgisayar Çıktıları

50 yılda $5,00E-02$ yoğunluk (g) değerinin aşılma olasılığı (RP: 975 yıl)

0,00E+00 , 1,56E-01

5,00E-02 , 1,88E-01

1,00E-01 , 2,71E-01

1,50E-01 , 3,17E-01

2,00E-01 , 3,34E-01

3,00E-01 , 2,83E-01

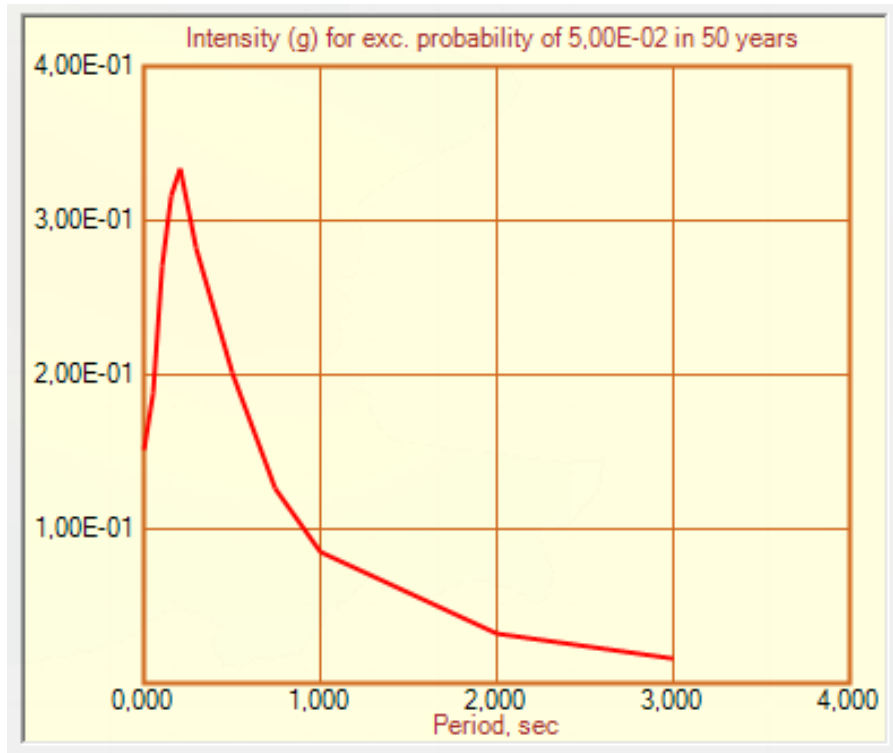
5,00E-01 , 2,01E-01

7,50E-01 , 1,26E-01

1,00E+00 , 8,47E-02

2,00E+00 , 3,20E-02

3,00E+00 , 1,67E-02



Ek-2. Bilgisayar Çıktıları

50 yılda $2,00\text{E-}02$ yoğunluk (g) değerinin aşılma olasılığı (RP: 2475 yıl)

0,00E+00 , 2,12E-01

5,00E-02 , 2,61E-01

1,00E-01 , 3,80E-01

1,50E-01 , 4,46E-01

2,00E-01 , 4,74E-01

3,00E-01 , 4,12E-01

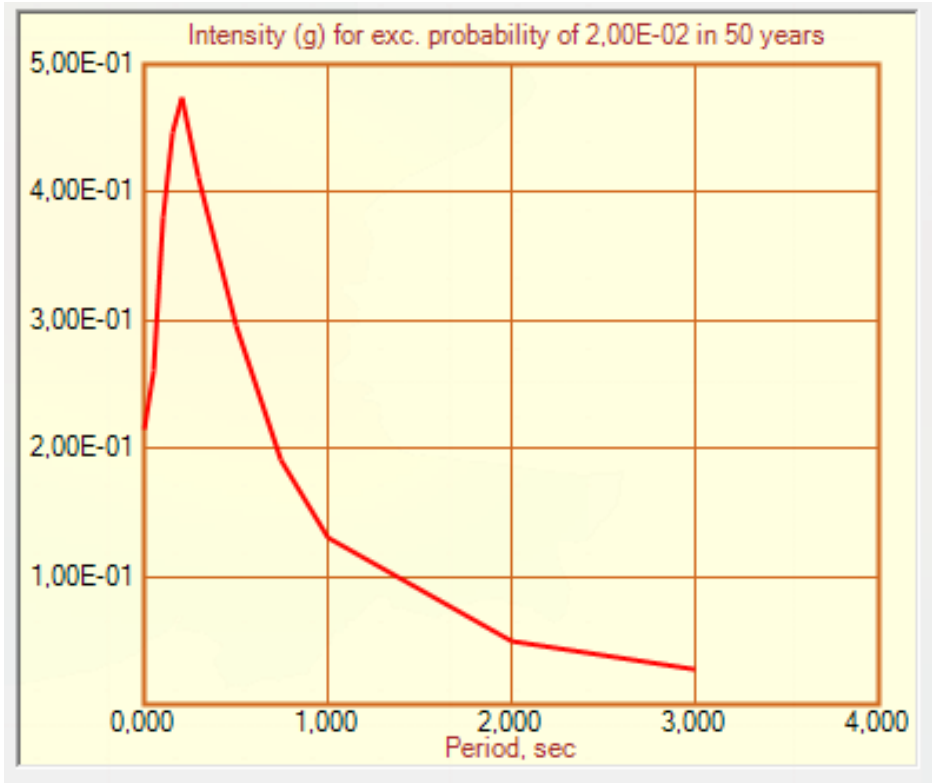
5,00E-01 , 2,96E-01

7,50E-01 , 1,90E-01

1,00E+00 , 1,31E-01

2,00E+00 , 5,05E-02

3,00E+00 , 2,68E-02



Ek-3. Tepki Spektrumları- Abrahamson vd. (2014) Azalım İlişkisi

0,00E+00 , 2,21E-01

5,00E-02 , 2,72E-01

1,00E-01 , 4,03E-01

1,50E-01 , 4,88E-01

2,00E-01 , 5,07E-01

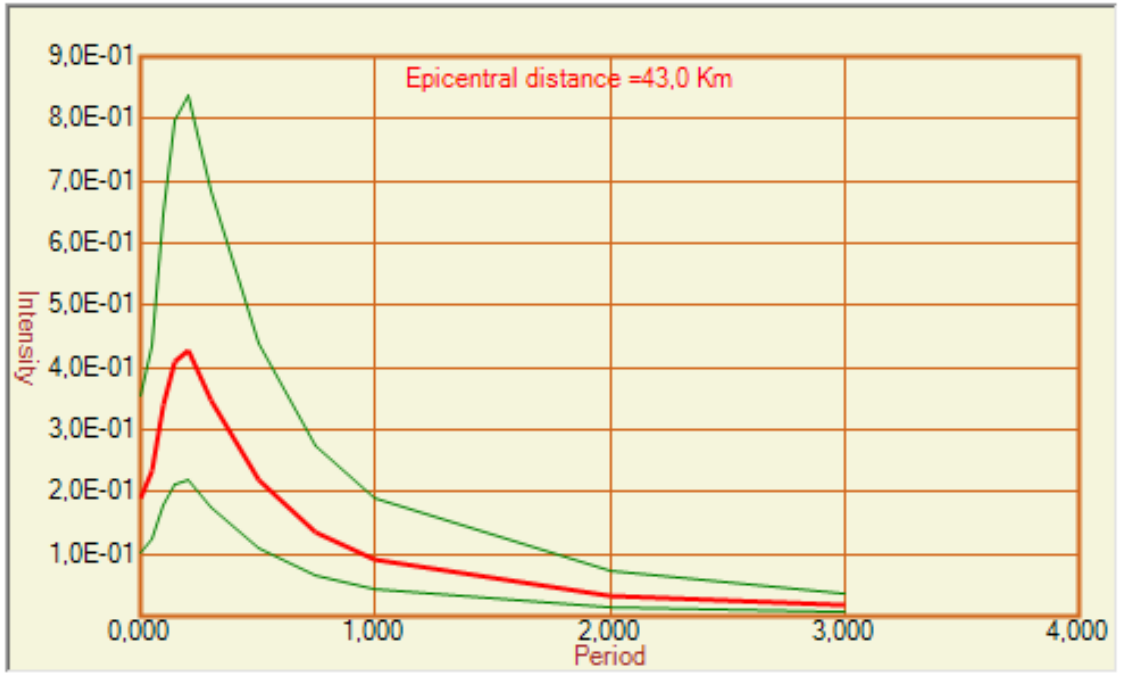
3,00E-01 , 4,03E-01

5,00E-01 , 2,48E-01

7,50E-01 , 1,53E-01

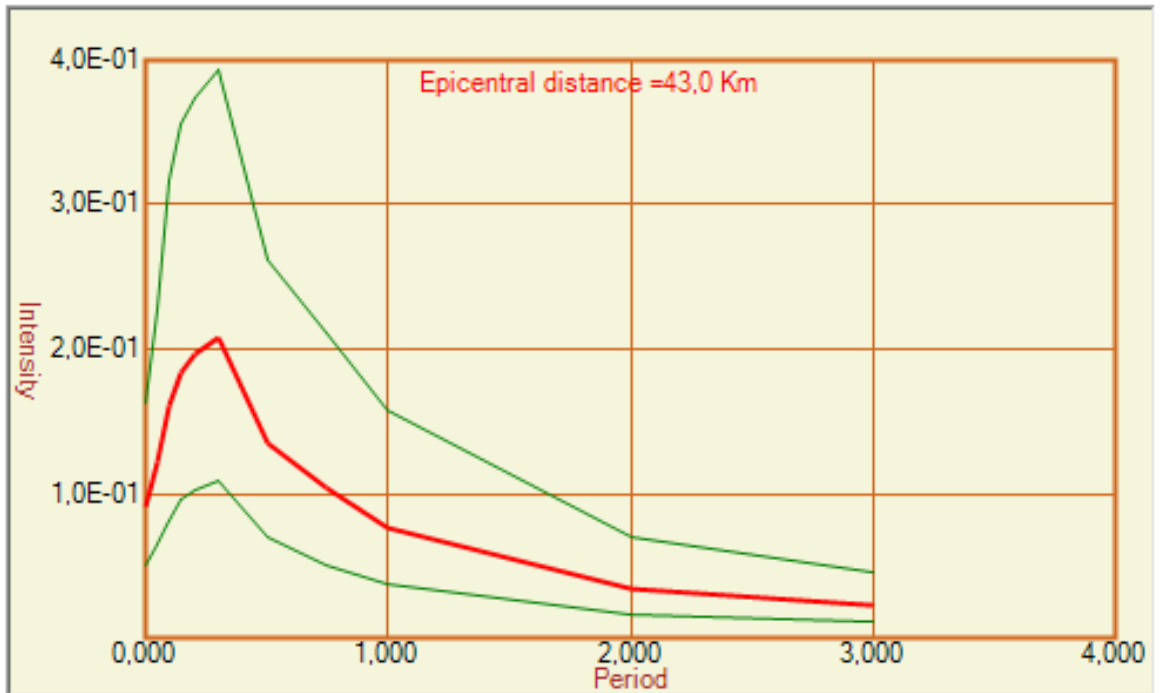
1,00E+00 , 1,04E-01

2,00E+00 , 3,83E-02



Ek-3. Tepki Spektrumları- Campbell ve Bozorgnia (2014) Azalım İlişkisi

0,00E+00 , 1,05E-01
 5,00E-02 , 1,42E-01
 1,00E-01 , 1,90E-01
 1,50E-01 , 2,18E-01
 2,00E-01 , 2,32E-01
 3,00E-01 , 2,41E-01
 5,00E-01 , 1,56E-01
 7,50E-01 , 1,19E-01
 1,00E+00 , 8,86E-02
 2,00E+00 , 3,97E-02
 3,00E+00 , 2,61E-02



Ek-3. Tepki Spektrumları- Chiou ve Youngs (2014) Azalım İlişkisi

0,00E+00 , 1,87E-01

5,00E-02 , 4,26E-01

1,00E-01 , 6,01E-01

1,50E-01 , 6,44E-01

2,00E-01 , 6,24E-01

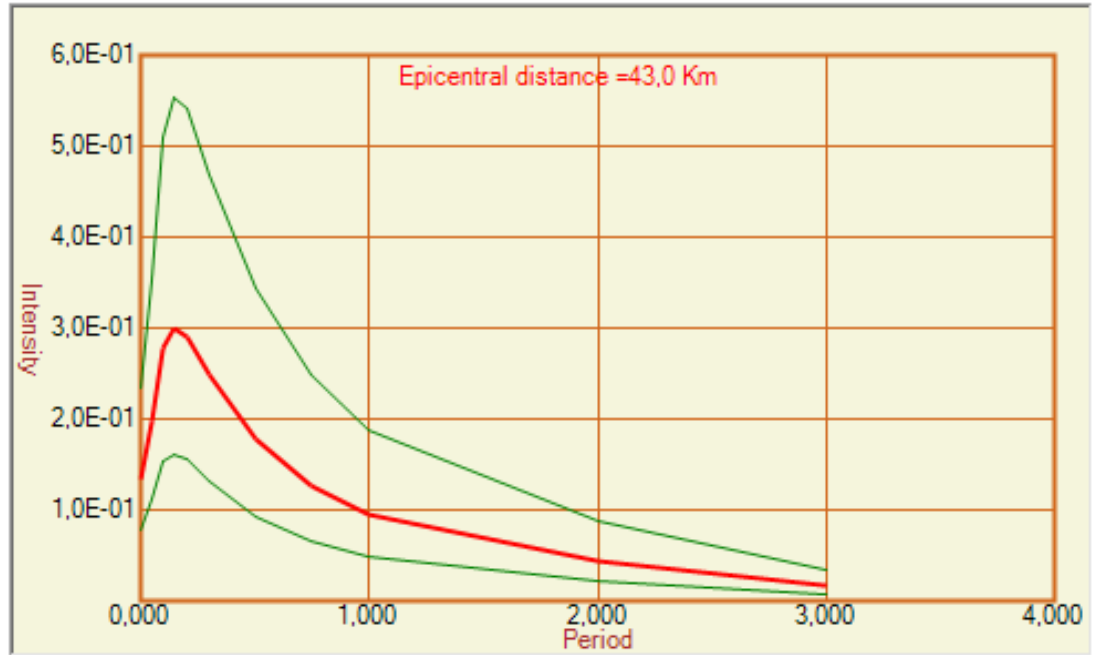
3,00E-01 , 5,29E-01

5,00E-01 , 3,79E-01

7,50E-01 , 2,68E-01

1,00E+00 , 1,99E-01

2,00E+00 , 9,18E-02



Ek-3. Tepki Spektrumları- Boore vd. (2014) Azalım İlişkisi

0,00E+00 , 3,75E-01

5,00E-02 , 5,49E-01

1,00E-01 , 7,22E-01

1,50E-01 , 8,48E-01

2,00E-01 , 8,85E-01

3,00E-01 , 5,96E-01

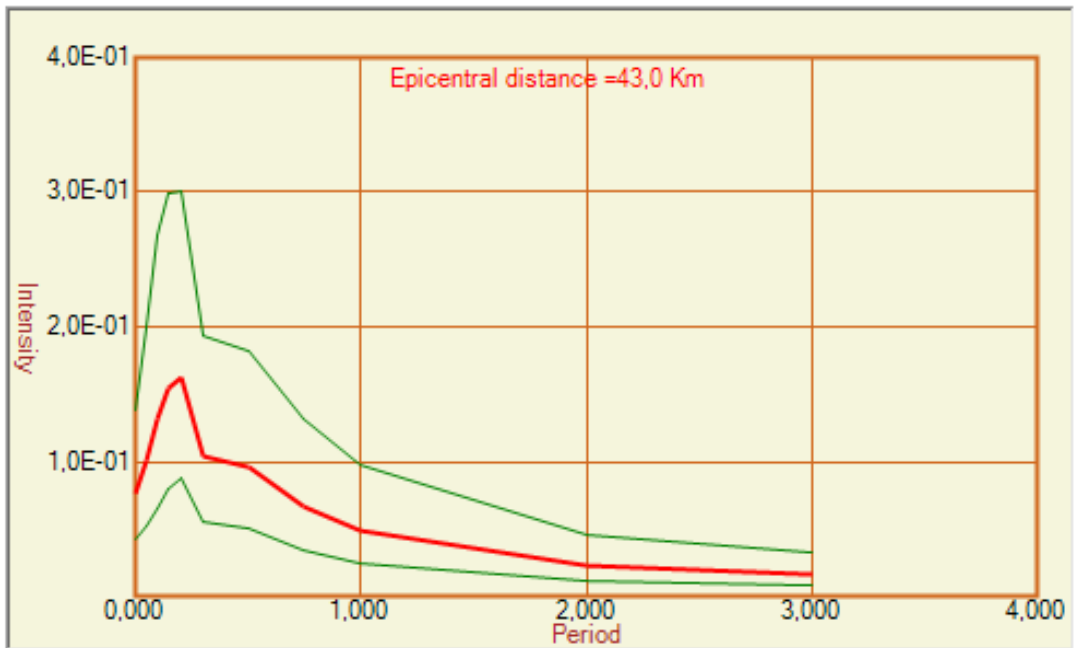
5,00E-01 , 5,55E-01

7,50E-01 , 3,94E-01

1,00E+00 , 2,95E-01

2,00E+00 , 1,25E-01

3,00E+00 , 8,36E-02



Ek-3. Tepki Spektrumları- Idriss (2008) Azalım İlişkisi

0,00E+00 , 3,05E-01

5,00E-02 , 4,23E-01

1,00E-01 , 6,61E-01

1,50E-01 , 7,96E-01

2,00E-01 , 8,18E-01

3,00E-01 , 6,14E-01

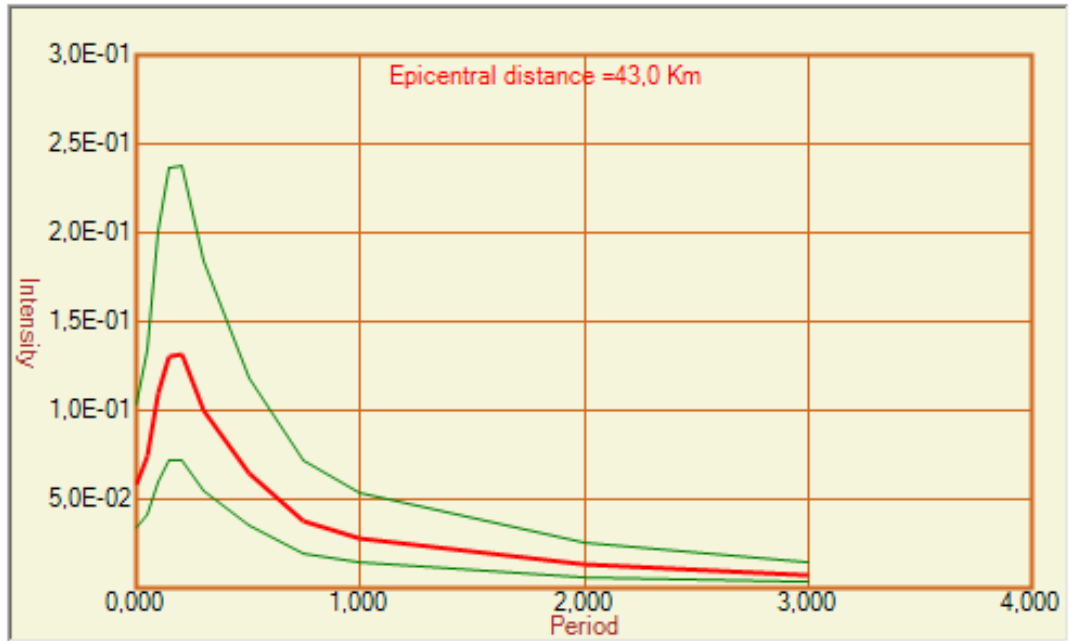
5,00E-01 , 3,74E-01

7,50E-01 , 2,10E-01

1,00E+00 , 1,49E-01

2,00E+00 , 6,83E-02

3,00E+00 , 4,05E-02



ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Sena SEVİMLİ
Uyruğu : T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi : Diyarbakır- 04.06.1995
Telefon : 0 (539) 895 57 59
Faks :
e-mail : senasevimli04@gmail.com

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	Diyarbakır Anadolu Lisesi/ Özel Eflatun Koleji Anadolu Lisesi	2013
Üniversite	Dicle Üniversitesi	2017
Yüksek Lisans	Batman Üniversitesi	

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2018	Diyarbakır Yenişehir Belediyesi	İnşaat Mühendisliği

YABANCI DİLLER: İngilizce