

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MONTE CARLO YÖNTEMİ İLE KOCAELİ İLİ VE ÇEVRESİ
İÇİN OLASILIKSAL DEPREM TEHLİKE ANALİZİ

METHİYE GÜNDOĞDU GÖK
YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
DEPREM VE YAPI MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI

GEBZE

2020

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MONTE CARLO YÖNTEMİ İLE
KOCAELİ İLİ VE ÇEVRESİ İÇİN
OLASILIKSAL DEPREM TEHLİKE
ANALİZİ

METHİYE GÜNDOĞDU GÖK
YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
DEPREM VE YAPI MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI

DANIŞMANI
DR. ÖĞR. ÜYESİ A.CAN ZÜLFİKAR
II. DANIŞMANI
DR. MİNE B. DEMİRCİOĞLU TÜMSA

GEBZE

2020

T.R.
GEBZE TECHNICAL UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

PROBABLISTIC SEISMIC HAZARD ANALYSIS
FOR KOCAELI CITY AND SURROUND WITH
MONTE CARLO METHOD

METHİYE GÜNDOĞDU GÖK
A THESIS SUBMITTED FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
EARTHQUAKE AND STRUCTURAL ENGINEERING PROGRAMME

THESIS SUPERVISOR
ASSIST. PROF. DR. A.CAN ZÜLFİKAR
II. THESIS SUPERVISOR
DR. MİNE B. DEMİRCİOĞLU TÜMSA

GEBZE

2020



YÜKSEK LİSANS JÜRİ ONAY FORMU

GTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 05/02/2020 tarih ve 2020/08 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 11/08/2020 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Methiye GÜNDOĞDU GÖK'un tez çalışması İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı/ Deprem ve Yapı Mühendisliği Programında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI) :Dr. Öğr.Üyesi A.Can ZÜLFİKAR

ÜYE

: Prof. Dr. Yasin FAHJAN

ÜYE

: Dr.Öğr.Üyesi Saed MOGHİMİ

ONAY

Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
...../...../..... tarih ve/..... sayılı kararı.

İMZA/MÜHÜR

ÖZET

Deprem de insan hayatını fazlasıyla etkileyen doğal afetlerden biridir. Deprem tehlikesi can kaybı ve hasarlar meydana getirebilecek büyüklükteki depremlerin oluşturduğu yer hareketlerinin sınırlı bir bölgede ve sınırlı bir zaman dilimi içinde oluşma ihtimali olarak açıklanabilir. Meydana gelecek depremlerin yeri, büyüklüğü, zamanı ve diğer başka özellikleri bilinmezlik içinde olduğundan, deprem tehlikesinin belirlenmesi olasılık hesaplarına istinat eden tahmin ve kararlar önemli vasıtalarlardır. Jeolojik bilgiler, güncel diri fay bilgisi ve geoteknik bilgiler ile son zamanlarda hızla gelişen yeni yöntemleriyle deprem tehlikesinin değerlendirilmesine ve analizine oldukça katkı sağlamaktadır.

Marmara bölgesi yüksek deprem tehlike ve riski taşıması ve aktif fayları içermesinden dolayı oldukça önemli bir bölgedir. Özellikle bölgede bulunan Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) oluşan depremsellikte temel rol oynamaktadır. KAFZ’nda 1939-1999 yılları arasında meydana gelen depremler nedeniyle fayın 900 km boyunca kırıldığı tespit edilmiştir. KAFZ’nun doğudan batıya doğru göç etmesi ile 1967 Mudurnu depreminden sonra meydana gelen 1999 Kocaeli ve Düzce depremleri meydana gelmiştir. 17 Ağustos 1999 Kocaeli depremi Gölcük merkezli olmak üzere 40.70 enlem ile 29.91 boylamında derinliği 15.9 km, yerel saat 03.02’de $M_w=7.6$ büyüklüğünde ve maksimum şiddeti X (MSK) olan oldukça yıkıcı bir deprem olduğu İçişleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD) [Web 1,2020] tarafından belirlenmiştir. Bu depremin etkisi sadece Marmara da hissedilmemiş aynı zamanda İç Anadolu, Ege bölgelerinde dahi hissedilmiştir. Bu da bölgenin deprem tehlikesini ortaya koymaktadır.

Bu çalışmada 1999 Kocaeli deprem verileri kullanılarak deprem tehlike analiz yöntemlerinden olan Monte Carlo (MC) simülasyonu ile olasılıksal deprem tehlike analizi yapılması hedeflenmiştir. MC yönteminde üretilen veri seti sayısı fazla olduğundan belirsizliğin azaltılmasına katkı sağlar. Çalışma için OpenQuake analiz programı kullanılacaktır. Bu çalışmanın sonunda Kocaeli başta olmak üzere Doğu Marmara Bölgesinin deprem tehlikesi belirlenmiş olacaktır.

Anahtar Kelimeler: Deprem Tehlike, Kocaeli, Monte Carlo Simülasyonu, OpenQuake, PSHA, Olasılıksal Deprem Tehlikesi.

SUMMARY

Earthquake is one of the natural disasters that affect human life very much. Earthquake hazard can be explained as the probability of ground motions caused by earthquakes that can cause loss of life and damage in a limited area and within a investigation time. Since the location, magnitude, time and other characteristics of earthquakes are unknown, the estimations and decisions that rely on the probability calculations to determine earthquake hazard are important instruments. Geological information, current active faults information and geotechnical information, and recently developed new methods to contribute to the assessment and analysis of earthquake hazard.

Marmara region is a very important region due to its high earthquake hazard and risk and active faults. Especially the North Anatolian Fault Zone (NAFZ) in the region plays a major role in the seismicity. It was found that the fault was broken for 900 km due to earthquakes in NAFZ between 1939-1999. The 1999 Kocaeli and Düzce earthquakes occurred after the Mudurnu earthquake of 1967 with the migration of KAFZ from east to west. The earthquake of August 17, 1999 in Kocaeli was determined by the Earthquake Research Department as a highly destructive earthquake with a depth of 15.9 km and local time 03.02 with a magnitude of $M_w = 7.4$ and a maximum intensity of X (MSK). The impact of this earthquake was not only felt in Marmara but also in Central Anatolia and Aegean regions. This reveals the earthquake hazard of the region.

In this study, it is aimed to conduct probabilistic earthquake hazard analysis by using Monte Carlo (MC) simulation which is one of earthquake hazard analysis methods using 1999 Kocaeli earthquake data. Since the number of data sets produced in the MC method is high, it contributes to reducing the uncertainty. OpenQuake analysis program will be used for the study. At the end of this study, earthquake hazard of East Marmara Region, especially Kocaeli, will be determined.

Key Words: Seismic Hazard, Kocaeli, Monte Carlo, OpenQuake, Probabilistic Seismic Hazard.

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının yürütülmesi sırasında hiçbir desteğini esirgemeyen, fikirlerinden ve insaniyetinde de çok şey öğrendiğim, beni her zaman çalışmaya teşvik eden ve güven veren değerli hocam Dr.Öğr.Üyesi A.Can Zülfikar'a, katkılarında dolayı eş danışmanım Dr.Mine B. Demircioğlu Tümsa'ya, değerlendirmeleri ile katkıda bulunan jüri üyelerim Prof.Dr.Yasin Fahjan ve Dr.Öğr.Üyesi Saed Moghimi'ye, haritalama kısmında yol gösteren Dr.Senem Tekin'e çok teşekkür ederim.

Çalışmamın ve hayatımın her aşamasında yanımda olan ve maddi ve manevi desteğini esirgemeyen canım annem Mülkiye Gündoğdu ve canım babam Mehmet Selim Gündoğdu'ya, her durum ve koşulda destekçim, çalışmaya beni her daim oldukça teşvik eden, yorulduğumda beni motive eden, bu tez çalışma sırasında manevi yardımıyla çok büyük katkı sağlayan hayat ortağım, sevgili eşim Necip Gök'e çok teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	v
SUMMARY	vi
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	viii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ	xiii
TABLolar DİZİNİ	xxi
1. GİRİŞ	1
1.1. Tezin Amacı ve Kullanılan Yöntemler	2
2. LİTERATÜR TARAMASI VE ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	4
2.1. Türkiye'nin Dahil Olduğu Ulusal ve Uluslararası Projeler	9
2.1.1. Global Seismic Hazard Project (GSHAP)	9
2.1.2. Unified Hazard Model for the European- Mediterranean Region (SESAME)	9
2.1.3. Turkey Emergency Flood and Eartquake Recovery Project (TEFER)	10
2.1.4. DLH Projesi	10
2.1.5. Seismic Hazard Harmonization in Europe (SHARE)	11
2.1.6. Earthquake Model of Middle East (EMME)	15
2.1.7. Turkish Seismic Hazard Map (T-SHM)	17
3. BÖLGENİN TEKTONİĞİ VE DEPREMSELLİĞİ	22
3.1. Marmara Bölgesinin Tektonik Yapısı	22
3.1.1. Kocaeli Bölgesinin Tektonik Yapısı	27
3.2. Bölgenin Depremselliği	28
3.2.1. KAFZ'nun Ana Segmentlerindeki Deprem Oluş Yapısı	31
3.2.2. KAFZ'da Faylanma Mekanizmaları ve Hakim Gerilme Eksenlerinin Dağılımı	32
3.2.3. 17 Ağustos 1999 Kocaeli Depremi	34
3.2.3.1. 17 Ağustos 1999 depremi yüzey kırıkları	36

3.3. Tarihsel Depremler	37
3.4. Aletsel Depremler	40
4. DEPREM TEHLİKE ANALİZİ GİRDİLERİ	41
4.1. Deprem Kataloğu	41
4.1.1. Homojen Deprem Kataloğu	41
4.1.1.1. EMME homojen deprem kataloğu	41
4.1.1.2. SHARE homojen deprem kataloğu	44
4.2. Ayırıştırma Analizi (Declustering Analysis)	48
4.3. Tamamlılık Analizi (Completeness Analysis)	53
4.4. Depremsellik Dağılımını Modellemek İçin Kaynak Tipolojilerinin Tanımı	56
4.4.1. Kaynak Geometrisi	56
4.4.1.1. Nokta kaynak (point source)	57
4.4.1.1.1. Nokta kaynak verileri (point source data)	58
4.4.1.2. Grid kaynak (grid source)	59
4.4.1.3. Alan kaynak (area source)	60
4.4.1.3.1. Alan kaynak verileri (area source data)	61
4.4.1.4. Basit çizgi kaynak (simple faults)	63
4.4.1.4.1. Çizgi kaynak verileri (fault source data)	63
4.4.1.5. Kompleks fay kaynak (complex faults)	65
4.4.1.6. Karakteristik fay (characteristic faults)	67
4.4.1.6.1. Karakteristik fay verisi (source data)	68
4.4.1.7. Parametrik olmayan fay (non-parametric fault)	69
4.4.2. EMME Sismik Kaynak	69
4.4.3. SHARE Sismik Kaynak	70
4.5. Magnitüd Dağılımı ve Tekerrür Modelleri	73
4.6. Aktivite Oranı ve Tekerrür İlişkileri	78
4.7. Maksimum Magnitüd (M_{max})	80
4.8. Yer Hareketi Tahmin Denklemleri	86
4.8.1. NGA-West2 Yer Hareketi Tahmin Denklemleri	86
4.8.1.1. Abrahamson vd., 2014 (ASK14) modeli	88
4.8.1.2. Boore vd., 2014 (BSSA14) modeli	89
4.8.1.3. Campbell ve Bozorgnia, 2014 (CB14) modeli	89

4.8.1.4. Chiou ve Youngs, 2014 (CY14) modeli	90
4.8.2. EMME Yer Hareketi Tahmin Denklemleri	90
4.8.3. SHARE Yer Hareketi Tahmin Denklemleri	93
4.9. Aleatory Variability (Rassal Çeşitlilik) ve Epistemic Uncertainty (Bilgisel Belirsizlik)	95
4.10. Mantık Ağacı Uygulaması	97
4.11. Analiz İçin Kullanılacak Yazılımlar	99
4.11.1. OpenQuake Yazılımı	99
4.11.2. CRISIS 2015	101
5. DEPREM TEHLİKE ANALİZİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ VE ANALİZ SONUÇLARI	103
5.1. Klasik Olasılık Hesabına Göre Deprem Tehlike Analizi (ODTA) Metodolojisi	103
5.1.1. Poisson Modeli	106
5.1.2. Klasik Olasılıksal Deprem Tehlike Analizinin Sonuçları	107
5.1.3. Klasik Göre Olasılıksal Deprem Tehlike Analizinin Tehlike Haritaları	121
5.2. Senaryo Bazlı Deprem Tehlike Analizi (SBDTA) Metodolojisi	128
5.2.1. Senaryo Bazlı Deprem Tehlikesinin Analiz Sonuçları	129
5.3. Monte Carlo Yöntemine Göre Olasılıksal Deprem Tehlike Analizi Metodolojisi	132
5.3.1. Monte Carlo Yöntemine Göre Olasılıksal Deprem Tehlike Analizinin Sonuçları	137
5.3.2. Monte Carlo Yöntemine Göre Olasılıksal Deprem Tehlike Analizinin Tehlike Haritaları	141
6. ÖZET VE SONUÇLAR	149
KAYNAKLAR	159
ÖZGEÇMİŞ	169

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler ve</u>	<u>Açıklamalar</u>
<u>Kısaltmalar</u>	
I_0	: Dışmerkez Yoğunluğu
k_n	: Birim Zamana Denk Gelen Deprem Sayısı
M_b	: Cisim Dalga Magnitüdü
M_c	: Magnitüd Tamamlılığı
M_d	: Süre Magnitüdü
M_L	: Yerel Magnitüd
M_s	: Yüzey Dalgası Magnitüdü
V_{s30}	: Zemin Yüzünden 30 m Derinlikteki Kayma Dalga Hızı
$Z_{1.0}$	: Sediment Kalınlık Skalası
Z_{TOR}	: Yarılmanın Üst Derinlik Skalası
σ_λ	: Standart Sapma
AFAD	: TC.İçişleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum Yönetim Başkanlığı
AHEAD	: European Archive of Historical Earthquake Data
APD	: Apennines,Nort-Eastern Alps and Dinarides
AS	: Area Source
BAS	: Broad Aegean Shallow
BET	: Betic
DBB	: Dalma Batma Bölgeleri
DLH	: Kıyı ve Liman Yapıları, Demiryolları, Hava Meydanları İnşaatlarına İlişkin Deprem Teknik Yönetmeliği, 2008
EMEC	: European-Miterranean Earthquake Catalogue
EMME	: Earthquake Model of Middle East
FSBG	: Fault and Background Seismicity
GB	: Güney-Batı
GEM	: Global Earthquake Model
GK	: Gardner ve Knopoff
GSHAP	: Global Seismic Hazard Project
HW	: Hanging Wall
In-slab	: Dalma Levha İçi

ISC	:	Internatioanal Seismological Center
KAFZ	:	Kuzey Anadolu Fay Zonu
KD	:	Kuzey-Doğu
KOERİ	:	Kandilli Rasathanesi Deprem Araştırma Enstitüsü
MC	:	Monte Carlo
MSK	:	Medvedev-Sponheuer-Karnik Skalası
MTA	:	Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü
Mw	:	Moment Magnitüdü
NEIC	:	National Eartquake Information Center
NGA	:	Next Generation Attenouation
NOAA	:	National Oceanic and Atmospheric Ahministration
ODTA	:	Olasılıksal Deprem Tehlike Analizi
OQ	:	OpenQuake
PEER	:	The Pasific Earthquake Engineering Research Center
PGA	:	Maksimum Yer İvmesi
PSA	:	Sözde Spektral İvme
RV	:	Reverse (Ters)
Sa	:	Spektral İvme
SBDTA	:	Senaryo Bazlı Deprem Tehlike Analizi
SEIFA	:	Kernel Smoothed Seismicity
SES	:	Stokastik Olay Seti
SESAME	:	Unified Hazard Model for the European- Mediterranean Region
SCR	:	Stable Continental Region
SHARE	:	Seismic Hazard Harmonization in Europe
SHEEC	:	SHARE Avrupa Deprem Kataloğu
SS	:	Strike Slip (Doğrultu Atım)
T	:	Zaman Aralığı
TEFER	:	Turkey Emergency Flood and Eartquake Recovery Project
T-SHM	:	Turkish Seismic Hazard Map
TT	:	Türk Telekom
WAP	:	Western Alps and Pyrenees
YHTD	:	Yer hareketi Tahmin Denklemleri

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil No:</u>	<u>Sayfa</u>
1.1: 1881 – 1998 yılları arasında oluşmuş depremlerin episantr dağılımı.	2
1.2: Kocaeli-İzmit merkezi alınarak belirlenmiş olan çalışma alanı.	3
2.1: Gayri resmî olarak Sieberg (1932) tarafından Türkiye için oluşturulmuş olan deprem tehlike haritası.	4
2.2: 1945 yılındaki deprem tehlike haritası.	5
2.3: 1963 yılındaki deprem bölge haritası.	6
2.4: 1972 de beş bölgeye ayrılmış olan deprem bölge haritası.	6
2.5: 1996 deprem bölge haritası.	7
2.6: 500 yıllık dönüş periyoduna ve kaya zemine denk gelen PGA için kontör haritası.	8
2.7: GSHAP (1999) proje kapsamında Türkiye için oluşturulan tehlike haritası.	9
2.8: TEFER (2000) proje kapsamında Türkiye için oluşturulan tehlike haritası.	10
2.9: DLH (2007) proje kapsamında Türkiye için oluşturulan tehlike haritası.	11
2.10: Kaynakların dönüş periyotlarına göre oluşturulmuş olan mantık ağacı.	13
2.11: SHARE projesinin çalışma alanı ve sonucunda çıkan tehlike haritası.	14
2.12: SHARE projesinde Türkiye' deprem tehlike haritası.	14
2.13: EMME kaynak modelleri. a) alan kaynak, b) ise çizgi kaynak modelini göstermektedir.	16
2.14: EMME de kullanılan kaynakların özet şekli.	16
2.15: EMME projesinde 475 yıllık dönüşüm periyoduna tekabül eden PGA değerini gösteren tehlike haritası.	17
2.16: T-SHM projesinde kullanılan deprem katalogları a) aletsel deprem, b) tarihsel deprem kataloğunu göstermektedir.	18
2.17: Alan kaynak model. a) sığ sismisite (shallow seismicity) için, b) dalma-batma arayüzü (subduction interface) için, c) dalma-batma dalma levha içi (subduction in-slab) için.	19
2.18: T-SHM projesindeki çizgi kaynaklar.	20

2.19:	475 yıllık dönüşüm periyodu için güncellenmiş Türkiye deprem tehlike haritası.	21
3.1:	Anadolu ve çevresinin levha tektoniği modeli.	23
3.2:	Marmara Bölgesi'ndeki fayları gösteren tektonik harita.	24
3.3:	İstanbul' doğru yönelen depremlerin Kuzey Anadolu Fay (KAF) sistemi üzerinde yerleri ve yüzey kırıkları.	25
3.4:	Marmara bölgesinde farklı kişilerce yapılmış paleosismolojik çalışmaların sonuçlarından alınan büyük deprem ve son 300 yılda oluşmuş depremlerin olası ve gözlemlenen kırılma uzanımlarını belirtildiği harita.	25
3.5:	GPS hız ve vektörleri kullanılarak KAF 'ın 3.7 milyon yıl önceki konumu ve Trakya-Eskişehir Fayı'nın konumu.	26
3.6:	Kuzey Ege ve Marmara Denizi' inin aktif fayları ve bu faylarda meydana gelen sarsıntılara ait fay çözümleri.	26
3.7:	250.000 ölçekli Kocaeli ve civarındaki diri fay haritası.	27
3.8:	a) 1939 Depreminden sonra büyük depremlerin batıya göçü ve b) Batıya göç eden depremlerin atımlarının dağılımı.	29
3.9:	MTA aktif fay haritasından KAFZ' nun Batıya Uzantısı.	30
3.1:	17 Ağustos 1999-31 Aralık 2000 tarihleri arası Marmara Bölgesi Deprem Etkinliği.	31
3.11:	Depremleri artçışoklarının dağılımı.	31
3.12:	Türkiye depremlerinde oluş düzenini gösteren örnekler.	32
3.13:	KAFZ Boyunca Maksimum gerime eksenlerinin (T) dağılımı ve faylanma mekanizmalarının ve doğrultularının değişimi.	33
3.14:	Marmara bölgesinde faylanma mekanizmalarının dağılımı.	34
3.15:	Kocaeli Körfezi Depremi eş şiddet haritası.	34
3.16:	1943, 1957, 1964, 1967 ve 1999 depremlerin oluşturduğu yüzey kırıkları ve gerilmeyi karşılayan fay segmenteleri.	37
3.17:	Çalışma bölgesinde 1000-1899 yılları arasında meydana gelmiş tarihi depremlerin bölgesel dağılımı.	39
3.18:	Çalışma bölgesinde 1000-1899 yılları arasında meydana gelmiş tarihi depremlerin magnitüd dağılımı.	40
4.1:	EMME projesinde 28,244 deprem içeren homojen katalog.	43

4.2:	SHARE 1000-1899 yıllarına meydana gelen tarihi depremler.	44
4.3:	SHARE proje kapsamında 1000-1899 yılları arasında Türkiye'nin doğusunda ve orta kısmında meydana gelen tarihi depremler.	46
4.4:	SHARE, EMEC ve daha sonra genişletilen SHARE katalog alanın karşılaştırılması.	47
4.5:	1900-2006 yılları arasında SHARE projesi için hazırlanan katalog.	47
4.6:	SHARE projesi kapsamında 1900-2006 yılları arasında Türkiye'nin orta ve batısında meydana gelen aletsel depremler.	48
4.7:	Farklı ilişkiler için magnitüdün zaman ve uzaklığa göre değişimi. a) Uzaklık-Magnitüd ilişkisi, b) Zaman -Magnitüd ilişkisi.	51
4.8:	EMME kataloğunda, her bir algoritma için ayrıştırma analizinde sıklık-magnitüd ilişki grafiği; a) Gardner and Knopoff metodu, b) Grunthal metodu, c) Reseanberg metodu ve d) Uhrhammer metodu.	52
4.9:	Orta Doğu da M.Ö 1220 ile 2006 arasında $M_w \geq 5.0$ için deprem kataloğu.	56
4.10:	Tek bir yarılmalı nokta kaynak örneği.	58
4.11:	Tek merkezde toplanmış faklı yarılmaların olduğu nokta kaynak örneği.	59
4.12:	Nokta kaynakta muhtemel 2 düğüm düzlemi (nodal planes) ve iki içmerkez derinliği olan yarılma olayı örneği.	59
4.13:	Alan kaynak içindeki yarılma gridleri.	61
4.14:	Bir fay ağının çizimi.	64
4.15:	Faydaki bir deprem yarığı örneği.	65
4.16:	Fayda olan tüm deprem yarıkları.	65
4.17:	Kompleks fay.	66
4.18:	Kompleks fay örneği.	66
4.19:	Karakteristik fay örneği.	68
4.20:	Bu tez çalışma alanı içinde kalan ve analizlerde kullanılan EMME'nin aktif fayları.	70
4.21:	SHARE kaynak çalışması için kullanılan kaynak tipoloji örnekleri.	71
4.22:	a) Fay kaynakları ve arka plan model için yıllık deprem oranı ve b) maksimum kayma hızı (mm/yr) içeren fay kaynakları.	72
4.23:	Çalışma alanı içinde kalan ve analizde kullanılan SHARE aktif fay kaynakları.	73

4.24:	Olasılıksal tehlike analizinde kullanılan magnitüd dağılım fonksiyonları.	74
4.25:	a ve b deprem parametrelerin anlamını gösteren G-R yasası.	75
4.26:	$m_0 = 4$ ve $m_{max} = 6, 7$ ve 8 için, a) sabit depremsellik oranına göre ve b) sabit sismik moment oranına göre G-R tekrarlanma yasası.	77
4.27:	EMME projesinde kullanılan aktif fayların M_{max} dağılımları.	81
4.28:	EMME bölgelerinde aktif sığ deprem tektoniği için aday YHTD'lerinin testinde kullanılan veriler.	92
4.29:	Tez kapsamında da kullanılan ve EMME projesinde aktif sığ tektonik bölgeler için belirlenen YHTD'leri ve ağırlıkları.	93
4.30:	Tez kapsamında da kullanılan ve SHARE projesinde aktif sığ tektonik bölgeler için belirlenen YHTD'leri ve ağırlıkları.	95
4.31:	SHARE projesi kapsamında oluşturan mantık ağacı uygulaması.	98
4.32:	OQ yazılımın üç ana bileşenin çalışma akış şeması.	100
5.1:	Olasılıksal deprem tehlike analizinin özeti.	104
5.2:	EMME kaynakları ve analizi yapılan sekiz lokasyon.	108
5.3:	SHARE kaynakları ve analizi yapılan sekiz lokasyon.	108
5.4:	Klasik olasılıksal analizde EMME verileri kullanılarak sekiz lokasyonun PGA(g) ve mean değeri için çizilmiş olan tehlike eğrisi.	109
5.5:	Klasik olasılıksal analizde EMME verileri kullanılarak sekiz lokasyonun $S_a(T=0.2 \text{ sn})$ ve mean değeri için çizilmiş olan tehlike eğrisi.	110
5.6:	Klasik olasılıksal analizde EMME verileri kullanılarak sekiz lokasyonun $S_a(T=10 \text{ sn})$ ve mean değeri için çizilmiş olan tehlike eğrisi.	110
5.7:	Klasik olasılıksal analizde SHARE verileri kullanılarak sekiz lokasyonun PGA(g) ve mean değeri için çizilmiş olan tehlike eğrisi.	111
5.8:	Klasik olasılıksal analizde SHARE verileri kullanılarak sekiz lokasyonun $S_a(T=0.2 \text{ sn})$ ve mean değeri için çizilmiş olan tehlike eğrisi.	111
5.9:	Klasik olasılıksal analizde SHARE verileri kullanılarak sekiz lokasyonun $S_a(T=1.0 \text{ sn})$ ve mean değeri için çizilmiş olan tehlike eğrisi.	112
5.10:	EMME verileri ve PGA yer hareketi için Gemlik ayrıştırma grafiği.	113
5.11:	EMME verileri ve PGA yer hareketi için Gebze ayrıştırma grafiği.	113
5.12:	EMME verileri ve PGA yer hareketi için İzmit ayrıştırma grafiği.	114
5.13:	EMME verileri ve PGA yer hareketi için Gölcük ayrıştırma grafiği.	114
5.14:	EMME verileri ve PGA yer hareketi için İzmit ayrıştırma grafiği.	115

5.15:	EMME verileri ve PGA yer hareketi için Sapanca ayrıştırma grafiği.	115
5.16:	EMME verileri ve PGA yer hareketi için Adapazarı ayrıştırma grafiği.	116
5.17:	EMME verileri ve PGA yer hareketi için Düzce ayrıştırma grafiği.	116
5.18:	SHARE verileri ve PGA yer hareketi için Gemlik ayrıştırma grafiği.	117
5.19:	SHARE verileri ve PGA yer hareketi için Gebze ayrıştırma grafiği.	117
5.20:	SHARE verileri ve PGA yer hareketi için İzmit ayrıştırma grafiği.	118
5.21:	SHARE verileri ve PGA yer hareketi için Gölçük ayrıştırma grafiği.	118
5.22:	SHARE verileri ve PGA yer hareketi için İzmit ayrıştırma grafiği.	119
5.23:	SHARE verileri ve PGA yer hareketi için Sapanca ayrıştırma grafiği.	119
5.24:	SHARE verileri ve PGA yer hareketi için Adapazarı ayrıştırma grafiği.	120
5.25:	SHARE verileri ve PGA yer hareketi için Düzce ayrıştırma grafiği.	120
5.26:	Klasik yöntem ile EMME verileri kullanılarak oluşturulan olasılıksal deprem tehlike haritasının 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan tehlike seviyesinin PGA (g) değerleri.	122
5.27:	Klasik yöntem ile EMME verileri kullanılarak oluşturulan olasılıksal deprem tehlike haritasının 50 yılda aşılma olasılığı %2 olan tehlike seviyesinin PGA(g) değerleri.	122
5.28:	Klasik yöntem ile EMME verileri kullanılarak oluşturulan olasılıksal deprem tehlike haritasının 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan tehlike seviyesinin $S_a(0.2)$ (g) değerleri.	123
5.29:	Klasik yöntem ile EMME verileri kullanılarak oluşturulan olasılıksal deprem tehlike haritasının 50 yılda aşılma olasılığı %2 olan tehlike seviyesinin $S_a(0.2)$ (g) değerleri.	123
5.30:	Klasik yöntem ile EMME verileri kullanılarak oluşturulan olasılıksal deprem tehlike haritasının 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan tehlike seviyesinin $S_a(1.0)$ (g) değerleri.	124
5.31:	Klasik yöntem ile EMME verileri kullanılarak oluşturulan olasılıksal deprem tehlike haritasının 50 yılda aşılma olasılığı %2 olan tehlike seviyesinin $S_a(1.0)$ (g) değerleri.	124
5.32:	Klasik yöntem ile SHARE verileri kullanılarak oluşturulan olasılıksal deprem tehlike haritasının 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan tehlike seviyesinin PGA(g) değerleri.	125

5.33:	Klasik yöntem ile SHARE verileri kullanılarak oluşturulan olasılıksal deprem tehlike haritasının 50 yılda aşılma olasılığı %2 olan tehlike seviyesinin PGA(g) değerleri.	125
5.34:	Klasik yöntem ile SHARE verileri kullanılarak oluşturulan olasılıksal deprem tehlike haritasının 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan tehlike seviyesinin Sa(0.2) (g) değerleri.	126
5.35:	Klasik yöntem ile SHARE verileri kullanılarak oluşturulan olasılıksal deprem tehlike haritasının 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan tehlike seviyesinin Sa(0.2) (g) değerleri.	126
5.36:	Klasik yöntem ile SHARE verileri kullanılarak oluşturulan olasılıksal deprem tehlike haritasının 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan tehlike seviyesinin Sa(1.0) (g) değerleri.	127
5.37:	Klasik yöntem ile SHARE verileri kullanılarak oluşturulan olasılıksal deprem tehlike haritasının 50 yılda aşılma olasılığı %2 olan tehlike seviyesinin Sa(1.0) (g) değerleri.	127
5.38:	Senaryo bazlı deprem tehlike analizinin işlem adımları.	129
5.39:	Deprem tehlikesinde Monte Carlo simülasyonun gösterimi.	134
5.40:	OpenQuake programında yapılan üç deprem tehlike analizi için hazırlanmış olan özet şema.	137
5.41:	Monte Carlo yöntemine göre EMME verileri sekiz lokasyonun PGA (g) ve mean değeri için çizilmiş olan tehlike eğrisi.	138
5.42:	Monte Carlo yöntemine göre EMME verileri kullanılarak sekiz lokasyonun Sa(0.2) (g) ve mean değeri için çizilmiş olan tehlike eğrisi.	138
5.43:	Monte Carlo yöntemine göre EMME verileri sekiz lokasyonun Sa(1.0)(g) ve mean değeri için çizilmiş olan tehlike eğrisi.	139
5.44:	Monte Carlo yöntemine göre SHARE verileri kullanılarak sekiz lokasyonun PGA (g) ve mean değeri için çizilmiş olan tehlike eğrisi.	140
5.45:	Monte Carlo yöntemine göre SHARE verileri kullanılarak sekiz lokasyonun Sa(0.2) (g) ve mean değeri için çizilmiş olan tehlike eğrisi.	140
5.46:	Monte Carlo yöntemine göre SHARE verileri sekiz lokasyonun Sa(1.0)(g) ve mean değeri için çizilmiş olan tehlike eğrisi.	141

- 5.47: Monte Carlo yöntemiyle EMME verileri kullanılarak oluşturulan olasılıksal deprem tehlike haritasının 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan tehlike seviyesinin PGA (g) değerleri. 143
- 5.48: Monte Carlo yöntemiyle EMME verileri kullanılarak oluşturulan olasılıksal deprem tehlike haritasının 50 yılda aşılma olasılığı %2 olan tehlike seviyesinin PGA (g) değerleri. 143
- 5.49: Monte Carlo yöntemiyle EMME verileri kullanılarak oluşturulan olasılıksal deprem tehlike haritasının 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan tehlike seviyesinin Sa(0.2) (g) değerleri. 144
- 5.50: Monte Carlo yöntemiyle EMME verileri kullanılarak oluşturulan olasılıksal deprem tehlike haritasının 50 yılda aşılma olasılığı %2 olan tehlike seviyesinin Sa(0.2) (g) değerleri. 144
- 5.51: Monte Carlo yöntemiyle EMME verileri kullanılarak oluşturulan olasılıksal deprem tehlike haritasının 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan tehlike seviyesinin Sa(1.0) (g) değerleri. 145
- 5.52: Monte Carlo yöntemiyle EMME verileri kullanılarak oluşturulan olasılıksal deprem tehlike haritasının 50 yılda aşılma olasılığı %2 olan tehlike seviyesinin Sa(1.0) (g) değerleri. 145
- 5.53: Monte Carlo yöntemiyle SHARE verileri kullanılarak oluşturulan olasılıksal deprem tehlike haritasının 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan tehlike seviyesinin PGA (g) değerleri. 146
- 5.54: Monte Carlo yöntemiyle SHARE verileri kullanılarak oluşturulan olasılıksal deprem tehlike haritasının 50 yılda aşılma olasılığı %2 olan tehlike seviyesinin PGA (g) değerleri. 146
- 5.55: Monte Carlo yöntemiyle SHARE verileri kullanılarak oluşturulan olasılıksal deprem tehlike haritasının 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan tehlike seviyesinin Sa(0.2) (g) değerleri. 147
- 5.56: Monte Carlo yöntemiyle SHARE verileri kullanılarak oluşturulan olasılıksal deprem tehlike haritasının 50 yılda aşılma olasılığı %2 olan tehlike seviyesinin Sa(0.2) (g) değerleri. 147
- 5.57: Monte Carlo yöntemiyle SHARE verileri kullanılarak oluşturulan olasılıksal deprem tehlike haritasının 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan tehlike seviyesinin Sa(1.0) (g) değerleri. 148

5.58:	Monte Carlo yöntemiyle SHARE verileri kullanılarak oluşturulan olasılıksal deprem tehlike haritasının 50 yılda aşılma olasılığı %2 olan tehlike seviyesinin $S_a(1.0 \text{ sn})$ (g) değerleri.	148
6.1:	Kocaeli için OpenQuake ve Crisis 2015'te yapılan analizler sonucu çizilen uniform tehlike spektrumu.	152
6.2:	EMME Klasik ODTA, EMME Monte Carlo Yöntemi, SHARE Klasik ODTA, SHARE Monte Carlo Yöntemi ve TBDY 2018' de verileri ile yapılan analizler sonucu Gemlik için oluşturulan karşılaştırma spektrumu.	153
6.3:	EMME Klasik ODTA, EMME Monte Carlo Yöntemi, SHARE Klasik ODTA, SHARE Monte Carlo Yöntemi ve TBDY 2018' de verileri ile yapılan analizler sonucu Gebze için oluşturulan karşılaştırma spektrumu.	154
6.4:	EMME Klasik ODTA, EMME Monte Carlo Yöntemi, SHARE Klasik ODTA, SHARE Monte Carlo Yöntemi ve TBDY 2018' de verileri ile yapılan analizler sonucu İzmit için oluşturulan karşılaştırma spektrumu.	154
6.5:	EMME Klasik ODTA, EMME Monte Carlo Yöntemi, SHARE Klasik ODTA, SHARE Monte Carlo Yöntemi ve TBDY 2018' de verileri ile yapılan analizler sonucu Gölcük için oluşturulan karşılaştırma spektrumu.	155
6.6:	EMME Klasik ODTA, EMME Monte Carlo Yöntemi, SHARE Klasik ODTA, SHARE Monte Carlo Yöntemi ve TBDY 2018' de verileri ile yapılan analizler sonucu İzmit için oluşturulan karşılaştırma spektrumu.	156
6.7:	EMME Klasik ODTA, EMME Monte Carlo Yöntemi, SHARE Klasik ODTA, SHARE Monte Carlo Yöntemi ve TBDY 2018' de verileri ile yapılan analizler sonucu Sapanca için oluşturulan karşılaştırma spektrumu.	156
6.8:	EMME Klasik ODTA, EMME Monte Carlo Yöntemi, SHARE Klasik ODTA, SHARE Monte Carlo Yöntemi ve TBDY 2018' de verileri ile yapılan analizler sonucu Adapazarı için oluşturulan karşılaştırma spektrumu.	157
6.9:	EMME Klasik ODTA, EMME Monte Carlo Yöntemi, SHARE Klasik ODTA, SHARE Monte Carlo Yöntemi ve TBDY 2018' de verileri ile yapılan analizler sonucu Düzce için oluşturulan karşılaştırma spektrumu.	158

TABLolar DİZİNİ

<u>Tablo No:</u>	<u>Sayfa</u>
2.1: T-SHM için bölgelere göre kullanılan azalım ilişkileri ve ağırlık değerleri.	20
3.1: 1939 Erzincan Depremi sonrasında KAFZ'da meydana gelen büyük depremler (1939-2010).	28
3.2: Farklı kurumlar tarafından belirlenen 17/08/1999 Kocaeli depremi büyüklüğü.	35
3.3: Kocaeli depreminden sonra yaşanan can kayıpları ve yaralı sayıları.	36
3.4: Kocaeli depremi sonrasında TC. İçişleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum Yönetim Başkanlığından alınan bilgilerle meydana gelen yapı.	36
4.1: EMMİ projesinde kullanılan katalog ile ilgili toplanan verilerin listesi.	42
4.2: Homojen katalog elde etmek için Mb, Ms, ML magnitüdlerinin Mw'ye dönüşmek için kullanılan formüller.	43
4.3: SHARE projesi kapsamında bölgesel özellikler dikkate alınarak moment magnitüdüne dönüşüm formülleri.	45
4.4: Reasenberg algoritmasında (1985) varsayılan parametreler	49
4.5: Gardner and Knopoff (1974), Gruenthal ve Uhrhammer (1986) tarafından uzaklık ve zaman pencerelerinin yaklaşım formülleri.	50
4.6: EMMİ katalogunda kullanılan dört algoritma sonrasında ayıklanan olaylar ve son katalogda kalan olaylar.	52
4.7: Her bir bölge için sismisite bilgilerinin bazıları, Magnitüd(minimum, maksimum ve Mc), Derinlik(maksimum ve '0' eşitlik durumunda).	55
4.8: EMMİ projesindeki her bir bölgede deprem tamamlama başlangıç yılı.	55
4.9: Alan ve Nokta kaynakları belirlemede ki özet parametre tablosu.	62
4.10: Çizgi fay kaynağını için özet parametre tablosu.	64
4.11: Kompleks fayın özet parametre tablosu.	67
4.12: Tez kapsamında belirlenmiş olan bölgede kalıp analizlerde kullanılan EMMİ kaynak bilgileri.	81
4.15: Tez kapsamında belirlenmiş olan bölgede kalıp analizlerde kullanılan SHARE kaynak bilgileri.	84

4.17:	Dört NGA-West2 YHTD'nin Magnitüd, Uzaklık, Vs30 ve Spektra Periyot Değerlerinin Aralığı.	87
5.1:	a), b), c) EMME verilerinde ki KAFZ-1999 İZMİT DEPREMİ fayının verileri alınarak beş azalım ilişkisi için yapılan analiz sonucu PGA, Sa(0.2) ve Sa(1.0) değerleri.	130
5.2:	a), b), c) SHARE verilerinde ki KAFZ-1999 İZMİT DEPREMİ fayının verileri alınarak beş azalım ilişkisi için yapılan analiz sonucu PGA, Sa(0.2) ve Sa(1.0) değerleri.	131
5.3:	1999 İzmit deprem verileri kullanılarak, İzmit lokasyonu yapılan analizin PGA, Sa(0.2) ve Sa(1.0)' ın sonuçları.	132
6.1:	a), b), c) Tez kapsamında yapılan analizlerle TBDY 2018 verilerinin PGA, Sa(0.2), Sa(1.0) değerlerinin karşılaştırılması.	151

1. GİRİŞ

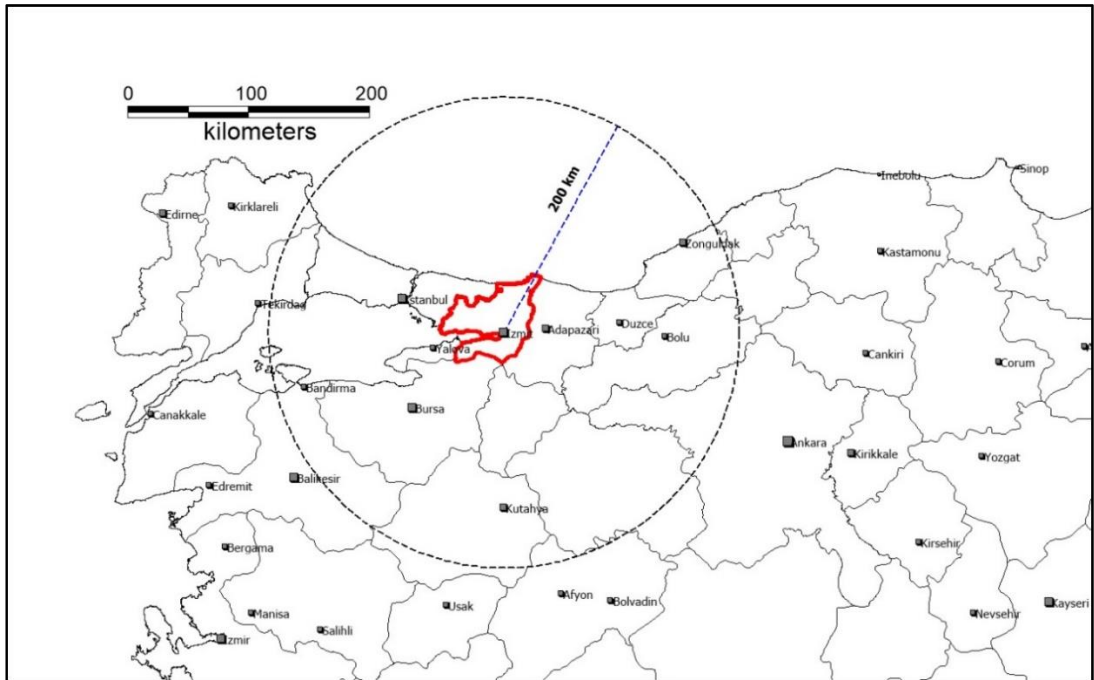
Genel anlamda afetler, insanlara ekonomik, fiziksel kayıplar oluşturan, insan yaşamını ve toplumun faaliyetlerini olumsuz etkileyen ve üstesinden gelinemeyen teknolojik, insan ve doğal kaynaklı bir olaydır. Bunun için afet yönetimi oluşturulur ve amacı bu olumsuzluklarla karşılaşan insanları kurtarmak ve olabildiğince kısa bir süre de eski yaşam koşulunu sağlamaktır. Elbette bu amacı hayata geçirmenin temel koşulları deneyim, bilgi ve planlamaktan geçmektedir. Afet türleri yüzü aşkındır, bunlar arasında depremin bu kadar önem arz etmesinin nedeni insanların yaşamını ve yüzyıllardır ürettiğini birkaç saniye içinde yok edebilme potansiyeline sahip olmasındandır. Deprem genel olarak tanımlanacak olursa yerküremizin içinde birikmiş olan elastik deformasyon enerjisinin, kayaçların kırılma direncini aşmasından dolayı kayaçların kırılarak aniden enerjilerini boşaltmasıdır. Bu kırılmadan dolayı enerjiyi taşımış olan dalgalar can kaybı ve ciddi yıkımlara neden olmaktadır. Depreme bilimsel bir tanım getirilmesinde ki hedef depremin nasıl oluştuğunu, mekanizmasını belirleyebilmek içindir.

Türkiye, Azor Adalarından başlayan ve Güneydoğu Asya'ya kadar uzanan önemli deprem kuşaklarından biri olan Alp-Himalaya deprem kuşağında bulunmaktadır. Yerkürenin en karmaşık yerlerinden biri olan ve yüksek depremselliği ile önem arz eden Türkiye güneyde, kuzey ve kuzey-batıya hareket eden Arap ve Afrika plakaları ile kuzeydeki Avrasya plakaları arasında bulunmaktadır [Özmen, 2000]. Plakaların sıkıştırması ile batıya doğru harekete zorlanan Anadolu plakası hareketi, batıda Ege plakası tarafından doldurulunca bölgede Kuzey-Güney yönlü genişleme, Ege Grabenleri, oluşmuştur. Türkiye'de meydana gelen depremlerin büyük çoğunluğu Anadolu plakasının çevresindeki plakalara sınır bölgelerde oluşmuştur. Bu zonlar Doğu Anadolu Fayı, Kuzey Anadolu Fayı, Ege Grabenleri, Güneydoğu Anadolu Bindirme Kuşağı şeklindedir [Özmen, 2000](Şekil 1.1).

Türkiye 1900-1999 yılları arasında 149 adet hasar oluşturan deprem olmuş olup, bu depremler 578.544 binanın yıkılması veya ağır hasar görmesine ve 97.203 insanın ölümüne yol açmıştır. Bu verilere göre Türkiye'de ortalama her 7 ayda bir hasar yapan depremler oluşmakta ve hasar yapan depremler ortalama her yıl 5844 binanın yıkılıp, 982 kişinin hayatını kaybetmesine yol açmaktadır [Özmen, 2000].

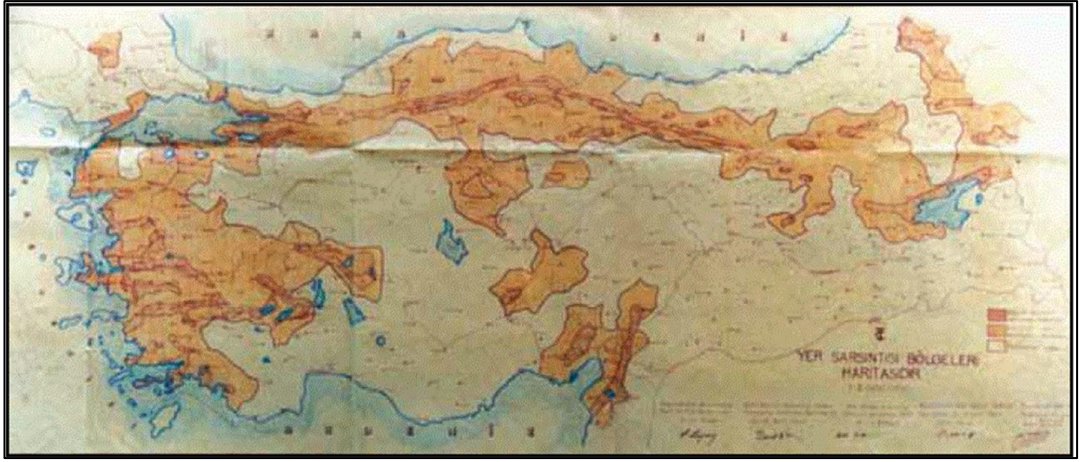
büyüklüğü, oluş zamanıyla alakalı bilinmezliklerin ele alındığı olasılıksal yöntemle analiz yapılabilir.

Çalışma alanı İzmit'i merkez alınarak 200 km'lik alanı kapsayacak şekilde belirlenmiştir (Şekil 1.2). Çalışmanın amacı ise Kocaeli ili ve Doğu Marmara bölgesinin ekonomik, sosyal, demografik önemi dikkate alındığında bölgenin sismik tehlike durumunu ortaya koymak adına 1999 Kocaeli deprem verileri ile olasılıksal ve deterministik yöntemler kullanılarak bölgenin deprem tehlikesini oraya koymaktır. Olasılıksal çözüm olarak kullanılacak Klasik Olasılıksal çözümün yanında olasılıksal çözümün içinde farklı bir yaklaşım metodu içeren Monte Carlo yöntemi kullanılarak da analizler yürütülmüştür. Ayrıca bu tez çalışmasında analizlerin yürütülmesinde OpenQuake Pagani vd., (2014) açık kaynaklı yazılımı kullanılmıştır. Böylelikle belirlenmiş olan çalışma alanının deprem tehlikesi ortaya konarak gelecek deprem tehlike ve risk çalışmalarına bir altlık oluşturulması hedeflenmiştir.



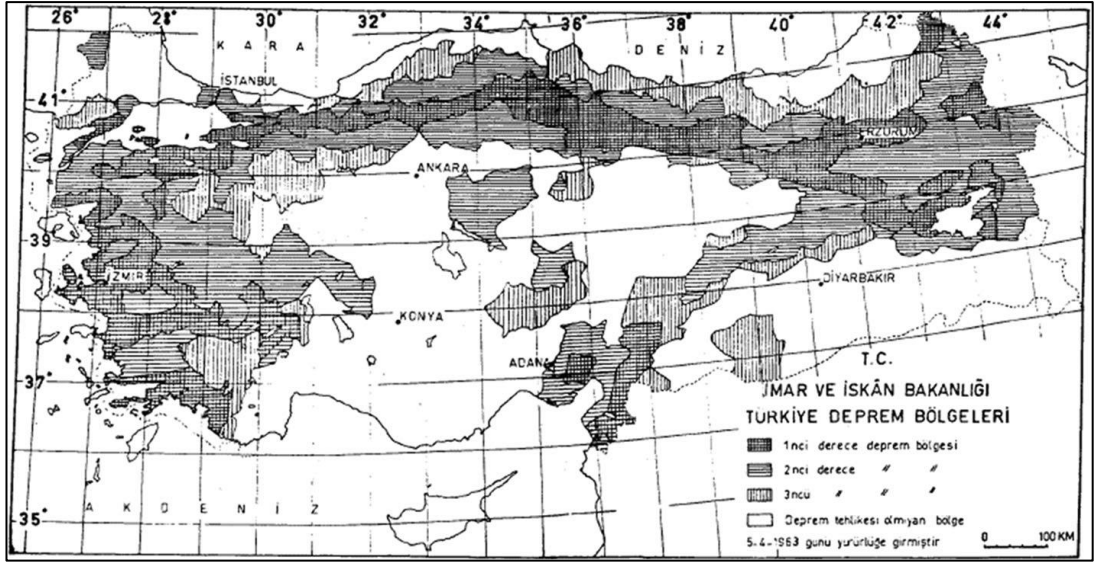
Şekil 1.2: Kocaeli-İzmit merkezi alınarak belirlenmiş olan çalışma alanı.

Resmi olarak deprem tehlike haritası, büyük kayıplar oluşturan 1939 Erzincan Depremi (32.962 ölü ve 116,720 binada yıkım veya hasar) ve sonrasında meydana gelen 1944 Bolu-Gerede depreminden sonra 1945 yılında ülkeyi üç sismik bölgeye bölen harita yayımlanmasıyla hayata geçti.(Şekil 2.2) Bölge 1 (yüksek deprem tehlikesi olan bölge), Bölge 2 (daha az deprem tehlikesi olan bölge), Bölge 3 (deprem tehlikesinin olmadığı bölge). Yüksek deprem tehlikesi: koyu kırmızı, Daha az deprem tehlikesi: açık kırmızı, Deprem tehlikesiz bölge: beyaz [Akkar et al., 2018].

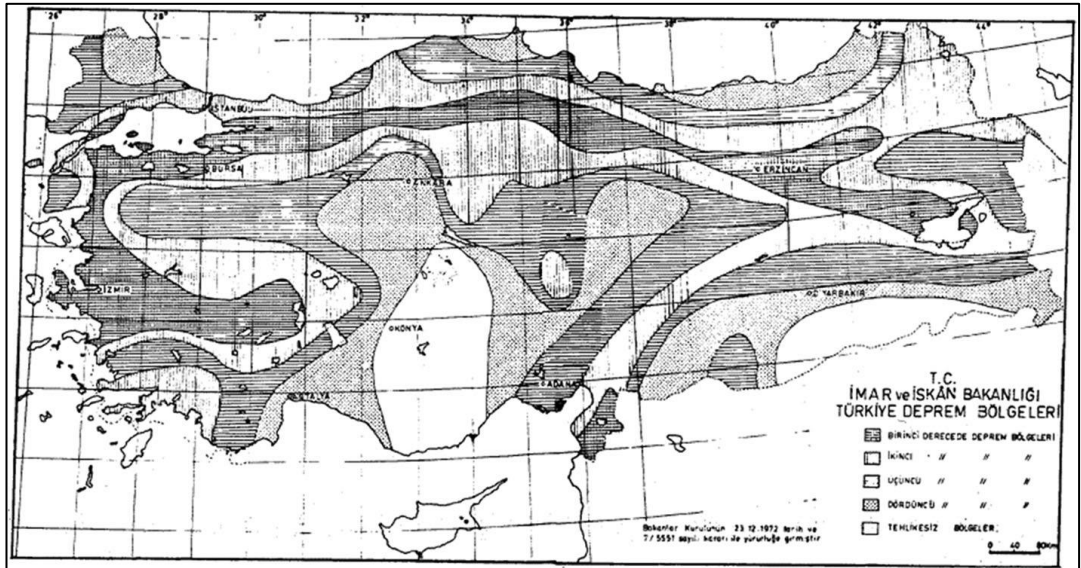


Şekil 2.2: 1945 yılındaki deprem tehlike haritası.

1945 ve 1947 yıllarındaki deprem bölge haritaları, geçmiş depremlerin eş şiddet haritaları, tektonik haritalar, literatür çalışmaları (ör, Pamir 1948; Pınar ve Lahn 1952; Omote ve İpek 1959), makro sismik yoğunluk (Medvedev-Sponheuer-Karnik yoğunluk skalası) tümü birleştirilerek 1963 yılında yenilendi [Akkar et al., 2018] (Şekil 2.3). Çalışmada Kuzey Anadolu Fay Zonun (KAFZ) deprem tehlikesinin en yüksek olduğu bölgelerden olduğu anlaşılmaktadır. Bölge 1 (yüksek deprem tehlikesi olan bölge), bölge 2 (orta deprem tehlikesi olan bölge), bölge 3 (düşük deprem tehlikesi olan bölge), bölge 4 (deprem tehlikesi olmayan bölge).



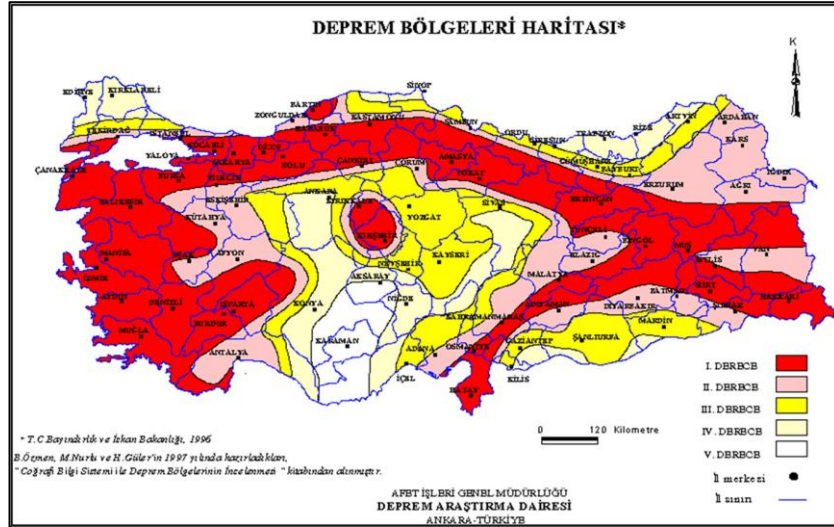
Şekil 2.3: 1963 yılındaki deprem bölge haritası.



Şekil 2.4: 1972 de beş bölgeye ayrılmış olan deprem bölge haritası .

1972 yılındaki deprem bölge haritası 100-, 225-, 475- ve 1000 yıllık dönüşüm periyotları ile maksimum yer ivmesi için geliştirilen Gülkan vd., (1993) olasılıksal deprem tehlike çalışması göz önüne alınarak güncellendi. Bu çalışmada Türkiye'nin aktif sismik kaynakları yeniden gözden geçirildi. Alan kaynaklar için stokastik deprem tekrarlama modelleri geliştirildi ve Türkiye ve Kaliforniya'nın tektonik benzerlikleri dikkate alınarak California'dan toplanan kayıtlarla geliştirilmiş olan Joyner and Boore, (1981) azalım ilişkisi Türkiye içinde kullanıldı [Akkar et al., 2018]. Harita 5 bölgeden

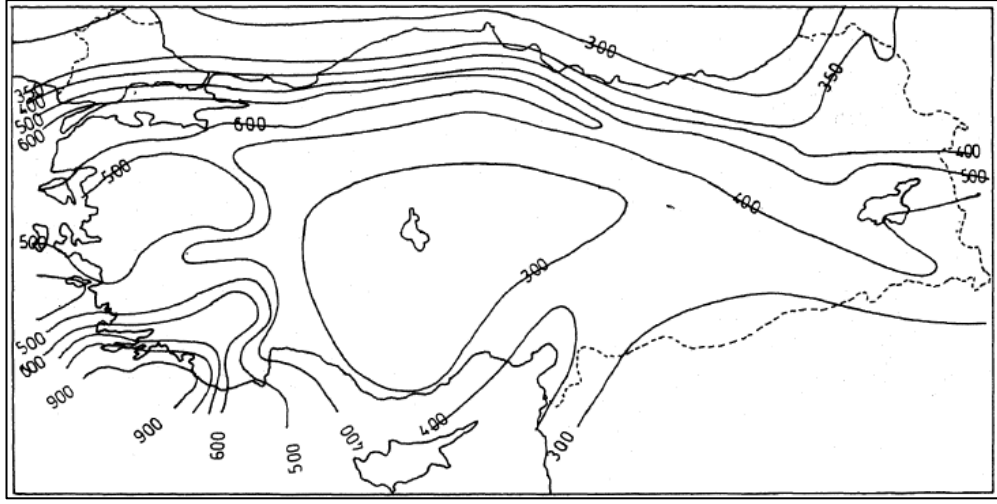
oluşmakta ve en yüksek deprem tehlikesi olan yer kırmızı ile gösterilmektedir (Şekil.2.5) [Web 2, 2016]. KAFZ bölgesinde deprem tehlikesinin en yüksek ve değeri 0.4g olarak dikkate alınmaktaydı. Derecelendirmeler en yüksek deprem tehlikesinden başlayıp en aza doğru sıralanmıştır.



Şekil 2.5: 1996 deprem bölge haritası.

1980'lerden önce ulusal veya uluslararası olasılıksal deprem tehlike analizi projelerinde Türkiye için geliştirilen deprem tehlike haritaları oldukça azdı. Fakat 1980'den sonra Yarar vd., (1980); Erdik ve Öner (1982); Erdik vd., (1985a, b, 1999); Onur, (1997); Giardini, (1999); Bommer vd., (2002); Jimenez vd., (2001); Demircioğlu vd., (2007); Woessner vd., (2015); Şeşetyan vd., (2018) Türkiye ulusal ve uluslararası projelerde birçok farklı ülkeden biri olarak deprem tehlike projelerinde yer almaktadır.

1980'ler boyunca Yarar vd., (1980) Türkiye'nin neotektonik harita ve 70 yıllık deprem kataloğuna dayanarak 200 ve 500 yıllık dönüş periyotlarına karşılık gelen maksimum MSK (Medvedev-Sponheuer-Karnik skalası) yoğunluk ve maksimum yatay pik yer hareketi ile Türkiye için deprem tehlike haritası tasarladı. Şekil 2.6'da görüldüğü gibi 500 yıllık yatay maksimum yer ivmesi (PGA) KAFZ bölgeleri için yaklaşık olarak 300-500 gals (0.3-0.5g) olarak görülmektedir.



Şekil 2.6: 500 yıllık dönüş periyoduna ve kaya zemine denk gelen PGA için kontör haritası.

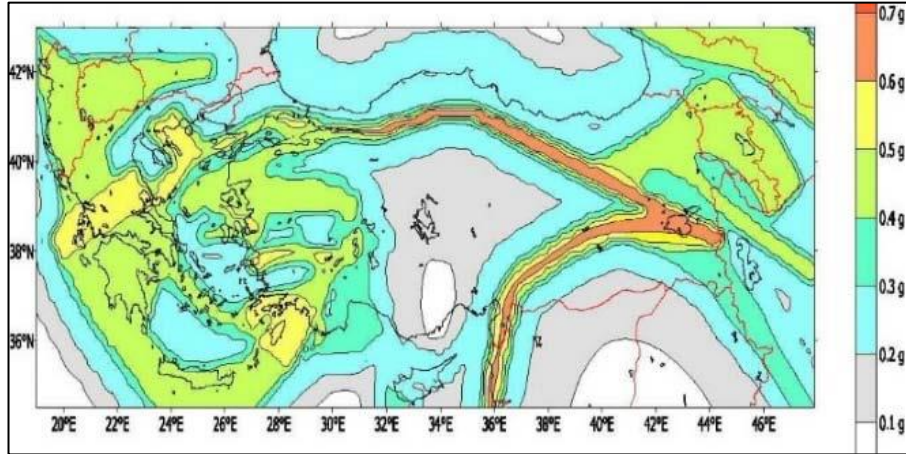
Erdik vd., (1985a, b) , Türkiye için yürütölmüş olan bir çalışma olmuştur. Bu çalışma için alan kaynak kullanılmıştır. Yer hareketi yoğunluğu olarak PGA ve yer hareketi tahmin denklemi olarak, Campbell (1981)'den yakın alan düzeltmeleri ile Schnabel ve Seed (1973) ve maksimum yatay yer hareketi bileşeni olan makrosismik yoğunluk için ise Erdik vd., (1983) kullanılmıştır. Kullanılan çalışma PGA ve makrosismik yoğunluk için olup, dönüş periyodu 225- , 475- ve 10.000 yıllık, mantık ağacı kullanımı olmadan ve kaya zemin için hesaplar yapılmıştır.

Gölkan vd., (1993) , 1993 yılında Türkiye için deprem tehlike çalışması yapılmıştır. Çalışmada alan kaynak kullanılmış olup, azalım ilişkisi olarak Joyner and Boore (1981) tercih edilmiştir. Yer hareketi PGA alınmış olup, 100-200-475-1000 yıllık dönüşüm periyotları için hesaplar yapılmıştır. Mantık ağacı uygulaması kullanılmamış olup, hesap yapılan zemin sert zemindir (stiff soil).

2.1. Türkiye'nin Dahil Olduğu Ulusal ve Uluslararası Projeler

2.1.1. Global Seismic Hazard Project (GSHAP)

GSHAP Erdik vd., (1999) ve Giardini, (1999) Türkiye ve komşu bölgeleri için yapılmış bir çalışmadır. Kaynak modelinde alan kaynak kullanılmıştır. Bölge aktive sığ kabuk ve bunun için kullanılan yer hareketi tahmin denklemi Campell (1997), Boore vd., (1997) ve Sadigh vd., (1997) olmuştur. PGA yer hareketi için 100-, 225-, 475- ve 1000 yıllık dönüşüm periyotlarında hesaplar yapılmıştır. Bir mantık ağacı uygulaması kullanılmamış ve hesap yapılan zemin sert zemin (stiff soil) olmuştur. Şekil 2.7'de bu proje kapsamında Türkiye'nin oluşan tehlike haritası gösterilmiştir. Harita 475 yıllık dönüş periyoduna karşılık gelen PGA değerlerinin vermektedir.



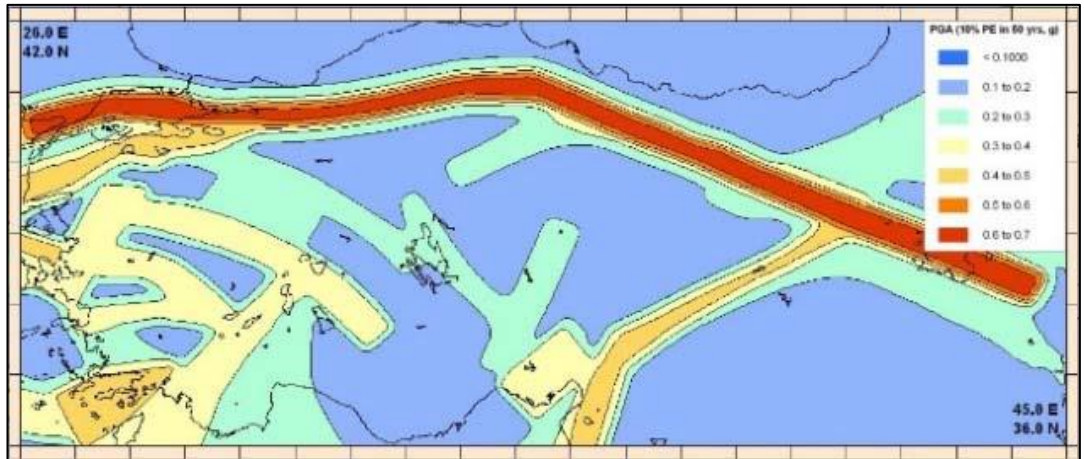
Şekil 2.7: GSHAP (1999) proje kapsamında Türkiye için oluşturulan tehlike haritası.

2.1.2. Unified Hazard Model for the European- Mediterranean Region (SESAME)

SESAME Jimenez vd., (2001) projesi Avrupa ülkeleri ile beraber Türkiye'yi de içine alan bir projedir. Kaynak modeli olarak alan kaynak kullanılmış olup, azalım ilişkisi olarak Ambraseys vd. (1996) kullanımı tercih edilmiştir. Çalışma $T=0.3$ sn ve $T=1.0$ sn de PGA ve sönüm oranı %5 olan sözde spektral ivme (PSA) için 475 yıllık dönüş periyoduna karşılık gelecek şekilde yapılmıştır. Mantık ağacı kullanımına gidilmemiş olup, kaya zeminde hesaplar yürütülmüştür.

2.1.3. Turkey Emergency Flood and Eartquake Recovery Project (TEFER)

Türkiye için yapılmış olan TEFER Bommer vd., (2002) projesinde alan kaynak modeli kullanılmıştır. Bölge aktive sığ kabuk olup PGA için kullanılan azalım ilişkisi Campbell (1997), Boore vd., (1997) , Sadigh vd., (1997) olduğu gibi PSA için ise Boore vd., (1997) ve Sadigh vd.(1997) kullanılmıştır. Çözümler 475 ve 2475 yıllık dönüşüm periyotlarında PGA ve $T=0.3$ sn. ve $T=1.0$ saniyelerde % 5 sönüm oranına karşılık gelen PSA için yapılmıştır. Mantık ağacı uygulaması yer hareketi tahmin denklemlerine eşit ağırlık verilerek yapılmıştır ve hesap yapılan zemin kayadır. Şekil 2.8’de proje sonucunda Türkiye için oluşturulan tehlike haritası görülmektedir. Yapılan çalışmada KAFZ’nun 0.6-0.7g arasında olduğu görülmektedir. Harita 475 yıllık dönüş periyoduna karşılık gelen PGA değerlerini vermektedir.

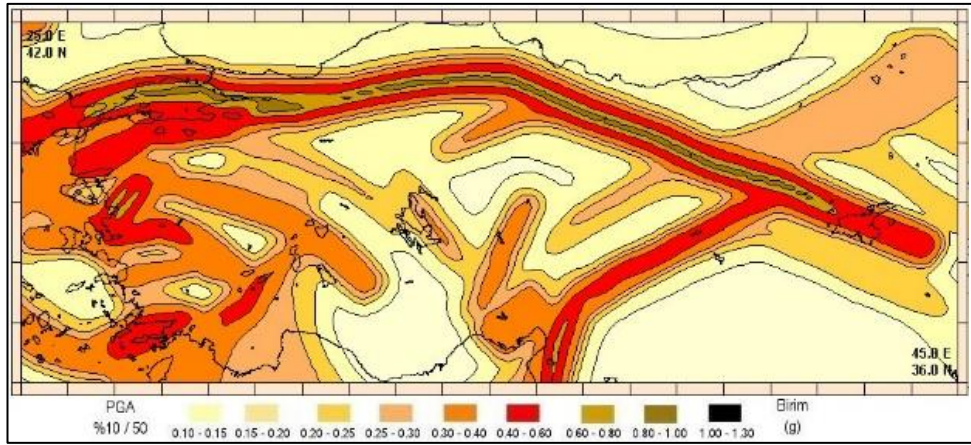


Şekil 2.8: TEFER (2000) proje kapsamında Türkiye için oluşturulan tehlike haritası.

2.1.4. DLH Projesi

DLH (Demircioğlu vd. 2007) projesi Türkiye için gerçekleştirilmiş olup, kullanılan kaynak modeli alan kaynak ve çizgi kaynak şeklindedir. Projenin amacı demiryolları, limanlar, havaalanı yapılarının deprem dayanım yönetmeliğine altlık olmasıdır. Aktive sığ kabuk tektoniğine sahip olan Türkiye de PGA için; Campbell (1997), Boore vd. (1997), Sadigh vd.(1997) ve PSA için ise Boore vd. (1997), Sadigh

vd.(1997) azalım ilişkileri kullanılmıştır. Proje PGA ve $T=0.2$ sn ve $T=1.0$ sn 'de sönüm oranı % 5 olan PSA için yapılmış olup, hesap edilen dönüş periyotları 475-, 2475 yılları içindir. Azalım ilişkileri için eşit ağırlıklar kullanılmıştır ve hesaba katılan zemin özellikleri kaya zemin özellikleri olup $V_{s30}=760$ m/s'dir. Çalışma sonucunda oluşan tehlike haritası Şekil 2.9'da görülmektedir. KAFZ'nu 0.4-0.6 g aralığında hesaplanmıştır. Harita 475 yıllık dönüş periyoduna karşılık gelen PGA değerlerinin vermektedir.



Şekil 2.9: DLH (2007) proje kapsamında Türkiye için oluşturulan tehlike haritası.

2.1.5. Seismic Hazard Harmonization in Europe (SHARE)

SHARE Woessner et al., (2015) projesi orta Atlantik sırtından başlayıp Avrupa kıtasına kadar geniş bir alanında çalışma yürüten bir çalışmadır. Akdeniz'de ki dalma-batma zonlarının yanı sıra Türkiye'de ki fayların Baltık kalkanına büyük dönüşüm faylarını da içermektedir [Akkar et al., 2018]. Çalışmanın amacı, Avrupa-Akdeniz bölgelerinin deprem tehlike modelini güncellemektir. Sismologlar, mühendisler, jeologların liderliği ve yakın iş birliği ile olasılıksal deprem tehlike analizinde yeni standartlar kurmayı hedeflemişlerdir. Çalışma üç farklı sismik kaynak modeli kullanılmıştır. Bunların ilki alan kaynak modeli (AS), ikincisi Kernel düzleştirilmiş sismisite (SEIFA), üçüncü de fay (çizgi kaynak) ve arka plan (background) sismisite (FSBG) kullanılmıştır.

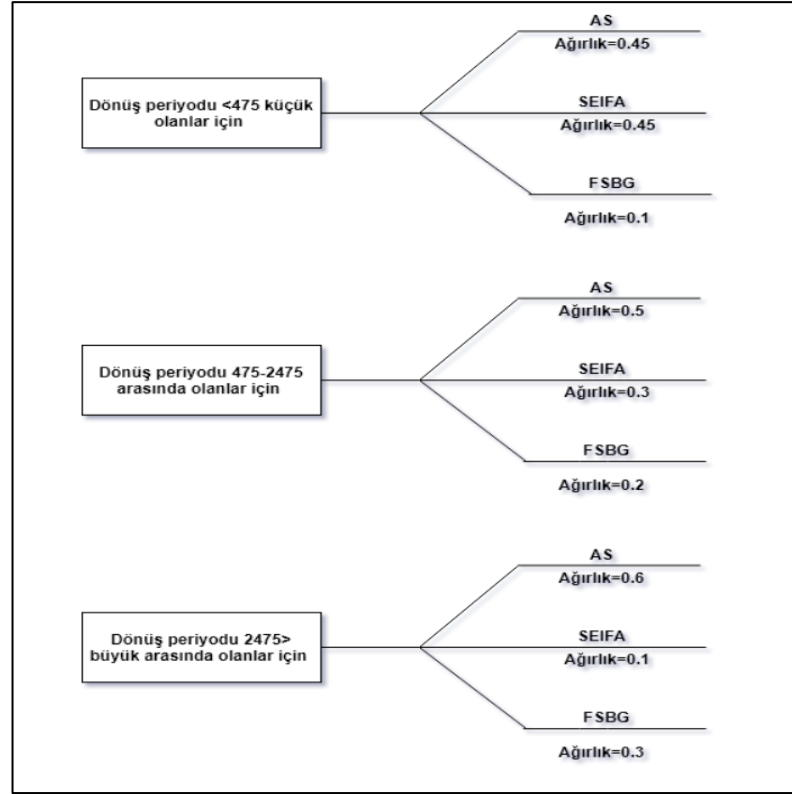
Tektonik bölgeler: Durgun bölgeler (kıtasal kabuk), okyanus kabuğu, aktif sığ kabuk, (sıkışma, uzama, doğrultu atımlı, orta okyanus sırtı) dalma-batma zonları, derin

sismisite bölgeleri ve volkanlar şeklindedir. FSBG Anderson and Luco (1983) tekrarlama modeli kullanılırken AS için Guttenberg-Richter tekrarlama modeli kullanılmıştır. Azalım ilişkileri:

- Aktif sığ ve okyanus kabuğu için; Akkar ve Bommer, 2010 (0.35), Cauzzi ve Faccioli, 2008 (0.35), Zhao vd. 2006 (0.1) ve Chiu ve Youngs, 2008 (0.2),
- Durgun kıtasal bölgeler için; Akkar ve Bommer, 2010 (0.2), Cauzzi ve Faccioli, 2008 (0.2), Chiou ve Youngs, 2008 (0.2), Toro vd. 2002 (0.2), Campbell, 2003 (0.2),
- Durgun (sırt) için; Toro vd. 2002 (0.5), Campbell, 2003 (0.5),
- Dalma-batma in-slab (dalma levha içi) ve arayüzü için; Atkinson ve Boore, 2003 (0.2), Lin ve Lee, 2008 (0.2), Youngs vd. 1997 (0.2), Zhao vd., 2006 (0.4),
- Volkanik bölge için; Faccioli vd. 2010 (1.0),
- Derin sismisite olan bölgeler için; Lin ve Lee, 2008 (0.5), Youngs vd. 1997 (0.5)

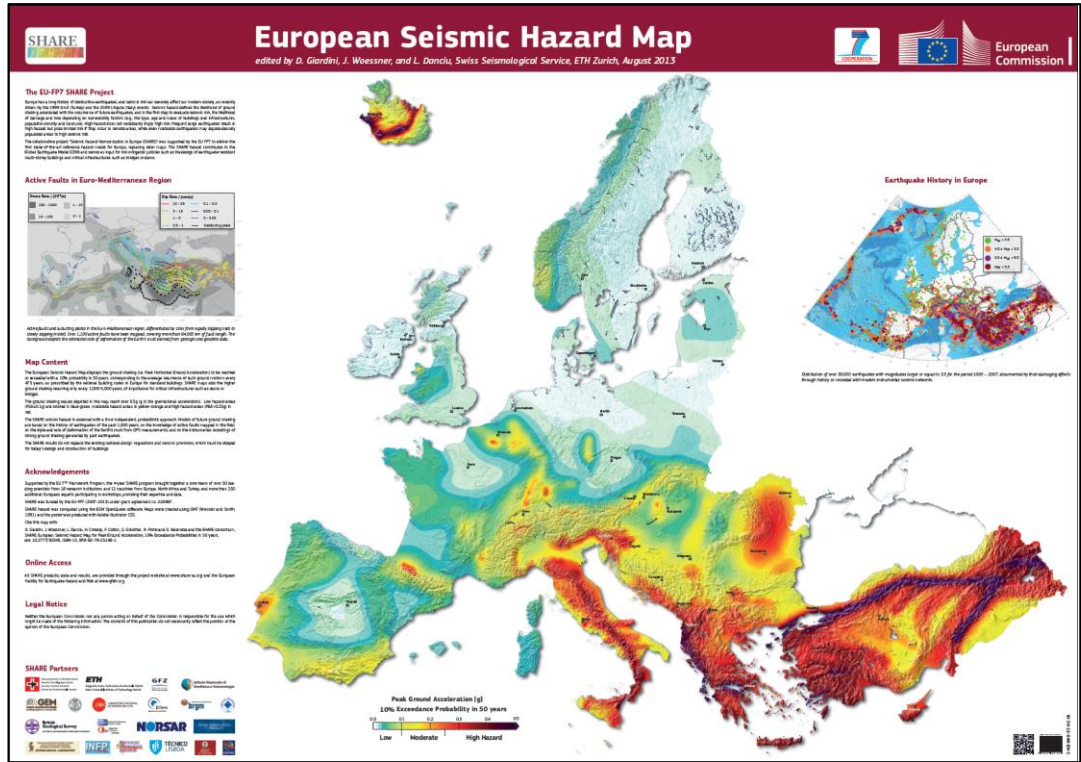
kullanılmıştır ve mantık ağacında kullanılan ağırlık değerleri parantez içinde belirtilmiştir.

Değerler PGA ve sönüm oranı % 5 olan PSA T= 10 sn kadar hesaplanmıştır. $V_{s30}=800$ m/s alınarak kaya zeminde işlemler yapılmıştır. Kappa ayarlaması Toro vd. 2002 ve Campbell, 2003 için yapılmıştır [Akkar et al., 2019]. Kaynaklar için oluşturulan mantık ağacı dönüş periyotlarına göre ayarlanmıştır (Şekil 2.10).

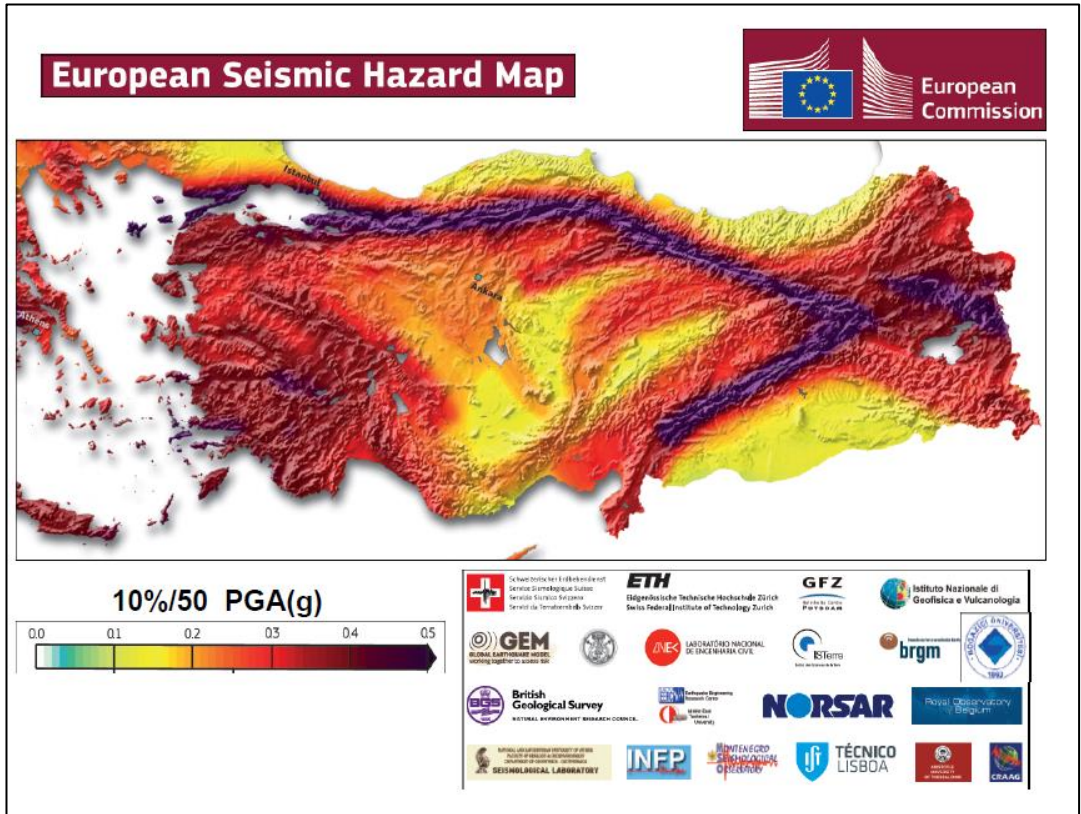


Şekil 2.10: Kaynakların dönüş periyotlarına göre oluşturulmuş olan mantık ağacı.

Çalışma sonunda KAFZ ve çevresinin 475 tekrarlanma süresinde (50 yılda aşılma oranı % 10) oluşacak PGA değeri yaklaşık 0.5 g arasında olduğu gözlenmiştir (Şekil 2.12). Harita 475 yıllık dönüş periyoduna karşılık gelen PGA değerlerinin vermektedir.



Şekil 2.11: SHARE projesinin çalışma alanı ve sonucunda çıkan tehlike haritası.



Şekil 2.12: SHARE projesinde Türkiye' deprem tehlike haritası.

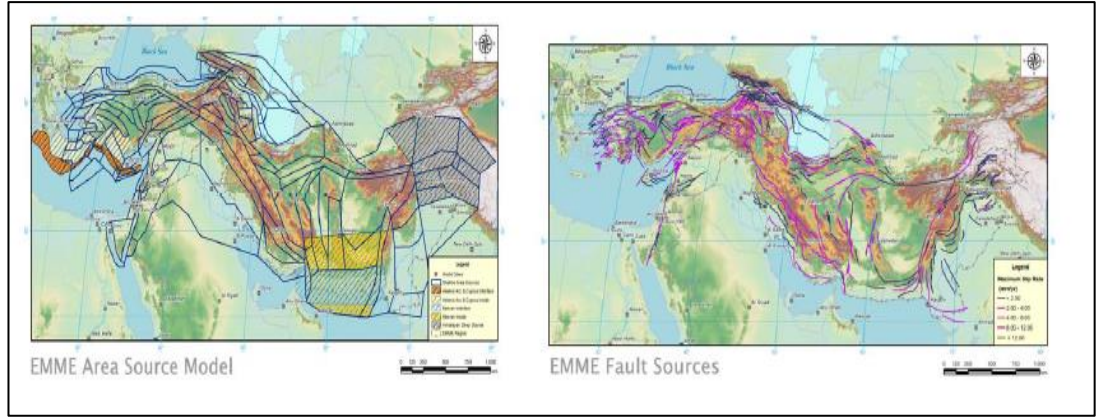
2.1.6. Earthquake Model of Middle East (EMME)

EMME projesi Şeşetyan vd., (2018) Ortadoğu, Kafkaslar ve Pakistan bölgelerini kapsayan genişliktedir. Çalışmanın amacı, deprem tehlike değerlendirilmesi, yapı hasarlarının, ekonomik kayıpların risk değerlendirilmesi ayrıca GEM (Global Earthquake Model) amaçları ile iş birliğinde ki Ortadoğu'da göç oranlarıyla bağlantılı etkilerinin değerlendirilmesini hedefleyen bir projedir. Kaynak modeli olarak, alan kaynak ve düzleştirilmiş alan modelinin birleştirilmesi ile çizgi kaynak kullanılmıştır. Alan kaynak ve düzleştirilmiş sismisite de aletsel ve tarihi deprem kataloglarından elde edilen Gutenberg-Richter tekrarlama modeli kullanılmıştır. Çizgi kaynak için de jeolojik kayma hızını (slip rate) dikkate alarak Youngs ve Coppersmith (1985) tekrarlama modeli kullanılmıştır (Şekil 2.13). Dikkate alınan tektonik bölgeler, sıg kabuk, durgun bölgeler, derin deprem kaynak bölgeleri, dalma-batma arayüzü ve in-slab kaynak bölgeleri, şeklindedir. Çalışmada 235 alan kaynak 778 çizgi kaynak mevcuttur. Azalım ilişkileri:

- Aktif sıg kabuk bölgeleri için; Akkar ve Cağnan 2010 (0.2), Akkar vd. 2014 (0.35), Chiou ve Youngs 2008 (0.35), Zhao vd. 2006Asc (0.1),
- Durgun sıg kabuk bölgeleri için; Atkinson ve Boore 2006 (0.4), Toro vd. 2002 (0.25), Campbell 2003 (0.35),
- Dalma-batma arayüzü ve inslab için; Atkinson ve Boore 2003 (0.2), Lin ve Lee 2008 (0.2), Youngs vd. 1997 (0.2), Zhao vd. 2006 (0.4),
- Derin sismisite bölgeleri için; Lin ve Lee 2008 (0.5), Youngs vd. 1997 (0.5)

şeklinde ve parantez içinde belirtilen ağırlıklar ile kullanılmıştır.

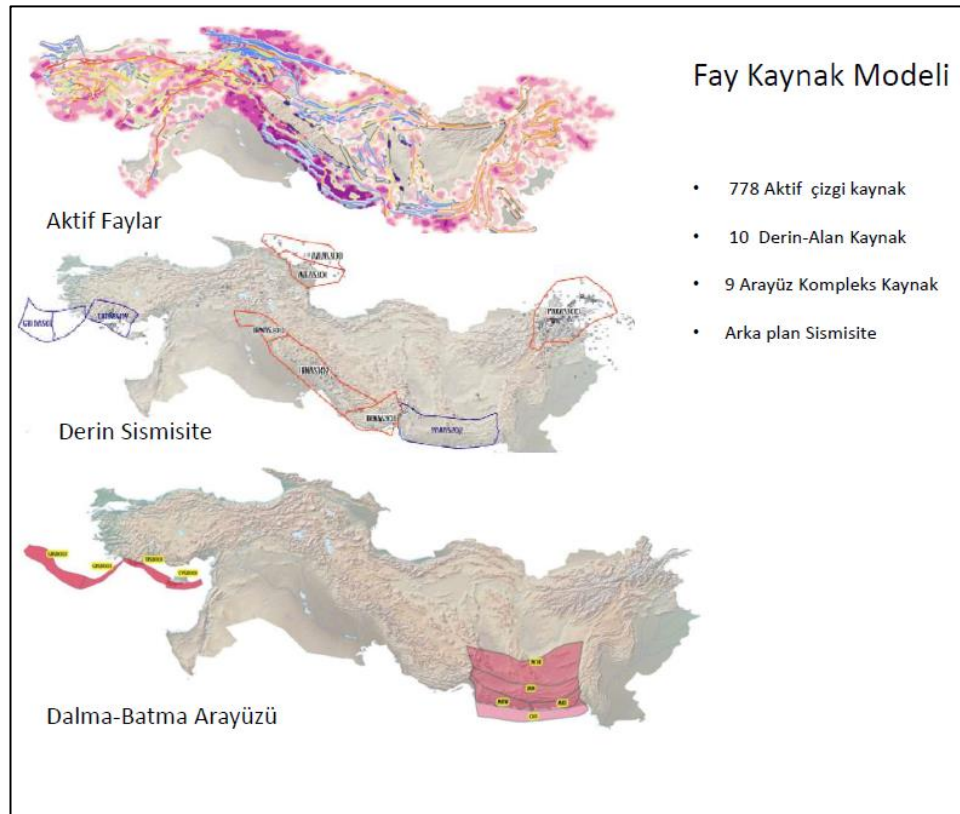
PGA ve $T=0.10, 0.15, 0.20, 0.25, 0.30, 0.50, 0.75, 1.0$ ve 2.0 sn'ler de sönüm oranı % 5 PSA için 72-, 475-, 975-, 2575 ve 4975 dönüş periyotlarında tehlike hesapları yapılmıştır. Kaynak için oluşturulan mantık ağacında verilen ağırlık, alan kaynak için 0.6 düzleştirilmiş sismisite ile birleştirilen çizgi kaynak için 0.4 kullanılmış olup, $V_{s30}= 800$ m/s kaya zemin için analizler yapılmıştır.



a)

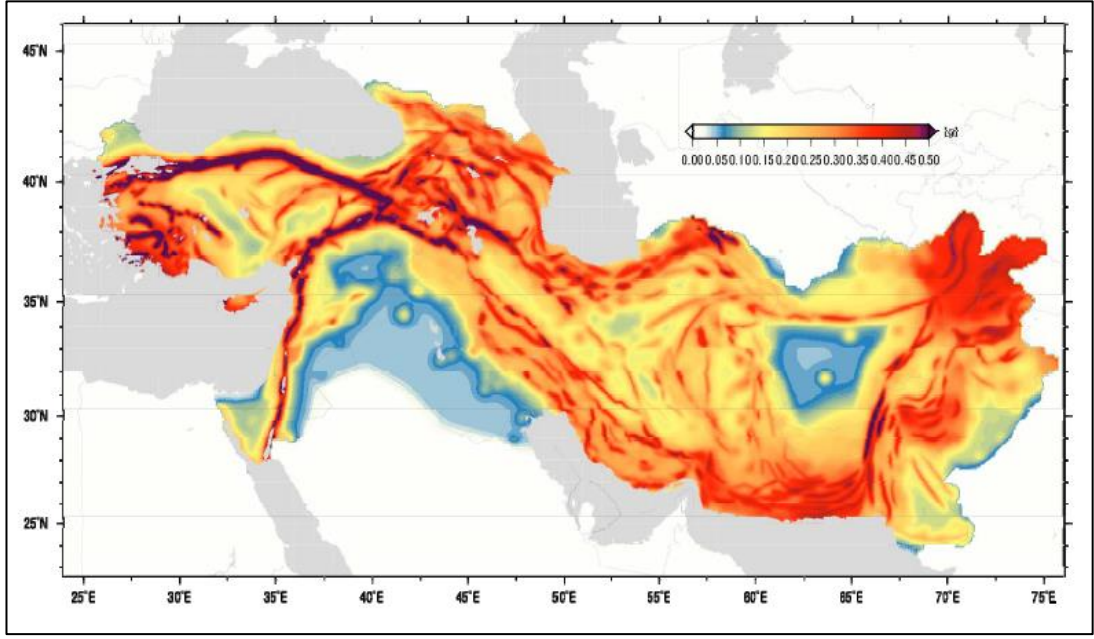
b)

Şekil 2.13: EMME kaynak modelleri. a) alan kaynak, b) ise çizgi kaynak modelini göstermektedir.



Şekil 2.14: EMME de kullanılan kaynakların özet şekli.

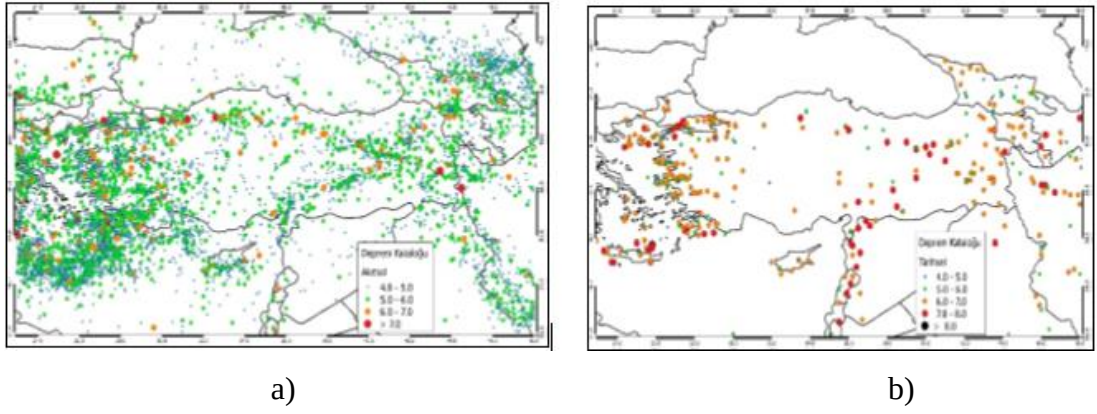
EMME projesinin sonucunda 475 yıllık dönüşüm periyodu için oluşturulan haritada (Şekil 2.15) görüleceği gibi KFAZ'da PGA değeri yaklaşık olarak 0.5 g çıktığı görülmektedir.



Şekil 2.15: EMME projesinde 475 yıllık dönüşüm periyoduna tekabül eden PGA değerini gösteren tehlike haritası.

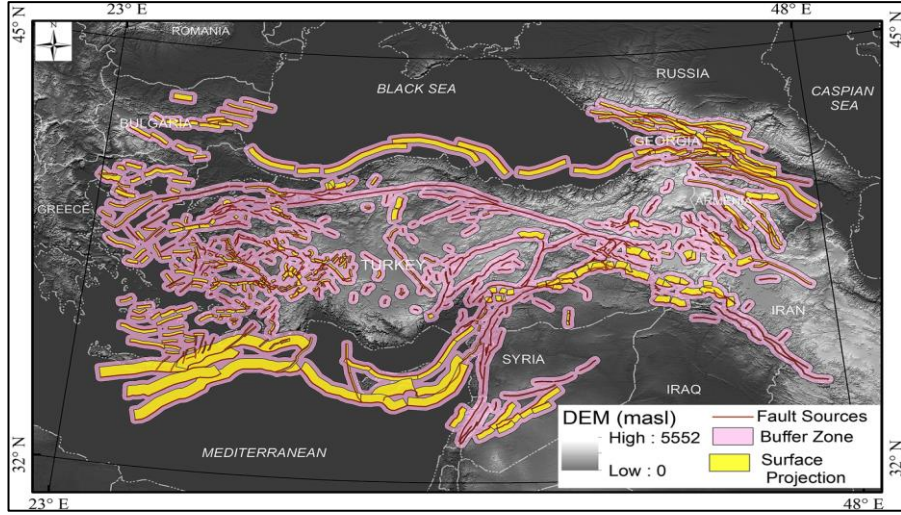
2.1.7. Turkish Seismic Hazard Map (T-SHM)

Türkiye deprem tehlike haritasını projesi UDAP-Ç-13-06 projesi kapsamında yürütülen bir çalışmadır. Projede birbirinden bağımsız olarak, alan kaynak ve arka plan (background) deprem aktivitesinin göz önüne almak için düzleştirilmiş sismisite (smoothed seismicity) ile birleştirilmiş olan çizgi kaynak modeli kullanılarak olasılıksal deprem tehlike analizi güncellemelerine adapte edilmiştir. Hesaplanan dönüş periyotları, Türkiye Deprem Yönetmeliğinde yapıların tasarımı ve deprem performans değerlendirilmesine kullanılan aşılma olasılıkları dikkate alınarak hesaplanmıştır. Oluşturulan tehlike haritası 43 yıllık (50 yılda aşılma oranı % 69), 72 yıllık (50 yılda aşılma oranı % 50), 475 yıllık (50 yılda aşılma oranı % 10), 2475 yıllık (50 yılda aşılma oranı % 2) dönüş periyotlarına ve yer hareketi olarak da PGA, $S_a(T=0.2 \text{ sn})$, $S_a(T=1.0 \text{ sn})$ için hesaplanmıştır. 1900-2012 yılları arasında 41 uluslararası ve ulusal kaynaklardan elde edilen verilerle yaklaşık 37.000 olayın değerlendirilmesiyle oluşan katalog kullanılmıştır [Akkar et al., 2018] (Şekil 2.16).



Şekil 2.16: T-SHM projesinde kullanılan deprem katalogları. a) aletsel deprem, b) tarihsel deprem katalogunu göstermektedir.

Alınan kaynaklar ülkenin kara sınırını 200 km’lik kuşak içine alınarak bölgedeki diri faylar dikkate alınarak düzenlenmiştir (Şekil 2.17; Şekil 2.18); [Akkar et al., 2018].



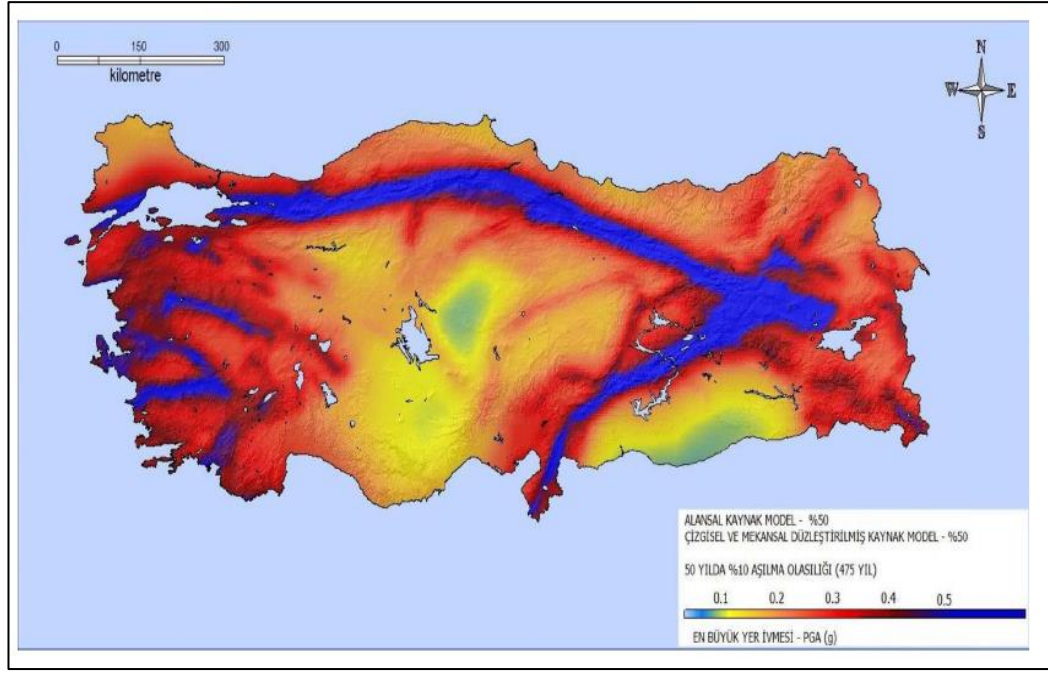
Şekil 2.18: T-SHM projesindeki çizgi kaynaklar.

Kullanılan azalım ilişkileri ve mantık ağacı için verilen ağırlıklar Tablo 2.1 ' de yer almaktadır.

Tablo 2.1: T-SHM için bölgelere göre kullanılan azalım ilişkileri ve ağırlık değerleri.

Aktif Sığ Bölgeleri		Dalma-Batma Bölgeleri	
Azalım İlişkileri	Ağırlık	Azalım İlişkileri	Ağırlık
Akkar vd. (2014)	0.3	Zhao vd. (2006)	0.4
Chiou & Youngs (2008)	0.3	Atkinson & Boore (2003)	0.2
Akkar & Çağnan (2010)	0.3	Youngs vd. (1997)	0.2
Zhao vd. (2006)	0.1	Lin & Lee (2008)	0.2

Proje sonucunda 475 yıllık dönüşüm periyoduna denk gelen (50 yılda aşılma olasılığı % 10) PGA yer hareketi için oluşturulan tehlike haritası Şekil 2.19'da verilmiş ve bu haritada da görüleceği gibi KAFZ için çıkan PGA değeri yaklaşık olarak 0.5 g civarındadır.



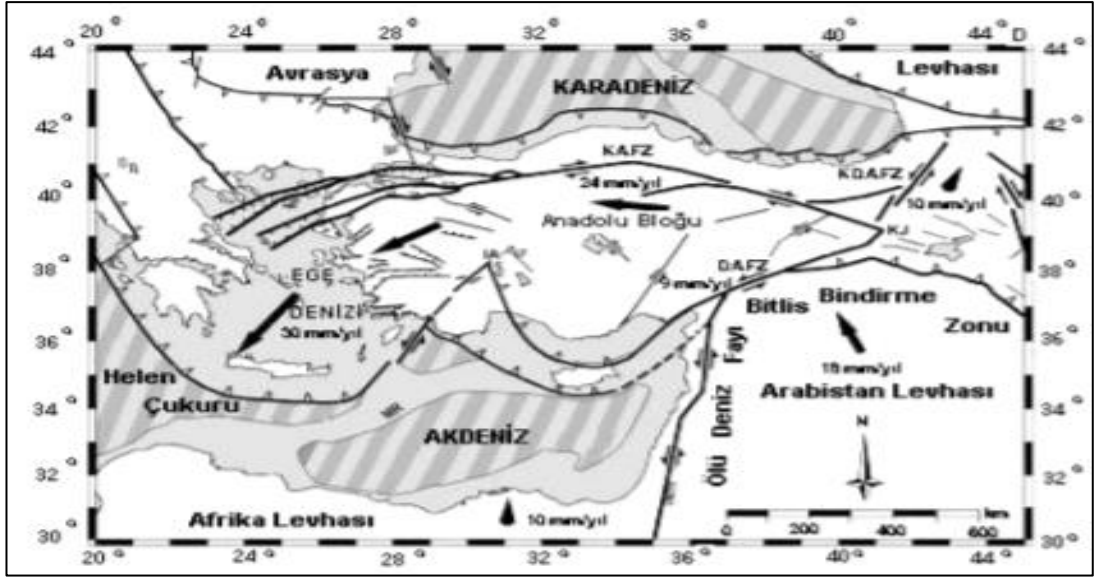
Şekil 2.19: 475 yıllık dönüşüm periyodu için güncellenmiş Türkiye deprem tehlike haritası.

3. BÖLGENİN TEKTONİĞİ VE DEPREMSELLİĞİ

3.1. Marmara Bölgesinin Tektonik Yapısı

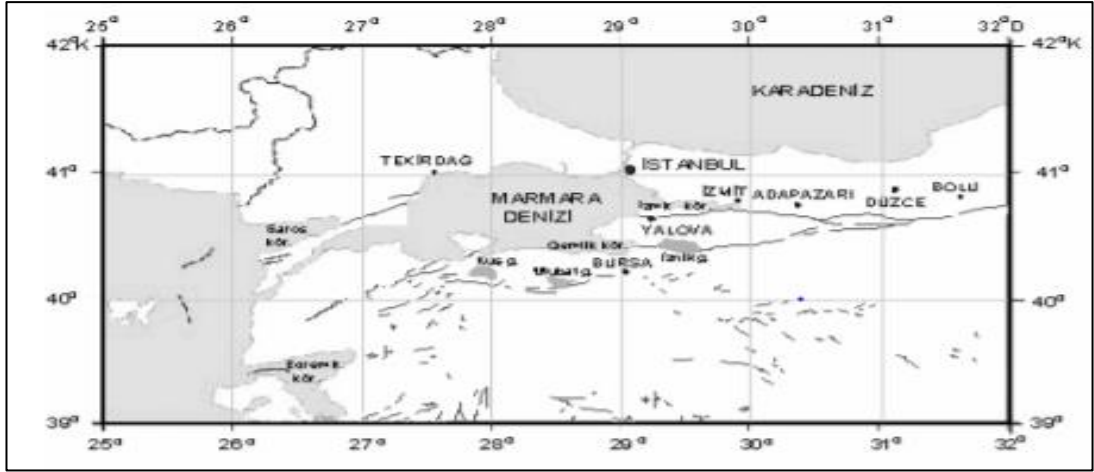
Anadolu bölgesi, Alp Orojenezi döneminden son dağ oluşumu evresine ait Alp-Himalaya kıvrım kuşağında bulunmaktadır. Batısında İspanya-Fransa hattını oluşturan Pirene Dağları ile başlamış olan bu tektonik bölge, doğu-batı yönlü genişçe bir yol boyunca Güneydoğu Asya Adaları'na kadar 15000 km civarında uzanmaktadır. Yerkabuğu hareketinin oldukça yoğun olduğu bu bölge, bu hattın orta kesimlerine yakındır. Buradan da anlaşılacağı gibi Anadolu Bölgesi jeolojik bakımdan oldukça uzun zamandır yerkabuğunun hareketli olduğu bir yerde bulunmaktadır. Anadolu'da şehirlerin önemli bir kısmı doğal afetler açısından yüksek bir tehlike taşımaktadır. Anadolu ve çevresi dünya da bilinen en aktif bölge olan Alp- Himalaya Kuşağının en aktif yerindedir. Böyle riskli bir bölgede yer alan kentlerin tarihine bakıldığında özellikle depremten dolayı birkaç defa yıkılma derecesinde tahrip olduğu görülür. Aslında bu durum yapılan yerleşimin fay zonları dikkate alınarak yapılması gerektiği bize göstermektedir.

Anadolu kara parçası, güneyinde Afrika levhası ve kuzeyinde de Avrasya levhalarının çarpışmasıyla sıkışmış tektonik bir bölge üzerindedir. Bu bölge üzerinde Anadolu, Hazar, Karadeniz, Arap Yarımadası gibi birbirine göre göreceli hareketli olan levhalar vardır. Bu göreceli hareket önemli fay oluşumlarını da beraberinde getirmiştir. Anadolu Levhasının ve Arabistan Levhasının birbirine göre göreceli hareketleri Doğu Anadolu Fay Zonunu oluştururken Anadolu ve Karadeniz Levhalarının göreceli hareketi ise Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) oluşturmaktadır (Şekil 3.1; B.Ü. Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, İstanbul).



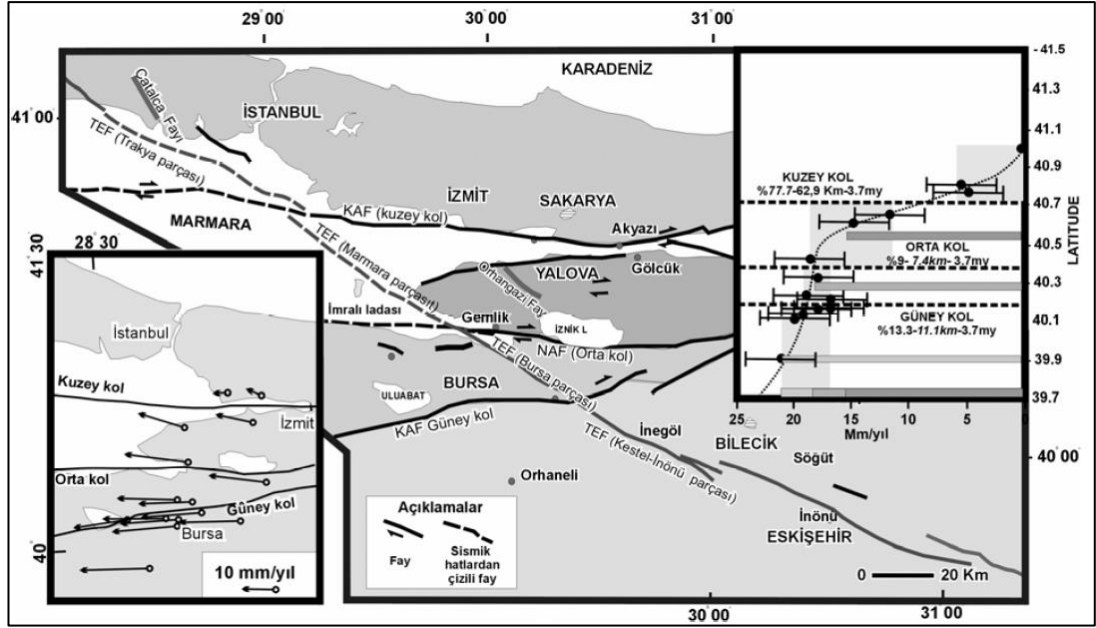
Şekil 3.1: Anadolu ve çevresinin levha tektoniği modeli.

Fayların başında Doğu Marmara bölgesini ciddi şekilde etkileyen Kuzey Anadolu Fay Zonu, Bitlis Bindirme Zonu, Doğu Anadolu Fayı, Batı Anadolu'daki grabenlerin aktifliği bilinmektedir (Şekil 3.2). Avrasya ve Anadolu levhaları arasındaki sınır bölgeyi oluşturan ve ortalama olarak yılda 25 mm hızla hareket ederek son yüzyılda ciddi depremler oluşturan sağ yanal atımlı fay Kuzey Anadolu Fayı (KAF)' tır. Bu fay yaklaşık olarak 1500 km Karadeniz'in güney sahili boyunca uzanır. Fay aslında Marmara Denizi ve çevresinin morfolojik ve tektonik süreçlerini jeolojik dönemlerde ciddi etkilemiştir. Aynı zamanda 17 Ağustos 1999 İzmit/Kocaeli ($M_s=7.8$) ve ardından 12 Kasım 1999 Düzce ($M_s=7.5$) depremleri Doğu Marmara Bölgesi'nde bu fayın kuzey kolunun etkisiyle meydana gelmiş büyük ve son depremlerdir.

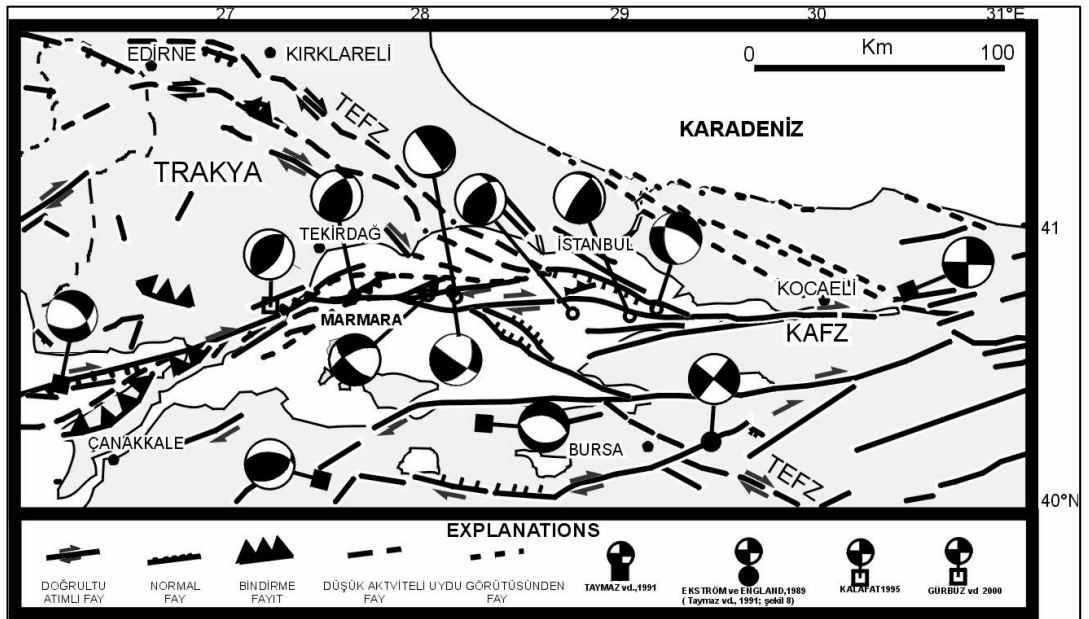


Şekil 3.2: Marmara Bölgesi'ndeki fayları gösteren tektonik harita.

KAF üç ana kola Bolu ilinin batısından ayrılır. İlki güney koludur. Bu kol Gemlik Körfezi ile Almacık dağı arasında uzanır. İkinci kol orta koldur. Bu ise Adapazarı'ndan Kuzeydoğu-Güneybatı doğrultusuyla Geyve yönüne doğru uzanır. Üçüncü ve son kol kuzey koldur. Bu kol Bolu-Mudurnu'dan başlayıp İzmit körfezi, Sapanca, Marmara Denizi içlerine kadar gitmektedir. Jeoloji, sismoloji verilerini göre aktiftir ve bunlar arasında en aktif olanın kuzey kolu olduğu tespit edilmiştir. Kuzey Anadolu Fayı'nın Marmara Denizi içindeki deprem oluş özellikleri, fayın davranışı ve fay geometrisi fayın karada gözlenebilen özelliklerinden farklıdır [Kalafat 2000, 2003; Kalafat vd., 2001]. Şekil3.3 ve Şekil 3.4; Utkucun (2011)'den alınmıştır, Şekil 3.5; Yaltırak (2014)'den alınmıştır, Şekil 3.6; Yaltırak (2014)'den alınmıştır). Şekil 3.5'de GPS hız ve vektörleri kullanılarak KAF 'ın 3.7 milyon yıl önceki konumu ve Trakya-Eskişehir Fayı'nın konumu. Sağ üst şekilde ise, GPS hızlarının göreceli olarak farkından elde edilen atım miktarı ve kolların hareket yüzdesi gösterilmektedir.



Şekil 3.5: GPS hız ve vektörleri kullanılarak KAF ‘ın 3.7 milyon yıl önceki konumu ve Trakya-Eskişehir Fayı’nın konumu.

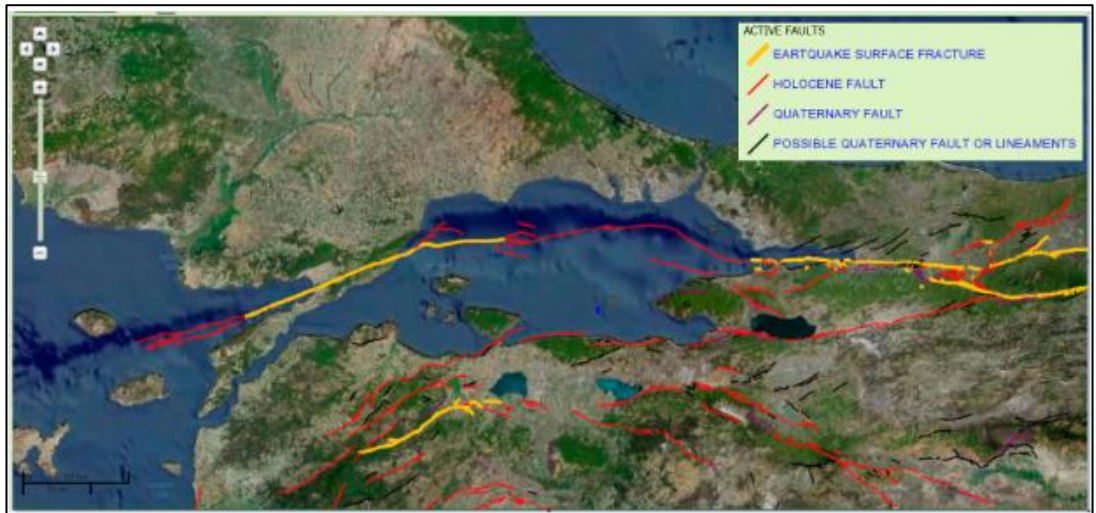


Şekil 3.6: Kuzey Ege ve Marmara Denizi’ inin aktif fayları ve bu faylarda meydana gelen sarsıntılara ait fay çözümleri.

3.1.1. Kocaeli Bölgesinin Tektonik Yapısı

Anadolu'nun kuzeybatı kısmında Kocaeli ili bulunmaktadır ve bu topraklar da KAFZ üzerinde bulunmaktadır. Kocaeli bölgesi güneyden Eskişehir Fay Zonu (EFZ), kuzeyden ise bir yandan tabanı çöken diğer yandan doldurulan Karadeniz havzası arasında bulunmaktadır. Bundan dolayı bölge üzerinde güneydeki aktif fayların şekillendirdiği EFZ 'nun diğer taraftan Karadeniz Havzası'ndan dolayı meydana gelen tektonik gelişmelerden dolayı veya doğrudan etkileyeceği unutulmamalıdır.

Kocaeli ili, ülke nüfusunun üçte birinin yaşadığı ve sanayinin % 45'nin bulunduğu Marmara'da aktif fayların en fazla olduğu KAFZ'unda bulunmaktadır. (Şekil 3.7; Emre vd., 2013). Marmara Denizi'nin meydana gelmesinde ki en önemli olgulardan biri de İzmit Körfezi'dir. Bu körfez KAFZ'nun bir kısmını oluşturan bir çöküntüdür. İçerisinde Pleistosen (Buzul Dönem) ve daha genç çökellerle dolmuş olan körfez çukurunun etrafında KD-GB uzantılı faylar mevcuttur. Son zamanda yapılan araştırmalar sonucunda İzmit Körfezi içerisindeki çökellerin aktif faylardan dolayı doğu-batı yönlü biçildiğini bize sunmaktadır. Genç bir çukur olan İzmit-Sapanca Çözüntüsü Körfezin doğunda yer almakta ve bu çukurluk kalın toprak zeminler ile doldurmuş durumdadır [Tarı, 2007]. Bu çökeltiyi ise Güneybatı-Kuzeydoğu ve Güneydoğu-Kuzeybatı yönlü faylar ile şekillenmeye başlamıştır.



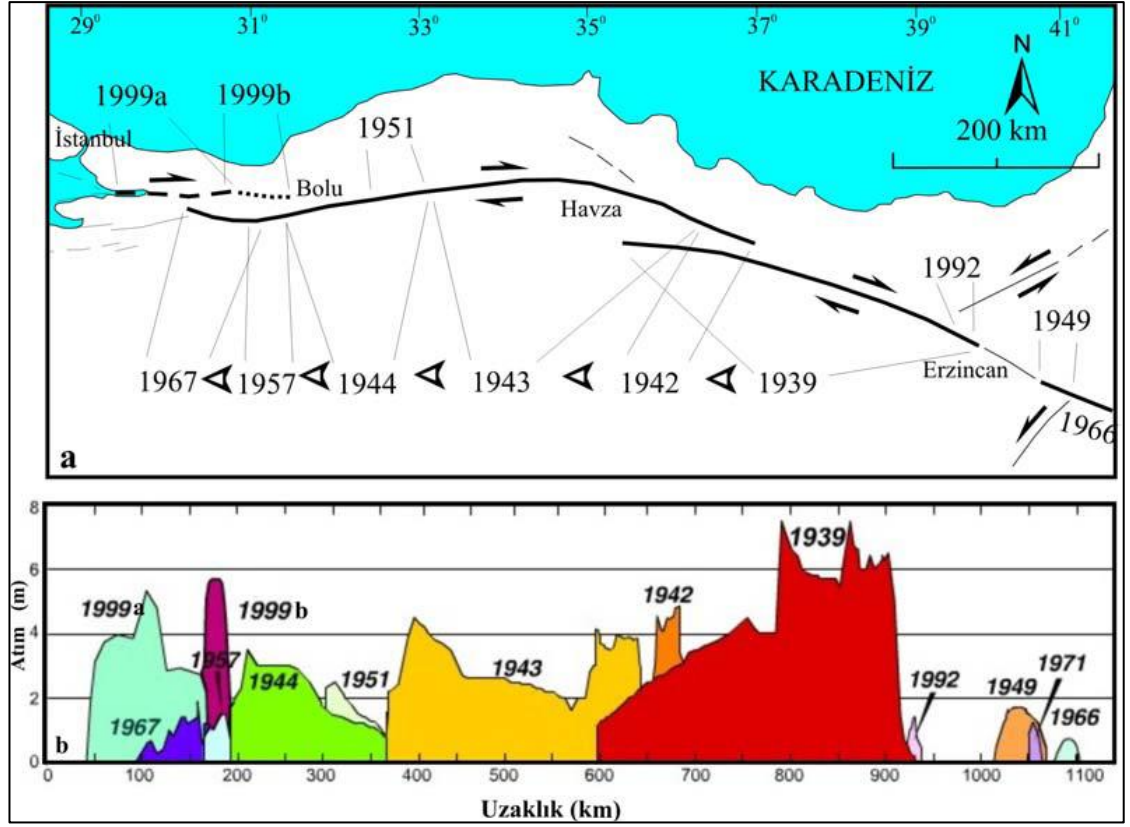
Şekil 3.7: 250.000 ölçekli Kocaeli ve civarındaki diri fay haritası.

3.2. Bölgenin Depremselliği

KAFZ sismolojik ve sismotektonik özellikleri oldukça iyi bilinen dünyanın en önemli doğrultu atımlı faylarından biri ve Türkiye'nin de en önemli tektonik yapılarından birisidir. KAFZ içerisinde birçok fay segmenti (parçası) barındıran bir zon özelliğindedir. KAFZ, ilk defa 1939 Erzincan Depreminden sonra bilimsel olarak tanımlanmıştır ve sağ yönlü doğrultu atımlı bir fay olarak nitelendirilmiştir (Ketin, 1948; 1966; 1968). KAFZ'nun ana segmentleri üzerinde belli periyotlar ile 1939 Erzincan Depremi sonrasında batıya doğru göceden bir dizi büyük deprem oluşmuştur. Bu depremler sırası ile aşağıdaki tablo 3-1 ve şekil 3.8'de Barka et al., (2002); Holzer et al., (2000) belirtilmiştir [Kalafat, 2016].

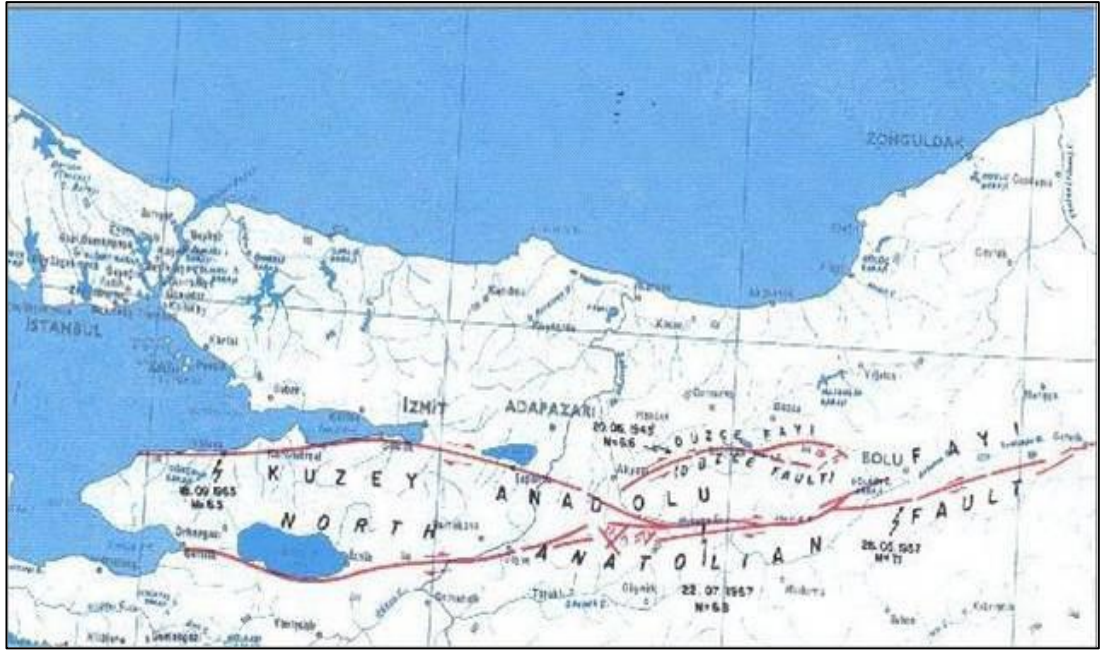
Tablo 3.1: 1939 Erzincan Depremi sonrasında KAFZ'da meydana gelen büyük depremler (1939-2010).

N o	Tarih-Date			Zaman-Time			Koordinat-Coordinate			Derinlik-Depth		Magnitüd-Magnitüde		Yer-Location
	Gün	Ay	Yıl	Saat	Dak.	Sn.	Enlem-K	Boylam-D	Ref	Km	Ref	Ms	Ref	
1	12	12	1939	23	57	20.9	39.8	39.51	1	20	1	7.9	E	Erzincan
2	20	12	1942	14	3	40.87	40.87	36.47	1	10	1	7.0	E	Erbaa-Niksar-Tokat
3	26	11	1943	22	20	41.05	41.05	33.72	1	10	1	7.2	E	Ladik-Tosya-Samsun
4	1	2	1944	3	22	41.41	41.41	32.69	1	10	1	7.2	E	Gerede-Çerkeş-Bolu
5	26	5	1957	6	33	40.67	40.67	31.00	1	10	1	7.1	1	Abant-Bolu
6	22	7	1967	16	56	40.67	40.67	30.69	4	33	4	6.8	E	Adapazarı-Mudurnu Vadisi
7	17	8	1999	0	1	40.76	40.76	29.95	4	17	4	7.7	4	İzmit-Gölcük-Yalova-Adapazarı-D.Marmara
8	12	11	1999	16	57	40.81	40.81	31.19	4	10	4	7.4	4	Düzce-Kaynaşlı



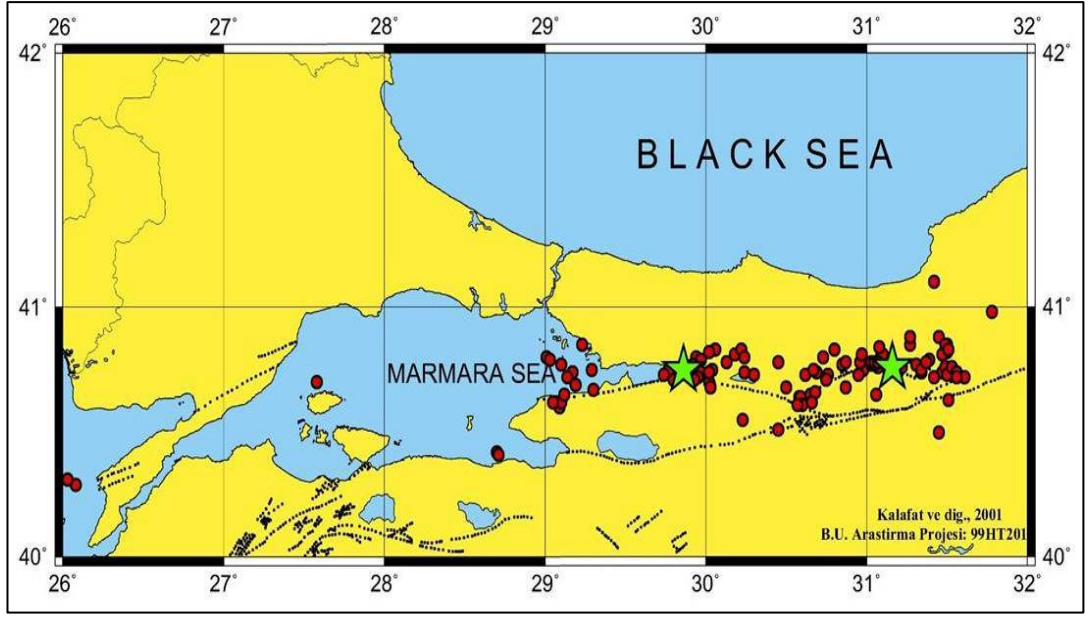
Şekil 3.8: a) 1939 Depreminden sonra büyük depremlerin batıya göçü ve b) Batıya göç eden depremlerin atımlarının dağılımı.

Şekil 3.8’ de görüldüğü gibi KAFZ’nun ana segmentlerinde meydana gelen büyük depremler batıya doğru kırılarak devam etmiş son olarak büyük depremlerden 1999 depremi meydana gelmiştir. Bolu’ya kadar net şekilde gözlenebilen KAFZ’nun ana 2 kolundan; kuzey kolu, İzmit Körfezi’ne kadar uzanıp Marmara çukurundan geçerek Ganos Fayı’na bağlanmakta olup, Saroz Körfezi’ne kadar uzanarak Ege Denizi’ne ulaşmaktadır. Güney Kolu ise, İznik Gölü’nün güneyinden geçerek Gemlik Körfezine oradan da Güney Marmara’ya ulaşmaktadır [Şaroğlu vd., 1992].

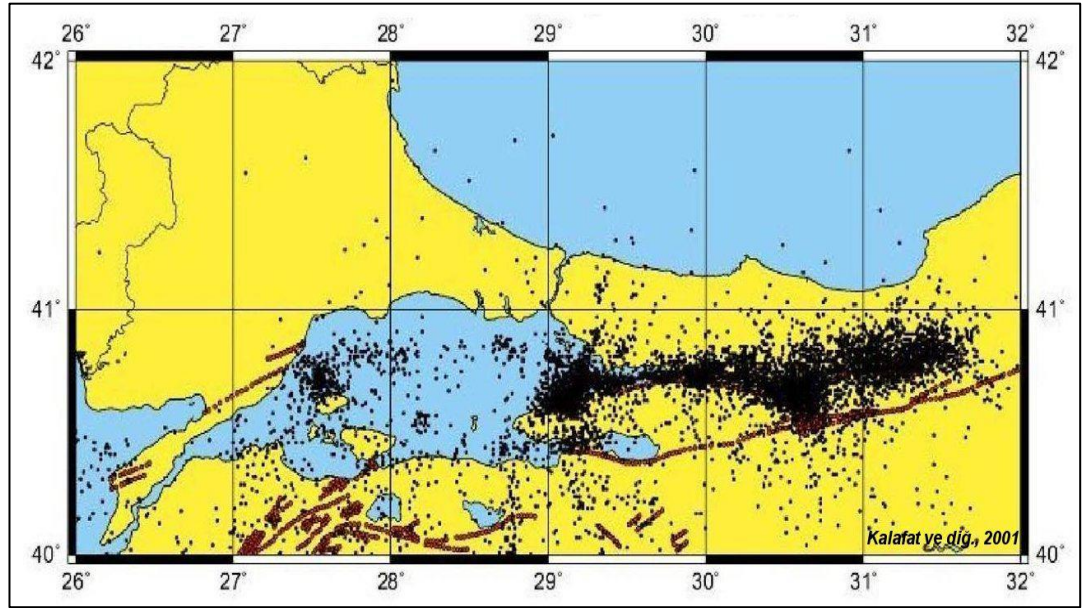


Şekil 3.9: MTA aktif fay haritasından KAFZ' nun Batıya Uzantısı.

KAFZ için 1999 Depremi sonrasında önemli tartışma konularından biri batıya doğru kırılmanın, Hersek Burnunu geçmediği şeklindeydi ama eldeki veriler 17 Ağustos 1999 Depremi sonucu kırılmanın hem güneye Çınarcık hem de kuzeye Yalova açıklarından Hersek Burnunu geçerek adaların önlerine doğru devam ettiğini ve fayın segmentinin de 1999 Kocaeli depremi ile kırıldığı yönündedir (Kalafat, 2016). Buna verilebilecek önemli örnekler, bölgede kısa sürede oluşan depremlerin büyüklüğü $M > 4$ olanların artçı deprem dağılımları, arazi gözlemleri, ivme kayıtları, İstanbul-Yalova arasındaki Türk Telekom (TT) deniztabanı fiber kabloların parçalanmaları şeklindedir ve Kalafat vd., (2001);(Şekil 3.10 ve Şekil 3.11) [Kalafat, 2016].



Şekil 3.10: 17 Ağustos 1999-31 Aralık 2000 tarihleri arası Marmara Bölgesi Deprem Etkinliği.

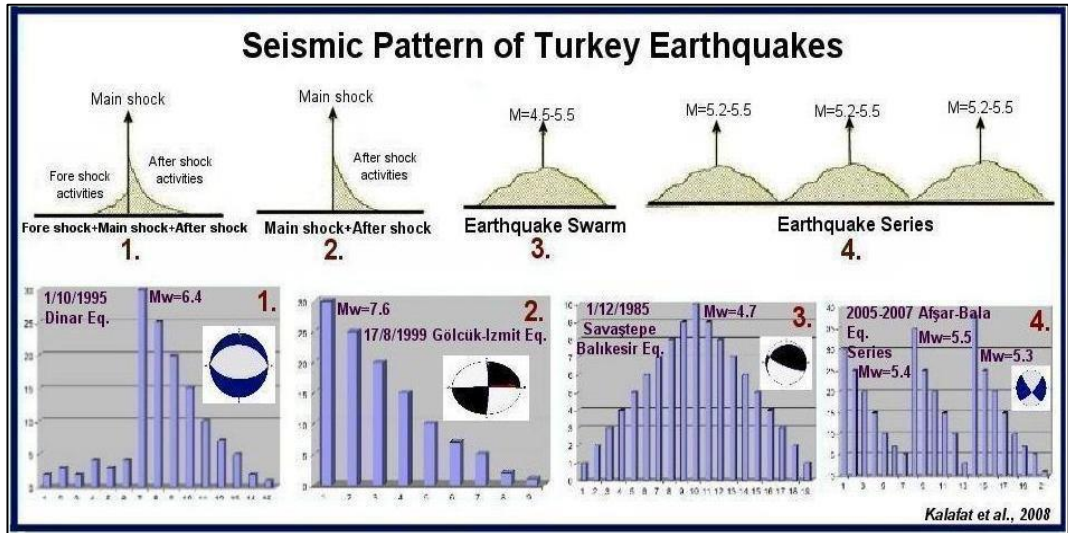


Şekil 3.11: Depremleri artçıoklarının dağılımı.

3.2.1. KAFZ'nun Ana Segmentlerindeki Deprem Oluş Yapısı

Bir bölgenin depremselliğini ortaya konulmasında, her bölgenin karakteristik tektonik özelliklerini yansıtan deprem oluşum düzenlerinin tesbiti, oluşan ve oluşacak

depremlerin oluş süreçlerinin takibi için oldukça önem taşımaktadır. KAFZ’nu içindeki fay segmentlerinde meydana gelen depremlerin oluş düzeni incelendiğinde karşımıza çıkan tabloda KAFZ’daki depremlerin Ana şok+ Atçı şok şeklinde olduğunu göstermektedir. KAFZ’daki ana fay segmentlerinde büyük kırılma öncesi öncü şok aktivitesi görülmemektedir fakat bu bölgede deprem aktivitesinin olmadığı anlamına gelmemektedir. Aksine KAFZ’da meydana gelecek büyük bir deprem öncesi yıllarca süre gelen yoğun deprem aktivitesi görülür, bunun anlamı ise fay segmentinin diri ve hazırlık evresinde olduğudur [Kalafat, 2016]. KAFZ’da o büyük depremlerden sonra oluşan en büyük artçı deprem M=5.9 olarak belirlenmiştir. Bölgede KAFZ üzerinde meydana gelebilecek büyük deprem öncesi oluş düzeninden farklı bir davranış beklentisi oldukça düşüktür Kalafat, (2016), (Şekil 3.12); [Kalafat, 201].

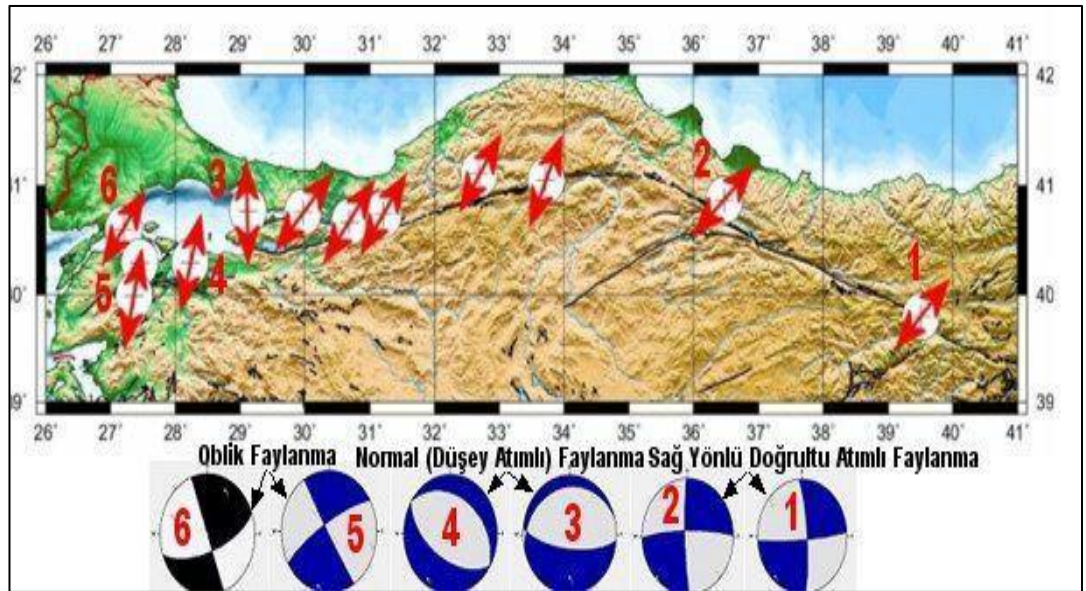


Şekil 3.12: Türkiye depremlerinde oluş düzenini gösteren örnekler.

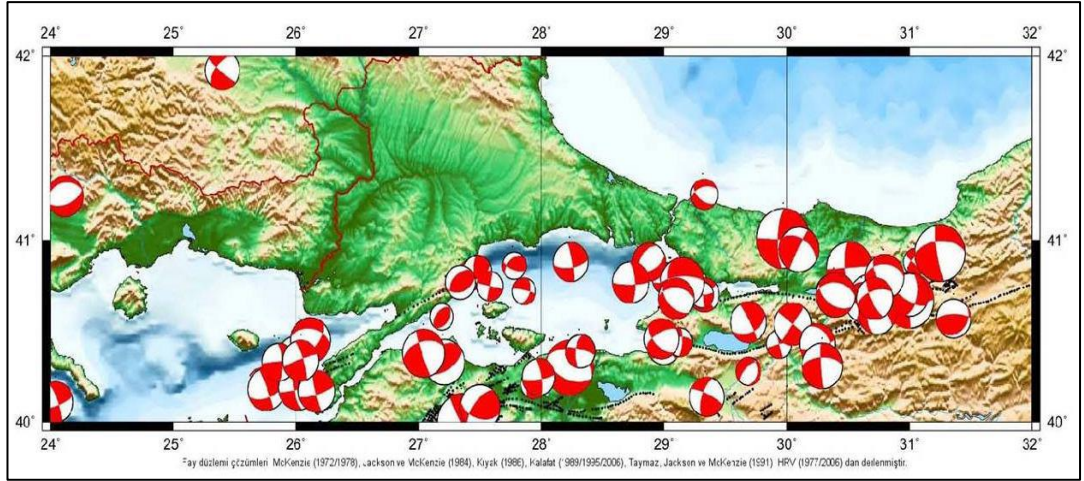
3.2.2. KAFZ’da Faylanma Mekanizmaları ve Hakim Gerilme Eksenlerinin Dağılımı

KAFZ’nun karakteristik yapısı tipik bir sağ yanal doğrultu atımlı faydır. Yanal olarak ta blokları hareket etmektedir. Genel anlamda KAFZ üzerinde gerçekleşen depremlerin gerilme dağılımı ve karakteristiği değişmemektedir [Kalafat, 2016]. Şekil 3.13’de görüldüğü gibi 1 nolu depremde maksimum gerilme (T açılma) eksenin hakim yönü KD-GB olmakta ve bu yön tüm KAFZ’ da oluşan büyük depremlerde de değişmemektedir. Faylanma mekanizma çözümleri ise yalın sağ yanal doğrultu atımlı

özelliği taşımakta. Fakat KAFZ'nun batı uzantısı Bolu'ya kadar net gözlenmekte ise de Marmara bölgesinin doğusundan itibaren KAFZ 2 ana kola ayrılmakta ve batıya gittikçe, deniz içerisinden de güneye indikçe fay karakteristiği değişmekte ve oluşan depremler Normal Faylanma (Düşey atımlı) özelliği kazanmaktadır. Bununla beraber hakim olan gerilme eksenlerinin konumu da değişmekte ve maksimum gerilme eksenlerin haki yönü K-G olarak gözlenmektedir. Daha da güneybatı ve batıya inindikçe de 5 ve 6 nolu depremler gibi ,faylanma tipi (Oblik), maksimum gerilme yönleride (KKD-GGB) olarak tekrardan değişmekte [Kalafat, 2016]. Bu verilerden yola çıkarak KAFZ'nun batıda Marmara Denizi ve çevresinin iki büyük tektonik yapının bir yerde bir araya geldiği ve birbirini etkilediği anlaşılmaktadır. Bu olaya örnek verilmek istenirse 1912 Mürefte-Şarköy Depremi en güzel örneklerdendir [Kalafat vd., 2009]; (Şekil 3.14).



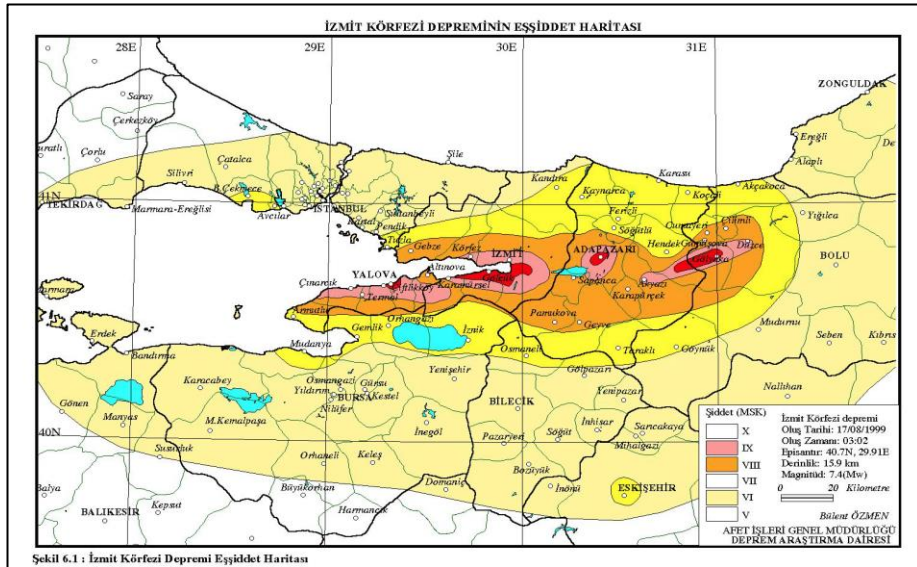
Şekil 3.13: KAFZ Boyunca Maksimum gerime eksenlerinin (T) dağılımı ve faylanma mekanizmalarının ve doğrultularının değişimi.



Şekil 3.14: Marmara bölgesinde faylanma mekanizmalarının dağılımı.

3.2.3. 17 Ağustos 1999 Kocaeli Depremi

Kocaeli (İzmit) il merkezinin 12 km Güneydoğusunda 17 Ağustos 1999 tarihinde yerel saat 03:02'de ve KAFZ üzerinde büyüklüğü $M_w=7.4$ (Moment Magnitüd) olan bir deprem meydana gelmiştir. Depremin dışmerkezi (epicenter) 40.70 N, 29.91E, derinliği ise 15.9 km olarak AFAD tarafından belirlenmiş olup, depreminin maksimum şiddeti (MSK şiddet cetveline göre) X olarak belirlenmiştir [Özmen, 2000]; (Şekil 3.15).



Şekil 3.15: Kocaeli Körfezi Depremi eş şiddet haritası.

Oluşan deprem sadece 45 sn sürmüş olup, sadece Kocaeli’nde değil, Marmara başta olmak üzere Ege ve İç Anadolu Bölgelerinde dahi hissedilmiştir. Bu deprem farklı kurumlarca belirlenmiştir [Özmen, 2000]; (Tablo.3.2).

Tablo 3.2: . Farklı kurumlar tarafından belirlenen 17/08/1999 Kocaeli depremi büyüklüğü.

KURUM	Tarih	Enlem	Boylam	Derinlik (Km)	Mw	Md
Afet İşleri Genel Müdürlüğü Deprem Araştırma Dairesi	17.08.1999 00:01:39.07 (GMT)	40.7	29.91	15.9	7.4	6.7
Boğaziçi Üniversitesi-Kandilli Rasathanesi	17.08.1999 03:01.37.6(YS)	40.76	29.97	18.0	-	7.4
USGS	17.08.1999 00:01:39.80(GMT)	40.748	29.864	17.00	7.6	-

Depremden sonra elde edinilen bilgilere göre Kocaeli ve Sakarya olmak üzere birçok can kaybı ve yapı hasarları meydana gelmiştir. Resmi kayıtlara göre can kaybı ve yaralı sayısı tablo 3-3’ de gösterilmiştir. Depremin Türkiye'nin önemli sanayi merkezlerinin bulunduğu, nüfus yoğunluğunun fazla olduğu bir bölgede meydana gelmesi can ve mal kaybının fazla olmasına neden olmuştur [Özmen, 2000].

Tablo 3.3: Kocaeli depreminden sonra yaşanan can kayıpları ve yaralı sayıları.

İL ADI	Ölü Sayısı	Yaralı Sayısı
KOCAELİ	9476	19447
SAKARYA	3890	7284
YALOVA	2504	6042
İSTANBUL	981	7204
BOLU	271	1165
BURSA	268	2375
ESKİŞEHİR	86	375
ZONGULDAK	3	26
TEKİRDAĞ	-	35
TOPLAM	17479	43953

TC. İçişleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum Yönetim Başkanlığından alınan bilgilere tablo 3.4 ‘ de ev ve iş yerlerinde meydana gelen hasar durumları gösterilmiştir [Özmen, 2000].

Tablo 3.4: Koceli depremi sonrasında TC. İçişleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum Yönetim Başkanlığından alınan bilgilerle meydana gelen yapı hasarları.

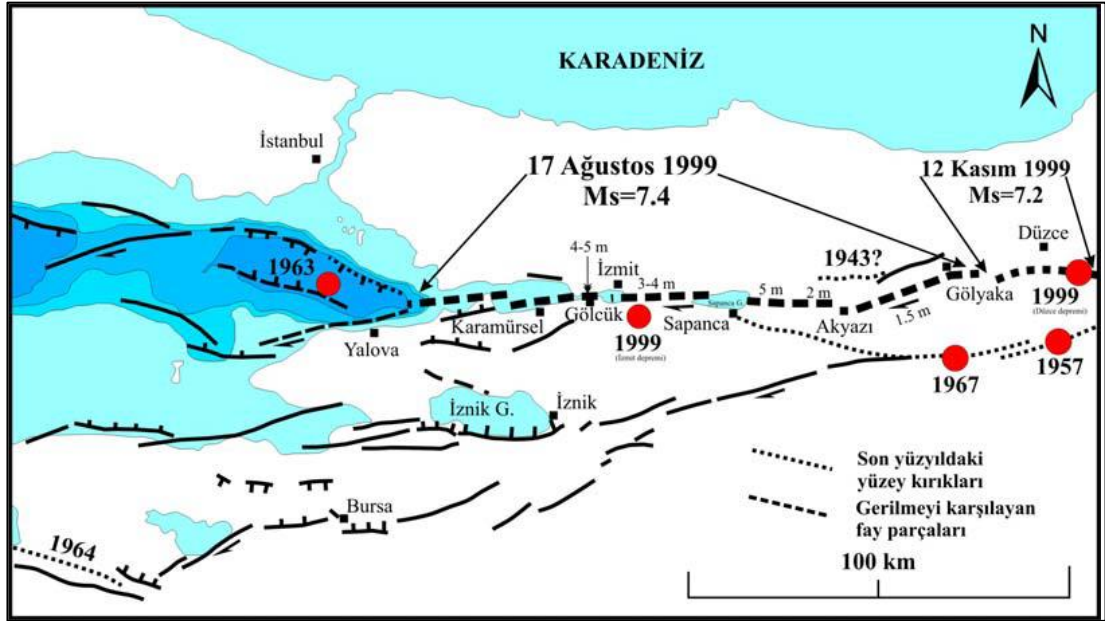
HASAR DURUMU						
İL	AĞIR		ORTA		HAFİF	
ŞEHİR	EV	İŞYERİ	EV	İŞYERİ	EV	İŞYERİ
BOLU	3095	649	4180	1015	3303	482
BURSA	63	5	434	19	940	68
ESKİŞEHİR	80	19	96	8	314	22
İSTANBUL	3073	532	13339	1999	12455	1239
KOCAELİ	19315	3031	21287	3001	22452	3227
GÖLCÜK	12310	1870	7789	886	9299	1118
SAKARYA	19043	4068	12200	1963	18712	1675
YALOVA	9462	727	7917	1036	12685	1881
TOPLAM	66441	10901	67242	9927	8016	9712

3.2.3.1. 17 Ağustos 1999 depremi yüzey kırıkları

17 Ağustos 1999 depreminin yüzey kırığı geometrik özellikleri olan sıçrama veya büküm ve yer değiştirme dağılımına göre 5 fay segmentine ayrılmıştır. Bunlar batıya doğru sırası ile; Hersek, Karamürsel-Gölcük, İzmit-Sapanca Gölü, Sapanca-Akyazı ve Karadere fay segmentleridir [Tarı, 200]; Şekil 3.16).

Yüzey kırığı sağ yanal atımlı ve fay düzlemi birçok yerde düşeydir. Depremden sonra oluşan artçı şokların ($M \geq 4$) Adapazarı'nın güneyinde, İzmit, Sapanca, Çınarcık ve Düzce' de yoğunlaştığı görülmektedir [Barka et al., 2002].

Depremi üzerinde 5.2 m sağ yanal yerdeğiştirmenin gözlemlendiği yüzey kırığı İzmit Körfezi'nin batısından Düzce Havzası'nın batısına kadar devam ettiği gözlenmiştir [Tarı, 2007].

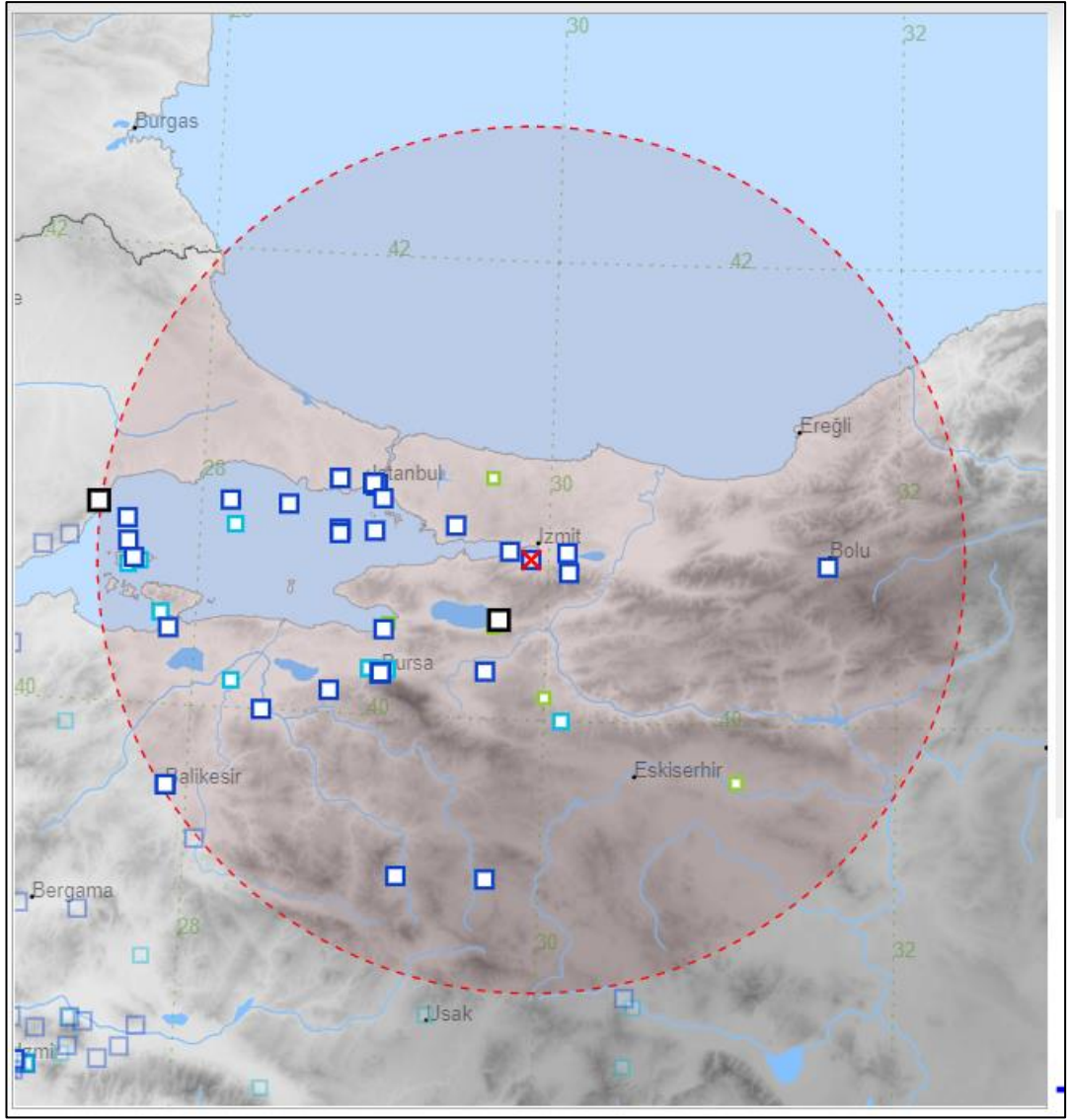


Şekil 3.16: 1943, 1957, 1964, 1967 ve 1999 depremlerin oluşturduğu yüzey kırıkları ve gerilmeyi karşılayan fay segmenteleri.

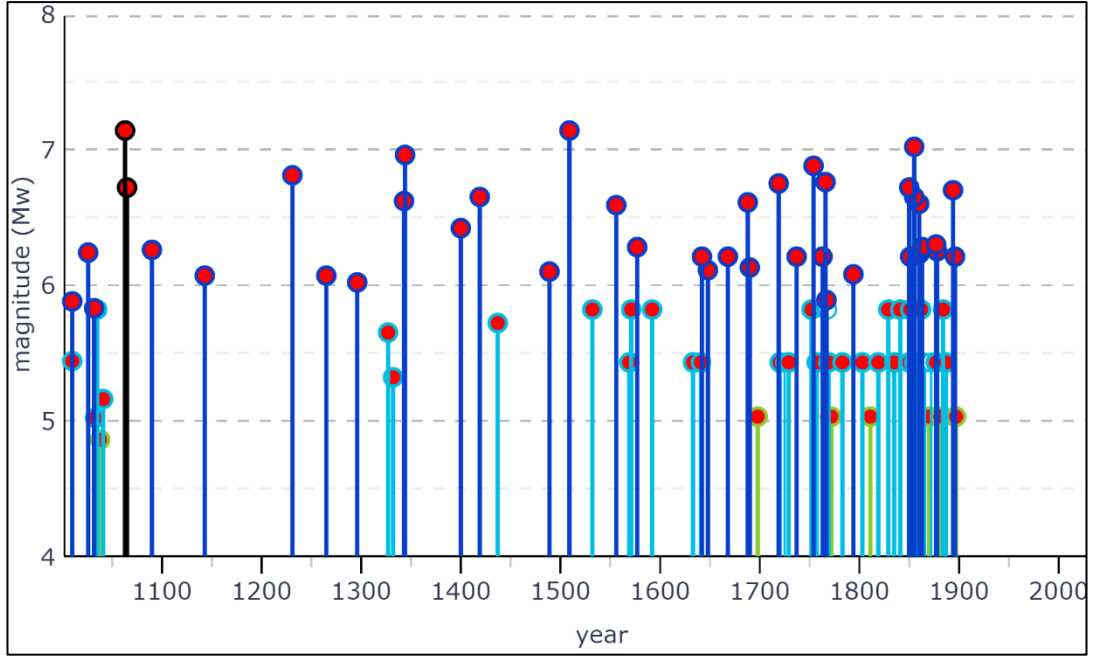
3.3. Tarihsel Depremler

Deprem kayıtları aletsel deprem öncesi olan tarihsel kayıtlara göre tespit edilebilir. Bu kayıtlar yazılı olarak Çin'de 3000 yıl; Ortadoğu ve Japonya'da 2000 yıl civarındayken A.B.D'de birkaç yüzyıl civarına ancak dayanmaktadır [Kramer, 1996]. Yer hareketinin tarihsel kaydı ile geçmişte meydana gelen depremleri teyit etmek ve şiddet dağılımını belirlemede kullanılabilir. Yeterli veri elde edilebildiğinde maksimum şiddet (max intensity) elde edilebilir ve bu veri ile de deprem magnitüd ve dışmerkezi (epicenter) de tespit edilebilir [Kramer, 1996]. Eldeki bu veriler ile tespit edilmiş olan dışmerkezin yeri bölge nüfusuna ve deprem tekrarlama süresine bağlı ise de, tarihsel depremlerin coğrafi yeri deprem kaynakları hakkında bilgi vermektedir.

Tarihsel depremlerin oluş zamanı kaydedilmiş olduğundan, belli bölgedeki depremselliği ve deprem tekrarlama oranını değerlendirmede kullanılır. Çalışma alanı içinde meydana gelen tarihi depremler için AFAD (T.C İÇİŞLERİ BAKANLIĞI Afet ve Acil Durum Yönetim Başkanlığı) ve KOERİ (Kandilli Rasathanesi Deprem Araştırma Enstitüsü) verileri karşılaştırıldı. Karşılaştırma sonucunda birbiriyle eşleşen depremlerin (22.05.1766 depremi hariç; AFAD’ da VII şiddetinde olduğu söylenirken KOERİ’de aynı depremin IX şiddetinde olduğu söylenmiştir.) şiddetleri aynı olduğu görülmüştür. Şekil 3.17’de (AHEAD; European Archive of Historical Earthquake Data) 1000 ve 1899 yılları arasında belirlenen çalışma bölgesinde meydana gelmiş olan tarihsel depremlerin sismisite dağılımı görülmektedir. Bu aynı zamanda SHARE projesinde kullanılmış olan tarihi deprem çalışmasının bir kısmıdır.



Şekil 3.17: Çalışma bölgesinde 1000-1899 yılları arasında meydana gelmiş tarihi depremlerin bölgesel dağılımı.



Şekil 3.18: Çalışma bölgesinde 1000-1899 yılları arasında meydana gelmiş tarihi depremlerin magnitud dağılımı.

3.4. Aletsel Depremler

Dünyanın farklı yerlerinde son 90 veya 80 yıllık dönem için yaklaşık olarak her yıl 10 adet $M_s > 7$ deprem oluşmaktadır [Kramer, 1996]. Aletsel kayıtlar, büyük deprem kayıtlarına 1900 yıllarında başlanmıştır. Fakat 1960 yılından önceki birçok depreme ait bilginin ya kalite sorunu vardır ya da eksiktir. Aletsel depremler bir çizgi üzerinde dizildiğinde içmerkezleri (hypocenter) veya dışmerkezleri (epicenter) deprem kaynağını gösterir ayrıca artçı şokların analizi de deprem kaynaklarının belirlenmesinde yardımcı olur [Kramer, 1996].

4. DEPREM TEHLİKE ANALİZİ GİRDİLERİ

4.1. Deprem Kataloğu

4.1.1. Homojen Deprem Kataloğu

Deprem katalogları yerel uluslararası kaynaklara dayanan tarihsel ve aletsel dönemi kapsayan araştırmalarla oluşturulur. Aynı zamanda olasılıksal analizlerin önemli bir bileşeni de deprem kataloğudur. Fakat deprem kataloglarında magnitüdler farklı ölçeklerde verildiğinden doğrudan kullanım için uygun olmayabilir. Bunun için bu magnitüdlere tek bir ölçeğe çevrilip öyle kullanılması uygun olup, tavsiye edilendir [Yüçemen, 2011]. Poisson modelindeki bağımsızlık varsayımlarından dolayı artçı ve öncü depremlerde ayıklanmalıdır.

Katalogların da değişik magnitüd ölçeklerinin tek ölçeğe dönüştürülmesinde uygun olan moment magnitüd (M_w) olacaktır. Değişik büyüklük ölçeklerinde (süre magnitüdü- M_d , cisim dalga magnitüdü- M_b , yüzey dalgası magnitüdü- M_s , yerel magnitüd- M_L) kayıtlanan depremlerin M_w 'ye dönüştürülmesi oldukça önem arz etmektedir. Bu amaçla dönüşümü sağlamak adına farklı ampirik ilişkiler geliştirilmiştir. İlerleyen bölümlerde EMME ve SHARE projeleri için oluşturulan kataloglarda kullanılan ampirik formüller verilecektir.

4.1.1.1. EMME homojen deprem kataloğu

İyi bir katalog oluşturabilmek için ulusal ve uluslararası merkezlerden bilgi toplanması gerekir. Katalogun aletsel dönemi için üç kaynaktan yararlanılmıştır. Bunlar International Seismological Center (ISC), National Earthquake Information Center (NEIC), EHB Bülten'dir. Katalogun tarihsel kısmı için ise National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)'dır [Erdik vd., 2012]. EMME kataloğunda depremlerin derinlik, magnitüd, enlem, boylam, zaman verileriyle 28244 veri bulunmaktadır. Bu verilerin önemli olanları tablo 4.1'de verilmiştir [Zare et al., 2014].

Tablo 4.1: EMME projesinde kullanılan katalog ile ilgili toplanan verilerin listesi.

Original source of data	The number of records	Time period	Included magnitude values
Armenia's list of data	3,280	995–2006	<i>Ms, mb</i>
Ambrasys	342	400 B.C.–1999	<i>Ms, mb</i>
BHRC	431	1503–2005	<i>Ms, mb</i>
EDIG	1,400	1250 B.C.–2003	<i>Ms, mb</i>
EHB	2,686	1960–2006	<i>Ms, mb</i>
IIEES	1,013	2000–2006	<i>Ms, mb, ML</i>
IRSC	37	2006	<i>MN</i>
ISC	13,758	1901–2006	<i>Ms, mb, ML</i>
ISK	1,521	1901–2006	<i>mb</i>
KOERI	1,817	1901–2006	<i>mb</i>
Jordan	52	1990–2006	<i>Ms, mb</i>
Mak	5,459	1901–2006	<i>mb</i>
NC	265	50–1969	<i>Ms, mb</i>
NCUSSR	189	1900–1976	<i>mb</i>
NEIC	95	1963–2002	<i>Ms, mb</i>
NOAA	61	31 B.C.–1970	<i>mb</i>
PDE	77	1973–2006	<i>mb, Ms</i>
PLN	987	1976–2006	<i>Ms, mb</i>
NOW	54	1924–1964	<i>Ms, mb</i>
PAPA003	336	1010–1899	<i>mb</i>
SHE	231	1900–1999	<i>mb</i>
SMCG	535	1991–2006	<i>Ms, mb</i>
SOYAL981	239	1003–1998	<i>mb</i>
Sul	269	1905–1999	<i>mb</i>
TARMAN	221	1970–2002	<i>Ms, mb</i>
USGS	199	1903–2006	<i>Ms, mb</i>

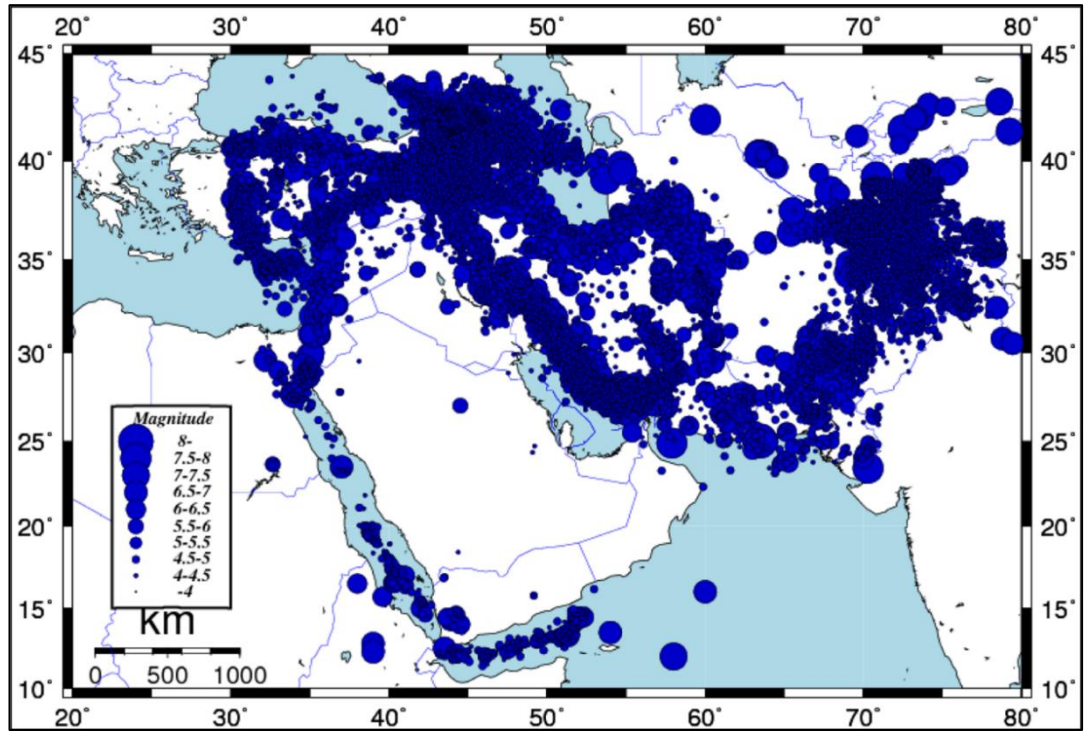
Ambraseys and Jackson (1998) M.Ö. 464'den 1995'e kadar Doğu Akdeniz'de meydana gelen depremleri araştırdı. 150 depremin 62'si iyi tanımlanabilmiş M_s ve güvenilir yarılmaya uzunları tespit edilebilmiştir. Bunların %55 doğrultu atımlı, %30 normal, %15 ters faydır [Zare et al., 2014].

Homojen katalog için kullanılan dönüşüm formülleri Scordilis, (2006) tarafından hazırlanmıştır. Bölge için uygunluğu göz önüne alınarak çalışma için oluşturulan formüller tablo 4.2'de gösterilmiştir.

Tablo 4.2: Homojen katalog elde etmek için M_b , M_s , M_L magnitüdlerinin M_w 'ye dönüşmek için kullanılan formüller.

Magnitüd Ölçeği	Dönüşüm Formülü	Sınır Değerler	Açıklama
M_b, M_w	$M_w = 0.87 M_b + 0.83$	$3.5 \leq M_b \leq 6.0$	Bu çalışma için geliştirilen
	$M_w = 0.85(\pm 0.04) M_b + 1.03(\pm 0.23)$	$3.5 \leq M_b \leq 6.2$	Scordilis'in çalışması
M_s, M_w	$M_w = 0.66 M_s + 2.11$	$2.8 \leq M_s \leq 6.1$	Bu çalışma için geliştirilen
	$M_w = 0.93 M_s + 0.45$	$6.2 \leq M_s \leq 8.2$	
	$M_w = 0.67(\pm 0.005) M_s + 2.07(\pm 0.03)$	$3.0 \leq M_s \leq 6.1$	Scordilis'in çalışması
	$M_w = 0.99(\pm 0.02) M_s + 0.08(\pm 0.13)$	$6.2 \leq M_s \leq 8.2$	
M_L, M_w	$M_w = 1.01 M_L - 0.05$	$4.0 \leq M_L \leq 8.3$	Bu çalışma için geliştirilen

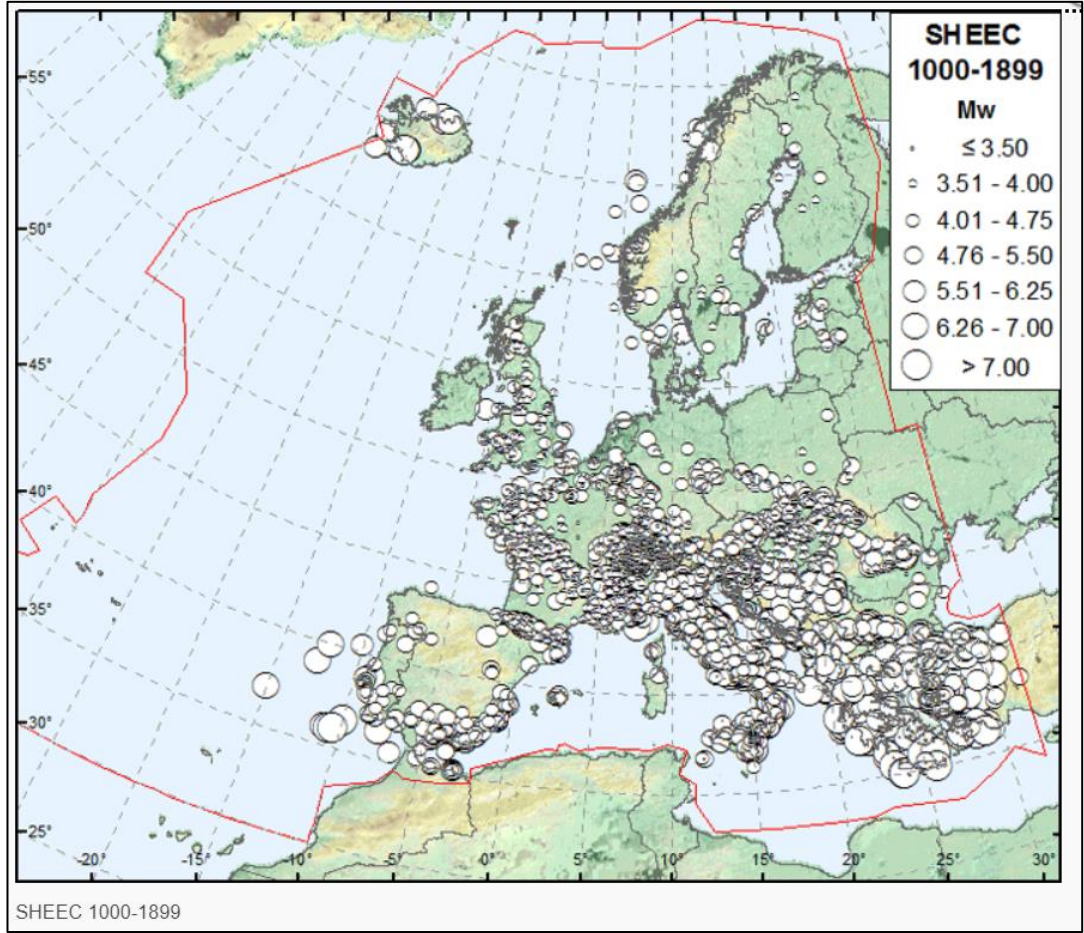
Daha sonra sıfır magnitüd ve hatalı büyük derinlikler de atılarak 28244 tarihi ve aletsel depremi barındıran ve magnitüd değeri $4.0 < M_w < 8.1$ olan depremleri içeren homojen bir katalog elde edilmiş oldu [Zare et al., 2014]; (Şekil 4.1).



Şekil 4.1: EMME projesinde 28,244 deprem içeren homojen katalog.

4.1.1.2. SHARE homojen deprem kataloğu

SHARE Avrupa deprem kataloğu (SHEEC) Stucchi et al., (2013) tarihi deprem kısmı 1000-1899 yıllar arasını kapsamaktadır. Bu kapsamda yapılmış olan Archive of Historical Eartquake Data (AHEAD) proje kapsamında hataların ayıklanıp, gözden geçirilmiş en son tarihli deprem çalışmasıdır. Çalışma bölgesel kataloglarda bilinmeyen 306 depremle birlikte 4,722 deprem içermektedir [Stucchi et al., 2013]; (Şekil 4.2).



Şekil 4.2: SHARE 1000-1899 yıllarına meydana gelen tarihi depremler.

Tablo 4.3’de Stucchi et al., (2012)’den dışmerkez yoğunluğunu (I_0) kullanarak M_w elde edilerek veriler düzenlenmiştir.

Tablo 4.3: SHARE projesi kapsamında bölgesel özellikler dikkate alınarak moment magnitudüne dönüşüm formülleri.

Bölge	Olay Sayısı	Io Aralığı	Mw Aralığı	Formül	Standart Sapma
BET=Betic	32	4.0 - 8.0	3.3 - 6.2	$M_w = 1.487 + 0.552 \cdot I_o$	0.38
SCR=Stable Continental Region	26	4.5 - 8.0	3.6 - 5.6	$M_w = 0.528 + 0.655 \cdot I_o$	0.25
WAP=Western Alps and Pyrenees	17	5.0 - 8.5	3.5 - 5.8	$M_w = 1.441 + 0.502 \cdot I_o$	0.31
APD=Apennines,Nort-Eastern Alps and Dinarides	345	5.5 - 11.0	4.0 - 7.0	$M_w = 2.182 + 0.423 \cdot I_o$	0.34
BAS=Broad Aegean,Shallow	62	5.0 - 10.0	4.6 - 7.1	$M_w = 3.404 + 0.355 \cdot I_o$	0.25

Proje kapsamında Türkiye'nin tarihi deprem değerlendirilmesinde şekil 4.2'de görülen 241 deprem bulunmakta bunun 151 ise Soysal vd., (1981) çalışmasından alınmıştır. Soysal vd. (1981) çalışmasında magnitud değerlendirilmediğinden Kalafat vd. (2007) tarafından geliştirilen dışmerkez yoğunluğundan (I_o) M_s hesaplanmıştır [Sesetyan et al., 2013].

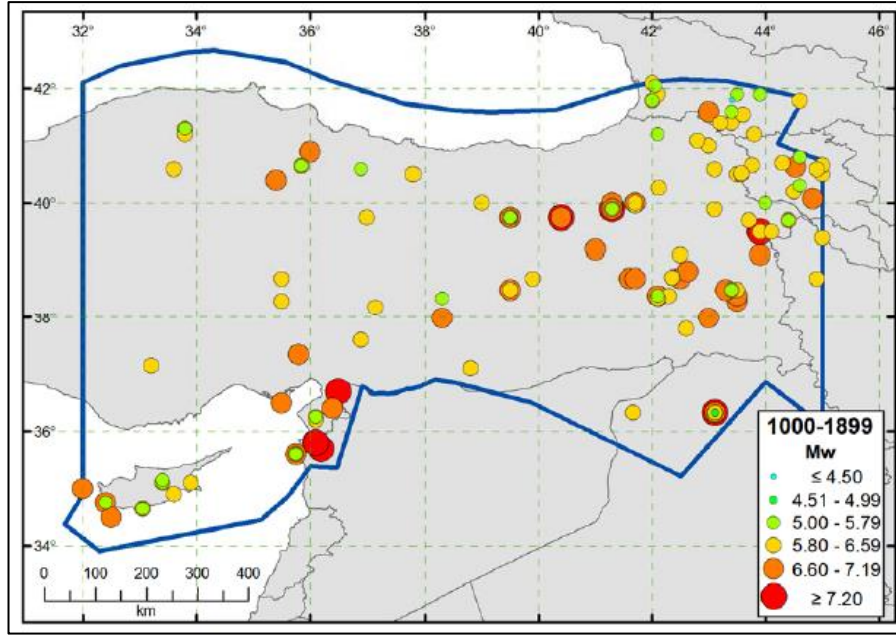
$$M_s = 1.39 + 0.60 \cdot I_o \quad (4.1)$$

Daha sonra elde edilen bu değerler EMME projesinin çerçevesi kullanılarak geliştiren dönüşüm formülleri ile M_w magnitudüne dönüştürülmüştür (Sesetyan et al, 2013).

$$M_w = 2.1117 + 0.6633 \cdot M_s \quad (2.8 \leq M_s \leq 6.1) \quad (4.2)$$

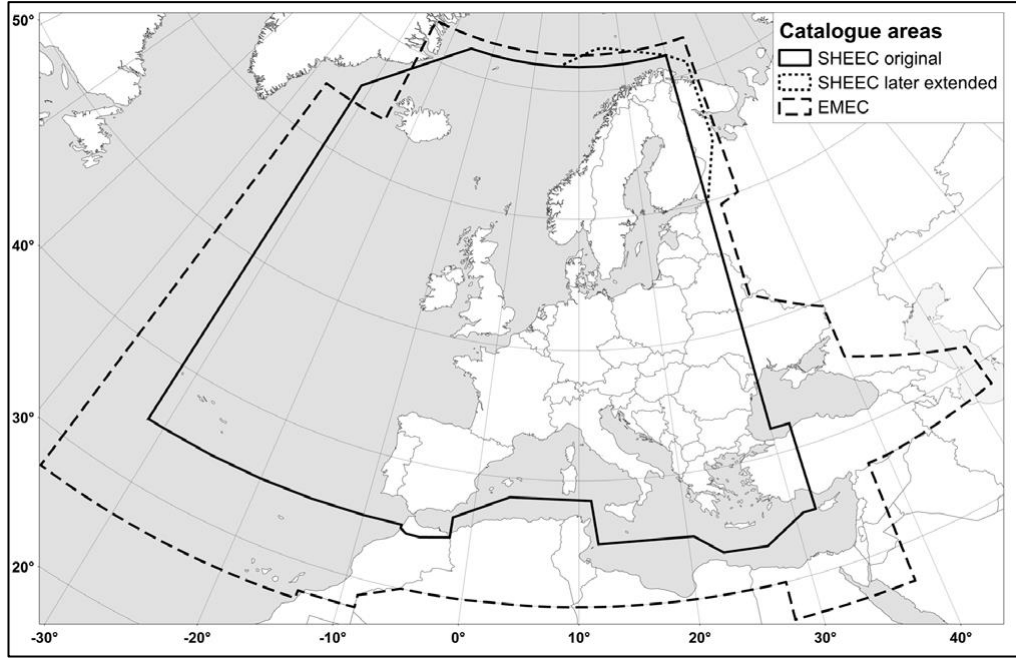
$$M_w = 0.4491 + 0.9307 \cdot M_s \quad (6.2 \leq M_s \leq 8.2) \quad (4.3)$$

SHARE projesi için aletsel deprem çalışması Grünthal ve Wahlström, (2013) tarafından yapılan, European-Miterranean Earthquake Catalogue (EMEC) 1900-2006 yıllarını kapsayan bir çalışmadır. SHARE 1900-2016 yılları arasında hazırlanan katalog EMEC kataloğunun bir alt çalışmasıdır [Grünthal and Wahlström, 2013]; (Şekil 4.4).

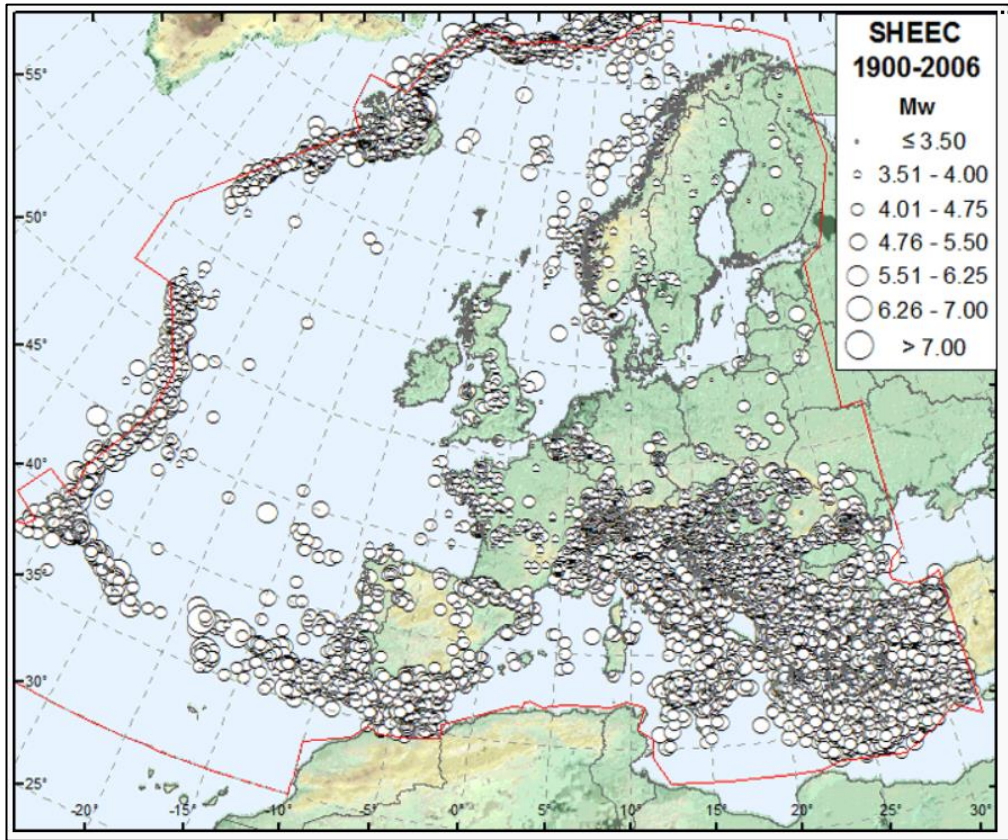


Şekil 4.3: SHARE proje kapsamında 1000-1899 yılları arasında Türkiye'nin doğusunda ve orta kısmında meydana gelen tarihi depremler.

SHARE kataloğunda, dışmerkez lokasyonun enlemi $\geq 44^\circ\text{N}$ ile $M_w \geq 3.5$ olan ve enlemi $< 44^\circ\text{N}$ ile $M_w \geq 4.0$ olan 13,600 deprem vardır [Grünthal and Wahlström, 2013]. Projede Türkiye kısmında 1900'dan sonra meydana gelen deprem sayısı 5,9292 olduğu belirlenmiştir. Bu veriler özellikle Kalafat vd. (2007) tarafından hazırlanmış olan katalog ve ISC kataloglarından elde edilmiştir [Sesetyan et al., 2013]; (Şekil 4.6).

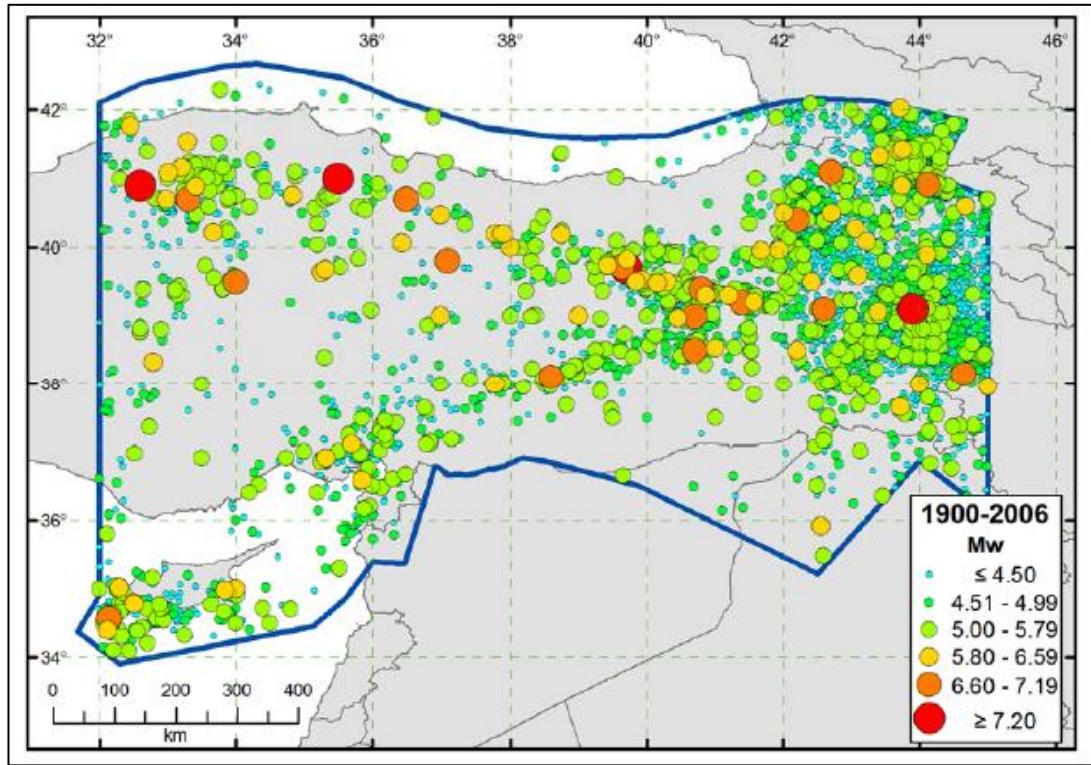


Şekil 4.4: SHARE, EMEC ve daha sonra genişletilen SHARE katalog alanının karşılaştırılması.



Şekil 4.5: 1900-2006 yılları arasında SHARE projesi için hazırlanan katalog.

Şekil 4.5’de ise SHARE projesinde kullanılan aletsel depremler belirtilmiştir [Sesetyan et al., 2013].



Şekil 4.6: SHARE projesi kapsamında 1900-2006 yılları arasında Türkiye’nin orta ve batısında meydana gelen aletsel depremler.

4.2. Ayrıştırma Analizi (Declustering Analysis)

Poisson modeli depremlerin zamansal ve mekânsal açısından birbirinden bağımsız şekilde oluştuğunu kabul eden ve olasıksal tehlike analizinde oldukça sık kullanılan bir varsayımdır. Bu nedenle, Poisson modelindeki bu bağımsızlık koşulunu sağlayabilmek için deprem verilerindeki artçı ve öncü deprem verileri ayıklanmalıdır [Yüçemen, 2011].

Artçı ve öncü şokların mekân ve zamana göre belirlenebilmesi için farklı çalışmalar yapılmıştır. (Örneğin: Omori, (1894), Gardner and Knopoff, (1974), Prozorov and Dziewonski, (1982), Utsu vd., (1995), Frans and Dyck, (1985), Kagan, (2002) ve Savage and Rupp, (2000)). Mekânsal ve zamansal olarak artçı ve öncü depremler ana şok bölgesinde benzer dağılım gösterirler [Yüçemen, 2011]. Bundan dolayı ikincil depremlerin belirlenmesinde artçı ve öncü depremler aynı kabul edilir.

Bahsedilen tüm çalışmalarda belli büyüklükteki depremlerin, deprem kaynağı, deprem bölgesi, fayının çeşidi ve uzunluğu gibi farklılıklar dikkate alınmadan ikincil deprem aktivitesine neden olduğu kabulü vardır [Yücemen, 2011]. Her bir deprem büyüklüğü seviyesinde bulunan ana şoka belli bir uzaklık ve zaman penceresinde olan tüm depremlerin ana şokun artçı depremleri olduğu varsayılır ve depremin öncü sayılabilmesi içinde kendi büyüklük seviyesinde belirlenmiş uzaklık ve zaman penceresinde kendinden büyük depremin var olması gerekir [Yücemen, 2011]. Bu durumlarda magnitüdü büyük olan ikinci depremin ana şok olduğu kabul edilir fakat bunun istisnası magnitüdü 6.0 ‘dan büyük olan tüm depremler ana şok kabul edilir [Yücemen, 2011].

EMME projesinde olayların ayrıştırılması için ZMAP yazılımı Wiemer (2001) kullanılmış [Zare et al, 2014]. Bu yazılımda ayrıştırma için dört algoritma kullanılır. Her bir algoritma farklı uzaklık ve zaman aralıklarını dikkate alır.

Reasenber, (1985) en yaygın kullanılan bağlantılı-penceredir (linked-window) ve Reasenber’in pencereleri mekânda daha büyüktür fakat kısa zaman içinde şok daha büyük olur [Zare et al., 2014]. Reasenber’in algoritması (1985) mekânsal etkileşim bağlantısı $\log d(km)=0.4M0-1.943+k$ Molchan and Dmitrieva, (1992) eşitliği tarafından belirlenir ve buradaki k en büyük depremin mesafesi için “1” ve sonuncusuna olan mesafe için “0” dır [Zare et al., 2014]. Zamansal bağımlılıktan dolayı, zamansal etkileşim bölgesinin genişliği Omori yasasına dayanır. Bu mekân-zaman mesafesi için kullanılan bir yasadır. Tüm bağlantılı olaylar tanımlanan bir kümede en büyük deprem ana şok olarak düşünülür ve daha küçük depremler öncü ve artçı şok olarak görülür. Reasenber algoritmasının (1985) varsayılan standart parametresi tablo 4.4’de verilmiştir.

Tablo 4.4: Reasenber algoritmasında (1985) varsayılan parametreler.

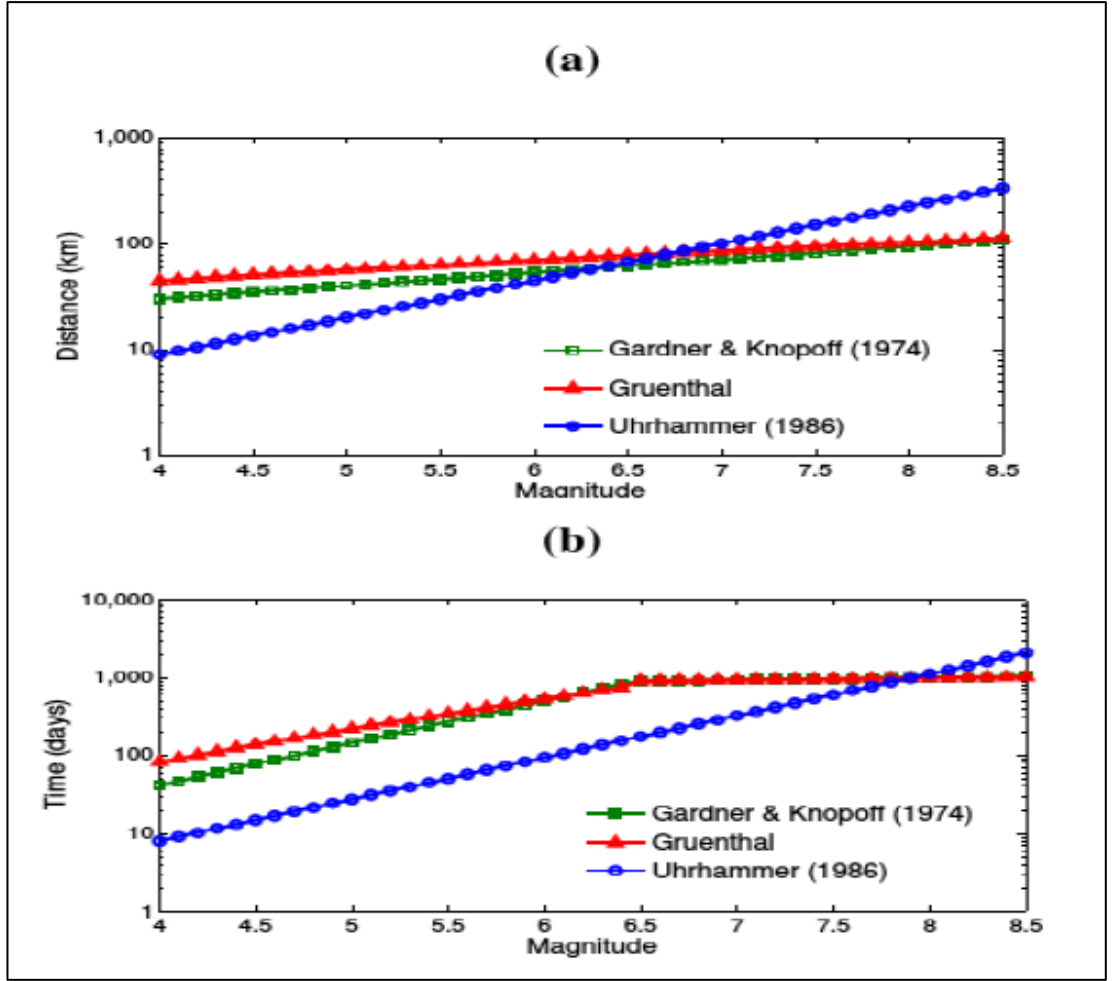
Parametre	Standart	Simülasyon aralığı	
		Min.	Max.
τ_{min} [days]	1	0.5	2.5
τ_{max} [days]	10	3	15
$P1$	0.95	0.9	0.99
x_{meff}	4	0	1
x_k	0.5	1.6	1.8
r_{fact}	10	5	20

τ_{min} : İlk olay kümelenmediğinde küme oluşturmak için ileriye bakılan zamanın minimum değeri, τ_{max} : İlk olay kümelenmediğinde küme oluşturmak için ileriye bakılan zamanın maksimum değeri, $P1$ ileriye bakma zamanını hesaplamak için kullanılan bir sonraki kümelenmiş olayı algılama olasılığı, τ ve x_k kümeler sırasında daha düşük kesme büyüklüğünün artmasıdır, (τ and x_k is the increase of the lower cut-off magnitude during clusters), $x_{meff} = x_{meff} + x_k M$ deki M küme içindeki en büyük magnitüd, x_{meff} katalog için etkili daha küçük magnitüd kesimi ve r_{fact} küme parçası olarak düşünülen yeni olaylar içindeki her bir deprem çevresinde çatlak yarı çapı sayısıdır [Zare et al., 2014].

Gardner and Knopoff, 1974 (GK) metodu ise olay magnetüdlere göre düzeltilen zaman ve uzaklık penceresi içinde öncü ve artçı şokları tanımlar. Katalogdaki olaylar, azalan magnitüd sırasına göre sıralanır ve eğer en büyük olayın mekânsal ve zamansal penceresi içindeyse bağımlı olaylar (öncü ve artçı şoklar) tanımlanır bu yüzden ana şok zamanı içinde öncesinde ve sonrasında olan olaylar düşünülerek öncü ve artçı şoklar belirlenebilir [Ullah, 2016]. Uzaklık ve zaman pencereleri için magnitüd ile ilişkileri dikkate alınarak 1) orijinal GK (1974) penceresi; 2) Gruenthal tarafından modifiye edilen GK penceresi; 3) Uhrhammer (1986) tarafından önerilen GK penceresi tablo 4.5’ de görülmektedir. Ayrıca şekil 4.7’de Weatherill, (2014) uzaklık-magnitüd ve zaman-magnitüd arasındaki ilişki gösterilmiştir.

Tablo 4.5: Gardner and Knopoff (1974), Gruenthal ve Uhrhammer (1986) tarafından uzaklık ve zaman pencerelerinin yaklaşım formülleri.

Metot	Uzaklık (km)	Zaman (gün)
(Gardner & Knopoff, 1974)	$10^{0.1238M+0.983}$	Eğer $M \geq 6.5$, $10^{0.032M+2.7389}$ Değilse, $10^{0.5409M-0.547}$
Gruenthal	$10^{1.77+(0.037+1.02M)^2}$	Eğer $M \geq 6.5$, $e^{-3.95+(0.62+17.32*M)^2}$ Değilse, $10^{2.8+0.024M}$
Uhrhammer (1986)	$e^{-1.024+0.804M}$	$e^{-2.87+1.235M}$

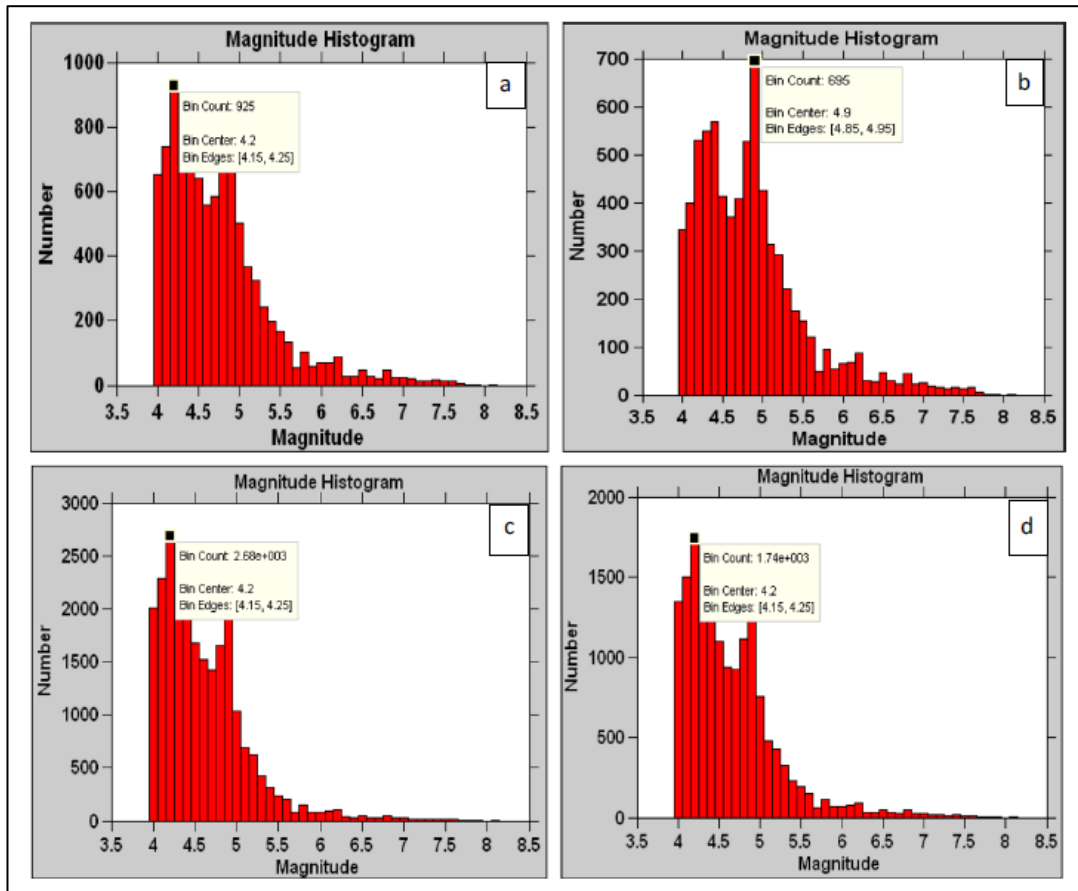


Şekil 4.7: Farklı ilişkiler için magnitudün zaman ve uzaklığa göre değişimi. a) Uzaklık-Magnitud ilişkisi, b) Zaman -Magnitud ilişkisi.

EMME kataloğunda ayrıştırma yapılırken Gardner and Knopoff (1974), Gruenthal, Uhrhammer (1986), ve Reasenberg (1985) algoritmaları kullanılmıştır. Tablo 4.6 ve şekil 4.8’de Wiemer’in ZMAP paketi ile yapılmış olan ayrıştırma analizi sonucu bu dört algoritma sonucu ayıklanan ve kalan deprem olayları gösterilmiştir [Zare et al., 2014].

Tablo 4.6: EMME kataloğunda kullanılan dört algoritma sonrasında ayıklanan olaylar ve son katalogda kalan olaylar.

Algoritma	Olay Sayısı	Kümelenen olay sayısı	Son Katalogdaki Olay Sayısı	Katalogdan Ayıklanan Olay Sayısı
Gardner and Knopoff 1974	28,244	3,042	10,131	17,933
Uhrhammer 1986		2,398	16,569	11,495
Reasenberg 1985		1,041	24,530	3,534
Gruenthal		2,960	7,272	20,792



Şekil 4.8: EMME kataloğunda, her bir algoritma için ayrıştırma analizinde sıklık-magnitüd ilişki grafiği; a) Gardner and Knopoff metodu, b) Grunthal metodu, c) Reseanberg metodu ve d) Uhrhammer metodu.

4.3. Tamamlılık Analizi (Completeness Analysis)

Deprem kataloğunun tamamlılığı magnitüd ve mekânın (dışmerkez) bir fonksiyonudur. Magnitüd tamamlılığı (M_c) teorik olarak belli zaman diliminde, mekan-zaman hacminde tespit edilen depremlerin %100 olduğu yerde en küçük magnitüd olarak tanımlanır [Zare et al., 2014]. Aletsel deprem kataloglarında M_c belirlenmesi sismisite analizi için gerekli ve zorunlu bir adımdır. M_c belirlemek için farklı yöntemler mevcuttur.

Üssel olasılıksal yoğunluk fonksiyonunda parametrelerin belirlenmesinde kullanılan deprem katalog bilgilerinin her magnitüd düzeyinde eksiksiz olmalıdır. Geriye doğru gidildikçe deprem kataloğundaki deprem kayıtlarının hem sayısı hem de kalitesi düşmektedir. Günümüzde büyük, küçük tüm depremler kaydedilirken eski kayıtlarda sadece büyük depremler kaydedilmiştir. Ayrıca bu kaydedilen depremler insanların yerleşimin olduğu yerler olup, iskân edilmemiş yerlerde büyük depremler dahi kaydedilememiştir. Bunlardan dolayı kataloglardaki bu bilgi azlığı, verilerin hem mekânsal hem de zamansal olarak eksikliklerine neden olmuştur. Dolayısı ile belli bir magnitüd aralığına tekabül eden depremlerin doğru şekilde kayda geçtiği zaman aralığı belirlenmelidir. Magnitüd aralığında oluşan deprem sıklığı sadece belirlenen zaman aralığında oluşan deprem göz önüne alınarak belirlenir [Yüçemen, 2011].

Deprem kataloğunda bahsedilen eksikliklerin giderilmesi için Stepp, (1973) tarafından geliştirilmiş olan bir yöntem yaygın şekilde kullanılır. Bu metot verilen magnitüd ve zaman aralığında oluşan depremlerin ortalama oranının varsayımına dayanan ilk analitik yaklaşımdır [Ullah, 2016]. Stepp yönteminde öncelikle depremler belirlenmiş olan büyüklüklere göre gruplandırılır. Ayrıca her gruptaki depremin meydana gelmesi noktasal bir süreç olarak varsayılır. Bu yöntemde esas temel örneklem ortalamasının varyansının, örneklem sayısı ile ters orantılı olduğu belirten istatistik kuraldır [Yüçemen, 2011]. Buna göre gözlem sayısı artırılarak varyans istenildiği gibi küçültülebilir. Bunun içinde kayıtların zaman içinde eksiksiz ve durağan olması gerektiğine dikkat edilmelidir. Eğer $k_1, k_2, \dots, k_n$ birim zamana denk gelen deprem sayısı olarak varsayılırsa, örneklem grubu için ortama deprem sayısı:

$$\lambda = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n k_i \quad (4.4)$$

Varyans:

$$\sigma_{\lambda}^2 = \frac{\lambda}{n} \quad (4.5)$$

n ; birim zaman aralıklarıdır.

Birim zaman aralığı bir yıl alınırsa:

$$\sigma_{\lambda} = \frac{\sqrt{\lambda}}{\sqrt{T}} = \sqrt{\frac{\lambda}{T}} \quad (4.6)$$

elde edilmiş olur. σ_{λ} ; standart sapma, T ; zaman aralığıdır. Durağanlık koşulu geçerli ise, λ belirlenen magnitüd aralığında sabit olacağından σ_{λ} , $1/\sqrt{T}$ olacaktır fakat λ sabit olursa, o zamanda durağanlığın oluşacağı zaman aralığı ortalama değerin tahmin edilebileceği kadar uzun olmasıyla beraber kesik kayıtları içermeyecek kadar da kısa olmalı [Yüçemen, 2011].

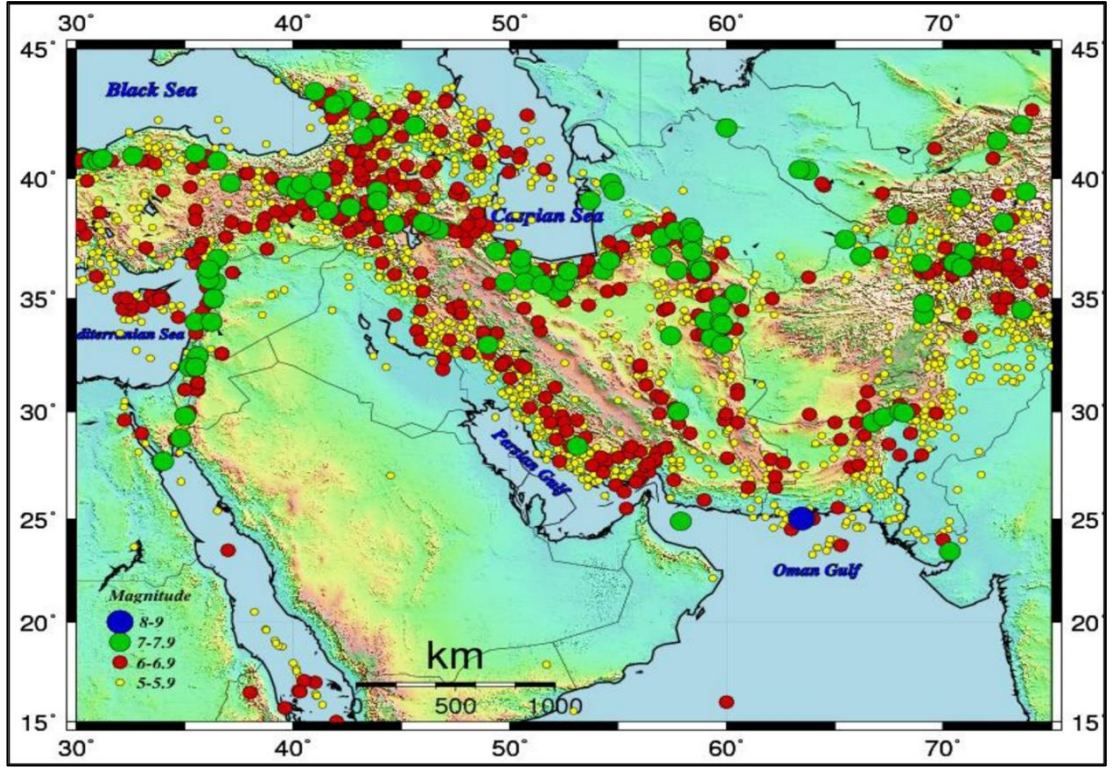
EMME kataloğunda yapılan tamamlılık analizi iki ana metot kullanılarak hesaplanmıştır. Bir kataloğun tamamlılık tahmini için geleneksel ve yaygın metot olan Gutenberg and Richter, (1944) ve Richter, (1958)'in kümülatif sıklık-magnitüd dağılımı kullanılıyor Zare et al., (2014) (örneğin, $\log N = a - b * M$, burada N , M magnitüdüne eşit veya daha büyük magnitüdlü depremlerin sayısı; ve a ve b ise sismisite ve bölgesel sabittir). Buna ek olarak, M_c ZMAP (Wiemer, 2001) yazılımında sismojenik analiz uygulamak için sıklık-magnitüd dağılımı kullanarak belirlenebilir. Bu yöntemle EMME projesindeki her bir bölge için M_c belirlendi ([Zare et al., 2014]; tablo 4.7, tablo 4.8 ve şekil 4.9).

Tablo 4.7: Her bir bölge için sismisite bilgilerinin bazıları, Magnitüd(minimum, maksimum ve M_c), Derinlik(maksimum ve 0 eşitlik durumunda).

Name of section	Magnitude		Depth		Average of Depth	Start year
	M_c	M_{max}	Max	=0		
Afghanistan–Pakistan	4.9	7.9	300	184	9	818
Kopeh–Dagh	4.9	7.6	46	80	15	10
Central Iran	4.9	7.7	106	91	15	734
Makran	4.8	8.1	164	19	9	1483
Zagros	4.9	7.4	185	147	13	859
Alborz–Azerbaijan	4.3	7.8	92	419	11	550 B.C
Caucasus	4.2	7	165	67	9	1250 B.C.
Turkey(after 33° E)	4.4	7.7	169	375	9	995
Saudi Arabia	4.9	7.5	101	109	8	31 B.C.

Tablo 4.8: EMME projesindeki her bir bölgede deprem tamamlama başlangıç yıllı.

Sections	$M_w \leq 4.0$	$4.0 < M_w \leq 4.5$	$4.5 < M_w \leq 5.0$	$5.0 < M_w \leq 5.5$	$5.5 < M_w$
Afghanistan–Pakistan	1980	1963	1960	1925	1900
Kopeh–Dagh	2000	1925	1910	1900	1880
Central Iran	1950	1930	1910	1250	850
Makran	1970	1975	1963	1950	1920
Zagros	1980	1950	1925	1850	1820
Alborz–Azerbaijan	1955	1800	1680	1440	850
Caucasus	1930	1910	1870	1845	1780
Turkey(after 33°)	1963	1955	1925	1845	1820



Şekil 4.9: Orta Doğu da M.Ö 1220 ile 2006 arasında $M_w \geq 5.0$ için deprem kataloğu.

Bu çalışmada EMME ve SHARE verilerine dayanarak yapılacak analizlerde yine bu iki projede geliştirilmiş olan kataloglar kullanılacaktır.

4.4. Depremsellik Dağılımını Modellemek İçin Kaynak Tipolojilerinin Tanımı

4.4.1. Kaynak Geometrisi

Depremlerin mekandaki dağılımını tanımlamak, sismik kaynaklar yoluyla yapılır. Sismik tehlike analizinde en önemli hususlardan biri de geçmiş depremlerin coğrafi olarak dağılımı ile tektonik ve jeolojik bilgilerin incelenerek, çalışma sahası çevresinde tehlike oluşturabilecek deprem kaynaklarının belirlenmesidir. Geometrik özelliklerine dayalı olarak depremlerin saha içinde meydana gelme nedeni üç ana deprem kaynağına dayanır. Bunlar alan, nokta, çizgi kaynaklarıdır [Yücemen, 2011]. Deprem kaynaklarının coğrafi yerlerinin belirlenmesinde sismolojik, jeolojik, jeofiziksel verilerle geçmişte meydana gelen depremlerin merkez-üstlerinin yerlerinin

belirten haritalar ile uzman görüşü ile kaynakların konumlarının belirlenmesi oldukça önemlidir [Yücemen, 2011].

OpenQuake (OQ) yazılımında bu kaynak tipolojilerini tanımlamak için bazı basit varsayımlar vardır:

- Alan ve çizgi kaynaklar için, sismisitenin kaynak yüzeyindeki dağılımı homojendir,
- Sismisite zamansal olaylar bir Poisson modelini takip eder,
- Bazı durumlarda kullanıcı, zamansal olaylarda Non-Poisson kullanmak isterse (örneğin lognormal veya Brownian Passage Time Modeli) deprem yarığı tahmini için (earthquake rupture forecast) farklı davranış tiplerine ihtiyaç duyar. OQ bunu destekliyor ama olayların olma olasılıklarını ve yarılmalarını kullanıcı açık şekilde girdilerle sağlamalıdır

şeklindedir.

OQ analiz programında kaynak tanımları gerekli inputlar aşağıda sıralanacaktır.

4.4.1.1. Nokta kaynak (point source)

Depremsellik dağılımını modelleme için kullanılan en temel ve basit kaynak modelidir. Bir fay veya sismotektonik bölge ile bağlantısı kurulamayan, küçük bir alan içerisinde yoğun şekilde toplanmış olan depremlerin bir nokta kaynaktan çıktığı varsayılabilir [Yücemen, 2011]. Kullanılan “nokta” kelimesinin ifade etmeye çalıştığı durum, kaynağın boyutlarının çalışma alanının uzaklığına oranla küçük olduğu bir bölgeyi belirtmek için kullanılmıştır. Kaynak boyutları küçük olduğu için, bir nokta kaynakta meydana gelen tüm depremlerin çalışma sahasına olan mesafeleri aynı ve ortalama uzaklığa eşit alınabilir [Yücemen, 2011].

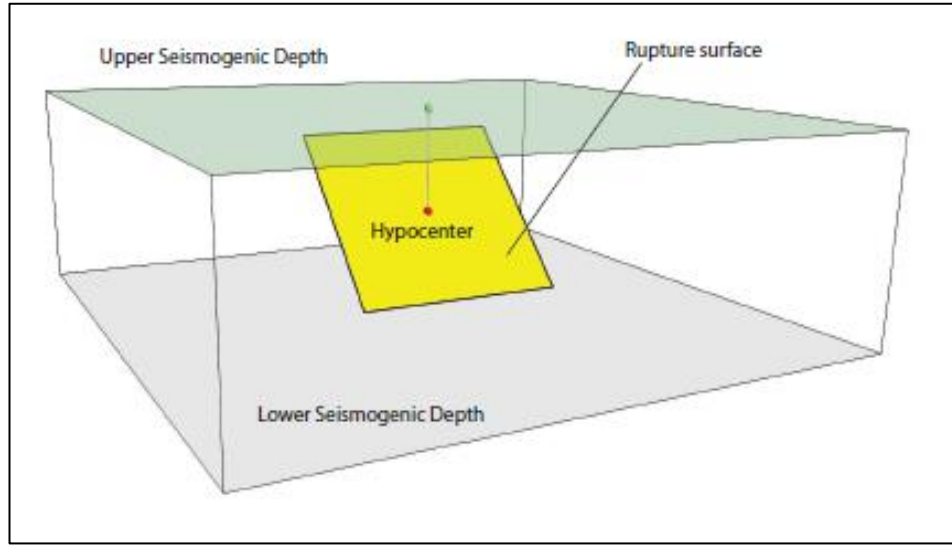
Elbette modelleme yapabilmek için bazı varsayımları yapılmalıdır.

Nokta Kaynağın varsayımları:

- Yarılma (rupture) dikdörtgendir,
- Yarılma deprem içmerkezi (hypocenter) yarılmanın ortasında konumlanmaktadır,

- Yarılmalar deniz seviyesinden yukarıda iki paralel düzlem tarafından üst ve alt düzlemler ile sınırlandırılmıştır ve bunlar seismojenik derinlik olan üst (upper) ve alt (lower) derinlik olarak isimlendirilme (Şekil 4.10;[Pagani, 2014])

şeklindedir [Pagani, 2014].



Şekil 4.10: Tek bir yarılmalı nokta kaynak örneği.

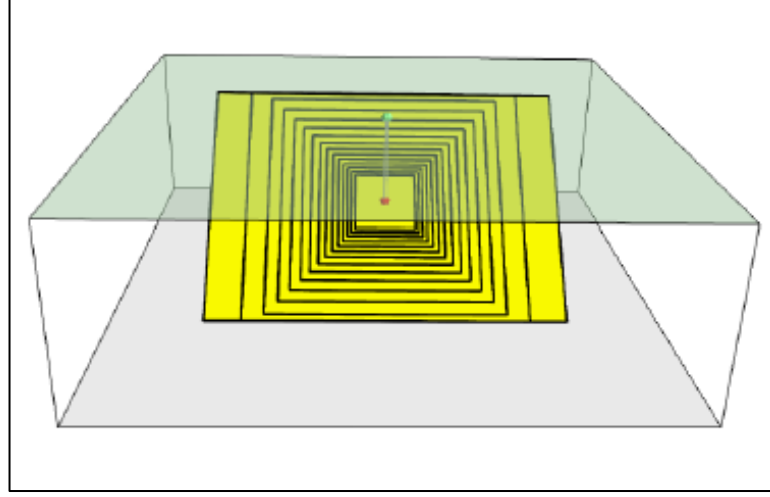
4.4.1.1.1. Nokta kaynak verileri (point source data)

Nokta kaynağın tanımlanması için gerekli parametreleri içeren dosyadır. Bunlar:

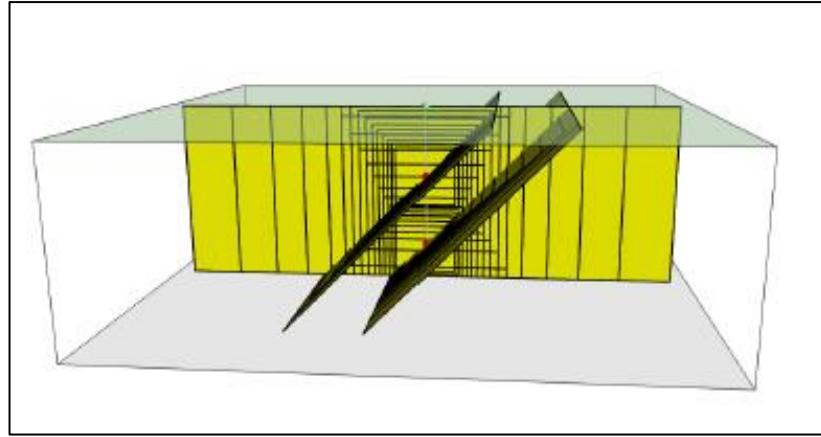
- Noktanın koordinatları (boylam, enlem),
- Üst ve alt sismojenik derinlik (upper and lower) (km),
- Bir magnitüd-frekans dağılımı (magnitüd-frequency distribution),
- Bir magnitüd-skala ilişkisi (magnitüd-scaling relationship),
- Yarılma en boy oranı (uzunluk/genişlik) (rupture aspect ratio),
- Düğüm yüzeylerinin dağılımı parametresi (Distribution of nodal planes),
- Doğrultu Açısı (Strike Angle),
- Eğim Açısı (Dip Angle),
- Kayma Açısı (Rake Angle) ,
- İçmerkezin (hypocenter) magnetüdden bağımsız derinlik dağılımı (km)

şeklindedir.

Şekilde 4.11’de bir dizi magnitüd için nokta kaynak tarafından üretilen yarılmalar görülmektedir. Her bir yarılma bu nokta kaynak tarafından izin verilen bir içmerkezlik noktasında merkezlenmiştir. Yarılmalar magnitüd değerlerine uyarak ve belli magnitüd-alan skala ilişkisi kullanılarak hesaplanan alanı koruyarak üretilir.



Şekil 4.11: Tek merkezde toplanmış faklı yarılmaların olduğu nokta kaynak örneği.



Şekil 4.12: Nokta kaynakta muhtemel 2 düğüm düzlemi (nodal planes) ve iki içmerkez derinliği olan yarılma olayı örneği.

4.4.1.2. Grid kaynak (grid source)

Grid kaynak dikdörtgen bir grid üzerinde dağılan nokta kaynakların bir toplamıdır.(Genellikle enlem ve boylam uzaklıkları eşittir.) Olasılıksal sismik tehlike

analizinde grid kaynak var olan kaynaklara bir alternatif model olarak düşünülebilir. Çünkü onlar iki sismisite dağılım modelidir. Grid kaynaklar genellikle geçmişte olan depremler tarafından, sismisitenin daha doğru bir mekânsal modelinin tekrardan üretilmesinde kullanılır. Bazı modeller (örneğin Petersen et al. (2008)) yalnızca düşük ve orta magnetüdlere dikkate alırlar. Daima olmamasına rağmen sıklıkla sismisite düzleştirilmiş algoritmalar kullanılarak hesaplanır [Frankel, 1995], [Woo,1996], vd.

Grid kaynakları üretmek için düzleştirilmiş algoritmaları (smoothing algorithms) kullanmak, alan kaynaklarla karşılaştırıldığında bazı avantajları vardır:

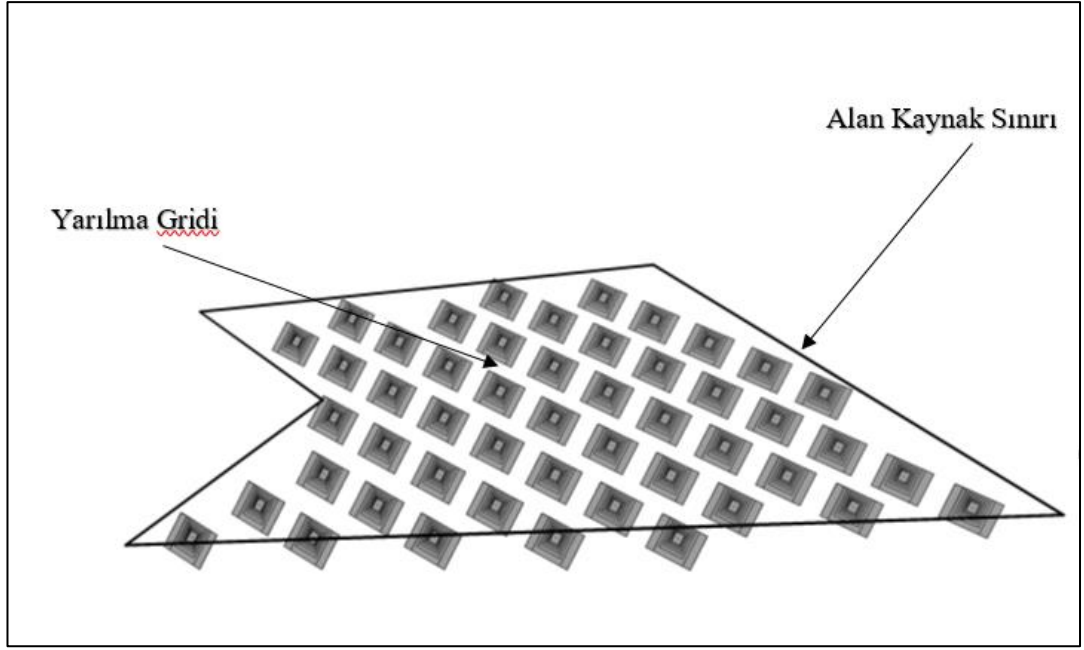
- Alan kaynakların geometrisinin tanımından dolayı kaçınılmaz olan öznel derecelerin çoğu ortadan kalkar,
- Gerçeğe daha yakın sismisitenin mekânsal yapısı üretilebilir,
- Fakat birçok durumda düzleştirilmiş algoritmalar bazı analiz parametrelerinin önceden tanımlanması gerektir,
- Grid kaynaklar OQ-engine de nokta kaynakların bir seti olarak modellenenebilir. Diğer bir deyişle grid kaynaklar nokta kaynakların sadece uzun bir listesidir [Monelli et al., 2012]

şeklinde sıralanabilir [Monelli et al., 2012].

4.4.1.3. Alan kaynak (area source)

Bazı yerlerde geçmiş deprem olayları ile jeolojik yapı arasında düzgün bir ilişki kurulamaz. Eldeki deprem kayıtları belirli bir fay sisteminin ortaya çıkarılmasına yetecek kadar sayıda ve doğrulukta değildir. Buna ek olarak kalın örtü tabakaları fayların yerinin belirlenmesine fırsat tanımaz. Böyle bir durumda, belirlenen bölge, depremlerin her yerde eşit olasılık ile oluşabileceği bir alan kaynak olarak alınabilir [Yüçemen, 2011]. Alan kaynaklar, etraflarındaki bölgelerden farklı ama kendi içinde aynı sismisite özelliklerine sahip ve ayrıca belirlenmiş aktif fayları dışlayan bölgeleri tanımlamak için kullanılır [Yüçemen, 2011].

Alan kaynaklar, OQ'de grid kaynaklarla bir hesap bakış açısıyla karşılaştırıldığında ikisinin de nokta kaynakların bir listesi ile temsil edildiği anlaşılır.



Şekil 4.13: Alan kaynak içindeki yarılma gridleri.

4.4.1.3.1. Alan kaynak verileri (area source data)

- Alanın dış sınırlarını belirleyen bir poligon (enlem-boylam listesi) (OQ'in güncel versiyonu iç sınırların tanımını desteklemiyor),
- Üst ve alt sismojenik derinlik (upper and lower seismogenic depths) [km],
- Bir magnitüd-frekans dağılımı (magnitüd-frequency distribution),
- Bir magnitüd-skala ilişkisi (magnitüd-scaling relationship),
- Yarılma en boy oranı (uzunluk/genişlik) (rupture aspect ratio),
- Doğrultu açısı (Strike Angle),
- Eğim açısı (Dip Angle),
- Kayma açısı (Rake Angle),
- Magnitüdden bağımsız içmerkezin dağılım derinliği [km]

şeklinde alan kaynak verileri sıralanabilir.

Tablo 4.9: Alan ve Nokta kaynakları belirlemede ki özet parametre tablosu.

Parametreler	Amaç
Magnitüd-Frekans Dağılımı	Tüm moment oranını ve farklı deprem magnitüdlerin relatif frekansını belirler.
Zamansal Oluşum Modeli	Verilen zamanda yarıлма oluşumunun olasılıksal sayısını hesaplamak için fonksiyonel form belirler.
Magnitüd alan skalası ilişkisi Yarıлма en boy oranı (aspect ratio) (uzunluk/genişlik)	Yarıлма yüzeyinin şeklini ve boyutunu belirler.
Nodal (Düğüm) Düzlem Dağılımı (Doğrultu, eğim, kayma ile tanımlanan her bir düğüm düzlemi)	Yarıлmanın faylanma stillerini ve yönlerini belirler.
İçmerkez (Hypocenter) derinlik dağılımı	Yarıк düzleminin merkezlerini belirler.
Üst sismojenik derinliği Alt sismojenik derinliği	Sismojenik tabakaların içinde yarıлма düzlemini sınırlar.

Yarıлmaların uzunluk ve genişlikleri kullanılarak yarıлма uzunluk/genişliğin bulunması aşağıdaki formülde gösterilmiştir.

$$L = \sqrt{A * ar} \quad (4.7)$$

$$W = \sqrt{A/ar} \quad (4.8)$$

- L=Yarıлма uzunluğu,
- W=Yarıлма Genişliği,
- A=Yarıлма Alanı,
- ar = Yarıлма En-boy oranı (aspect ratio)

denklemdaki ifadeler bu şekilde sıralanıp tanımlanabilir.

4.4.1.4. Basit çizgi kaynak (simple faults)

OQ-engine de çizgi kaynaklar fay yüzeyi üzerinde yarılmaları dağıtmak için kabul edilen metoda göre sınırlandırılır. Şu anda iki seçenek kullanılmaktadır.

İlk seçenek; tüm fay yüzeyinden daha düşük bir yüzeydeki yarılmalar fay yüzeyi mümkün olabildiğince homojen şekilde kaplayabilmesi için yüzdürülür (floated). Bu model desteklenmiş olan tüm magnitüd-frekans dağılımları ile uyumludur.

İkinci seçenek ise; yarılmalar daima tüm fay yüzeyini doldurur. Bu model karakteristik bir modele Schwartz and Coppersmith, (1984) benzer magnitüd-frekans dağılımı ile uyumludur.

Basit çizgi kaynak sığ (shallow) fayları modellemek için kullanılan en yaygın kaynak tipidir. Burada ki “basit” sıfatı kaynağın geometrisini tanımlamakla ilgilidir.

4.4.1.4.1. Çizgi kaynak verileri (fault source data)

- Bir yatay fay yüzeyi (genellikle poligon). Bu boylam-enlem listesi,
- Bir magnitüd-frekans dağılımı (magnitüd-frequency distribution),
- Bir magnitüd-skala ilişkisi (magnitüd-scaling relationship),
- Bir eğim açısının temsili değeri (Aki-Richards, 2002 yaklaşımı),
- Kayma açısı (Aki-Richards, 2002 yaklaşımı),
- Sismojenik derinliği sınırlayan üst ve alt limit değerleri [km]

olarak çizgi kaynak verileri tanımlanır.

Olasılıksal sismik tehlike analizinde yakın fay etkisi için iki ek parametreye ihtiyaç vardır:

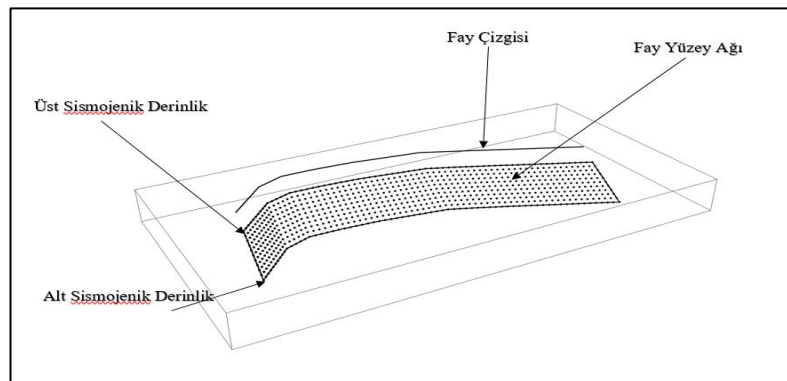
- Bir içmerkez listesi (hypocenter list). Bu muhtemel içmerkez konumunun ve karşılık gelen ağırlıkların (ör: alongStrike="0.25" downDip="0.25" weight="0.25) listesidir. Her bir içmerkez konumu yarığın üst sol köşesinin referans olarak kullanılarak ve yarıma genişliğinin ve uzunluğunun parçası belirleyerek göreceli olarak tanımlanır,

- Bir kayma açısı listesi (slip list). Bu muhtemel yarıлма kayma yönleri ve onlara karşılık gelen ağırlıklar listesidir. Her bir kayma yönünü tanımlayan açı, fayın doğrultu açısı referans alınarak saat yönün tersi yönüne hesaplanır,
- şeklinde çizgi kaynak verileri sıralanabilir.

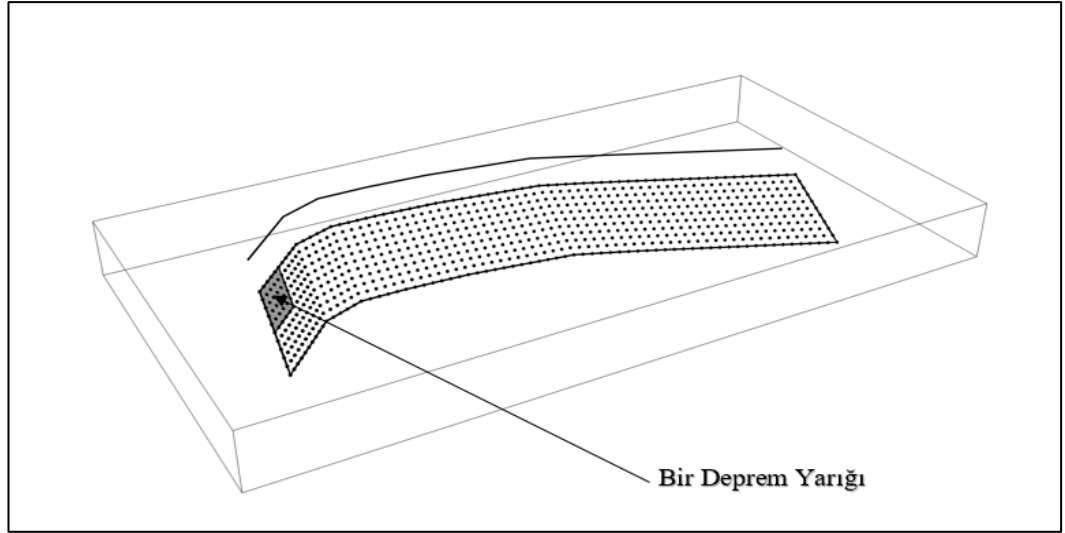
Olasılıksal tehlike analizinde yakın fay etkisinde içmerkez listesi ve slip (kayma) listesi zorunludur. Her bir listenin ağırlık toplamı daima bir (“1”) olmalıdır. OQ-engine de olasılıksal tehlike hesabında yakın fay etkisini destekleyen mevcut azalım ilişkisi Chiou ve Youngs, (2014) tarafından geliştirilen ChiouYoungs2014NearFaultEffect azalım ilişkisidir (Aktif ve sığ kabuk tektonik bölgelerle ilgilidir).

Tablo 4.10: Çizgi fay kaynağını için özet parametre tablosu.

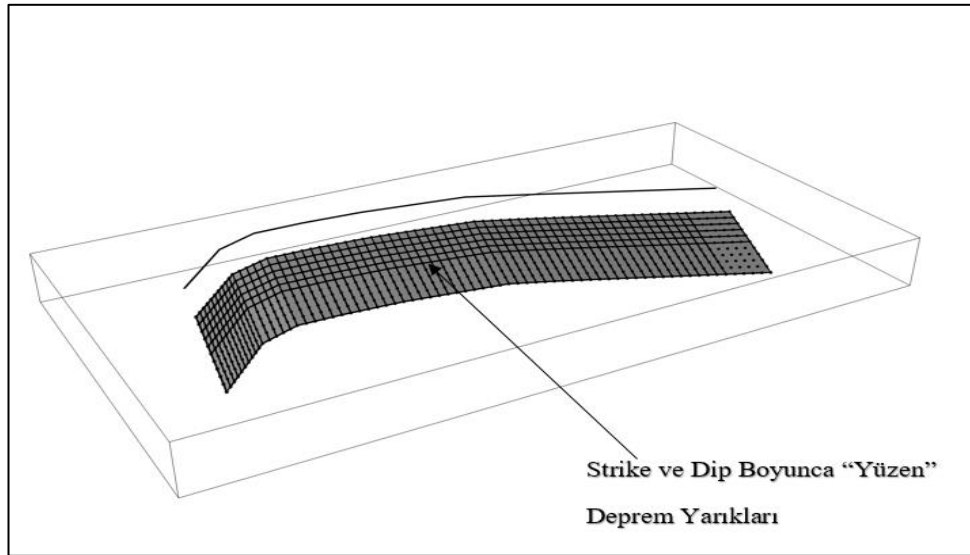
Parametreler	Amaç
Magnitüd-Frekans Dağılımı	Tüm moment oranını ve farklı deprem magnitüdlerin relatif frekansını belirler.
Zamansal Oluşum Modeli	Verilen zamanda yarıлма oluşumunun olasılıksal sayısını hesaplamak için fonksiyonel form belirler.
Magnitüd-alan skalası ilişkisi Yarıлма en boy oranı (aspect ratio) (uzunluk/genişlik)	Yarıлма yüzeyinin şeklini ve boyutunu belirler.
Fay izi Üst sismojenik derinliği Alt sismojenik derinliği Eğim açısı	Fay Yüzeyini tanımlar.
Kayma açısı	Fay stilini belirler.



Şekil 4.14: Bir fay ağının çizimi.



Şekil 4.15: Faydaki bir deprem yarığı örneği.



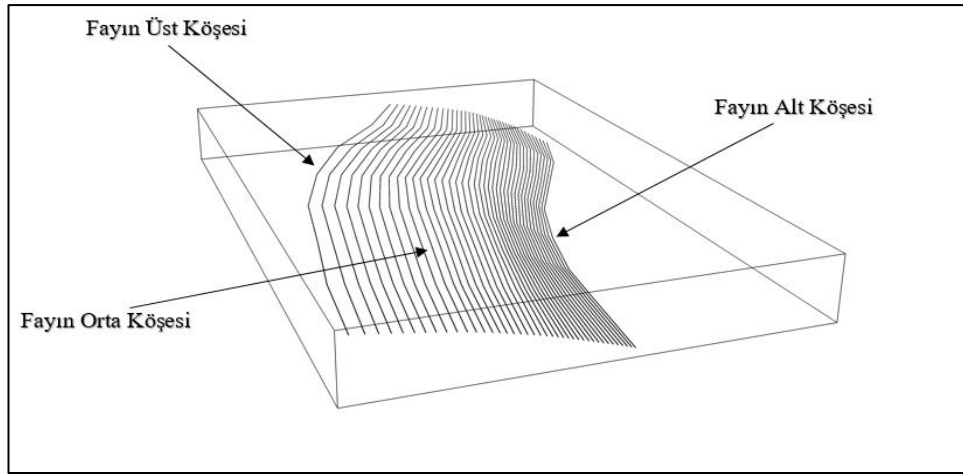
Şekil 4.16: Fayda olan tüm deprem yarıkları.

4.4.1.5. Kompleks fay kaynak (comple faults)

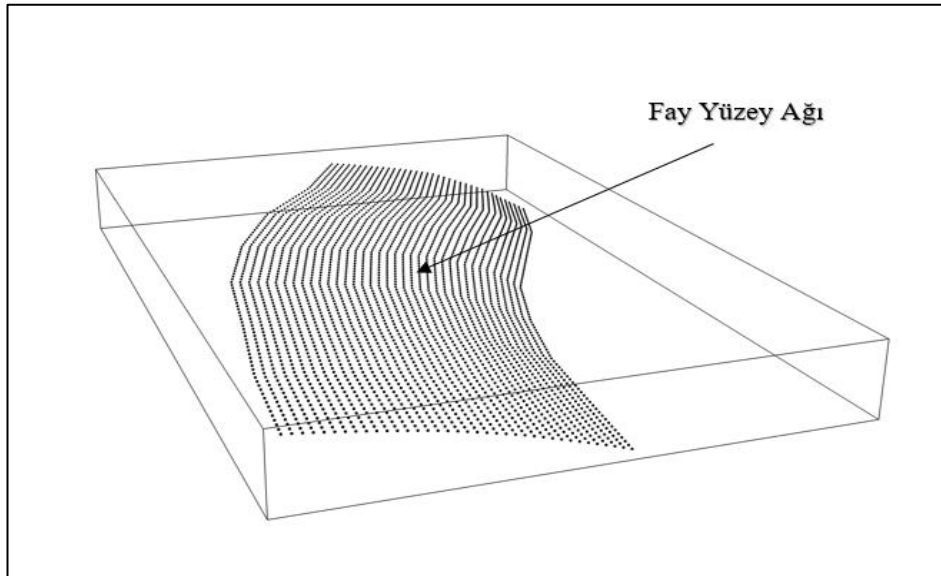
Kompleks fayın yalnızca fay yüzeyini tanımlayan geometrisi, basit çizgi kaynaktan farklıdır. Kompleks fayları tanımlamakta kullanılan girdi parametreleri birçok kısmıyla çizgi kaynak tipolojisine benzerdir. Kompleks fay durumunda fay izi fay yüzeyinin alt ve üst sınırlayan iki fay köşesi tarafından değiştirilirken eğim açısı gerekli değildir. Fay yüzeyi üzerinde uzanan ek eğriler fay yüzey geometrisini tanımını

daraltma ve tamamlama da kullanılabilir. Çizgi fayın bu köşelerinin aksine yatay olunması gereklide değil ve yükseklikler çeşitlenebilir. Ör, üst köşe açık fay yüzeyi ve topografik yüzey (pozitif değerler deniz seviyesinin altını gösterir ve negatif değerler deniz seviyesinin üstünü gösterir) arasında kesişim temsil edebilir.

Genellikle OpenQuake-engine kompleks fayları tabaka içi büyük itme faylarını modellemek için kullanır. Pasific de bulunan (Sumatra, Güney Amerika, Japonya) büyük aktif dalma-batma yapıları gibi. Fakat bir kaynak tipi oluşturmak için de kullanılır. Örneğin, gerçek bir fayla listric fay kaynağı oluşturmak gibi.



Şekil 4.17: Kompleks fay.



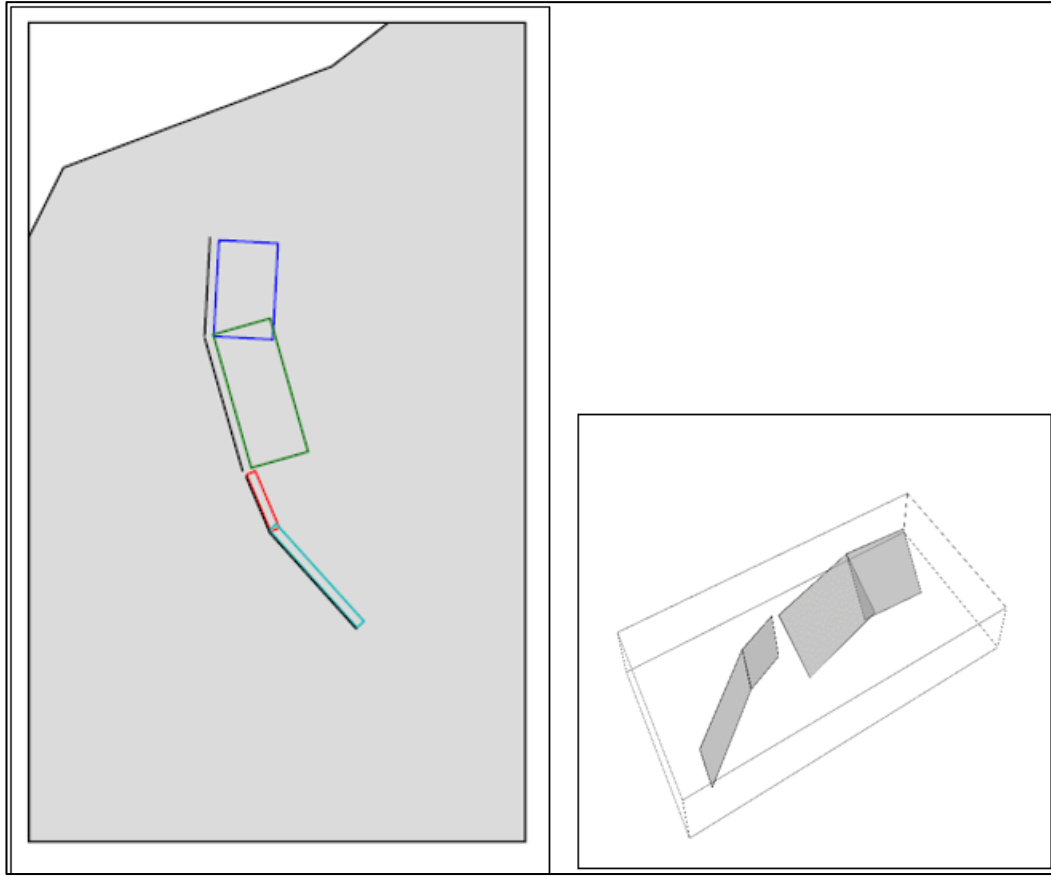
Şekil 4.18: Kompleks fay örneği.

Tablo 4.11: Kompleks fayın özet parametre tablosu.

Parametreler	Amaç
Magnitüd-Frekans Dağılımı	Tüm moment oranını ve farklı deprem magnitüdlerin relatif frekansını belirler.
Zamansal Oluşum Modeli	Verilen zamanda yarıлма oluşumunun olasılıksal sayısını hesaplamak için fonksiyonel form belirler.
Magnitüd -alan skala ilişkisi Yarıлма en boy oranı (aspect ratio) (uzunluk/genişlik)	Yarıлма yüzeyinin şeklini ve boyutunu belirler.
Üst köşe Orta köşe (opsiyonel) Alt köşe	Fay yüzeyini belirler
Kayma açısı	Fay stilini belirler

4.4.1.6. Karakteristik fay (characteristic faults)

Karakteristik fay kaynağı yarığın tüm fay yüzeyini kaplayacağı varsayımı ile oluşturulan özel tipolojidir. Aslında kayma tabakasının (floating) yüzeyde olmasına gerek yoktur. Karakteristik fay bir magnitüd-frekans dağılımı verisi olarak alınabilir. Bu durumda fay yüzeyi ya çizgi kaynak ya da kompleks bir fay kaynağı veya Şekil 4.18’de gösterildiği gibi dikdörtgen yarıkların bir kombinasyonu şeklinde alınabilir. Ayrıca çoklu karışık geometrileri dahil ederek oluşturulabilir.



Şekil 4.19:Karakteristik fay örneği.

4.4.1.6.1. Karakteristik fay verisi (source data)

Karakteristik yarık düzeyi seçenekleri aşağıdaki gibi:

- Bir dikdörtgenler yarık listesi (düzlemsel yüzeyler),
- Bir çizgi kaynak geometrisi,
- Bir kompleks fay geometrisi,
- Magnitüd-Frekans dağılımı,
- Kayma açısı,
- Sismojenik mesafesini sınırlayan üst ve alt derinlik değerleri

ile tanımlanır.

4.4.1.7. Parametrik olmayan fay (non-parametric fault)

Parametrik olmayan fay tipolojisinde kullanıcının yarık özelliklerini (yarık yüzeyi, magnitüd, kayma açısı, içmerkez) ve deprem yarığına uyumlu olasılıkları belirtmesi gerekir. Olasılıklar kayan noktanın bir listesi olarak verilir ki bu da belirtilen zaman aralığı içinde yarık oluşumlarının (0,1,2,... N) olasılığına uyan değerlerdir.

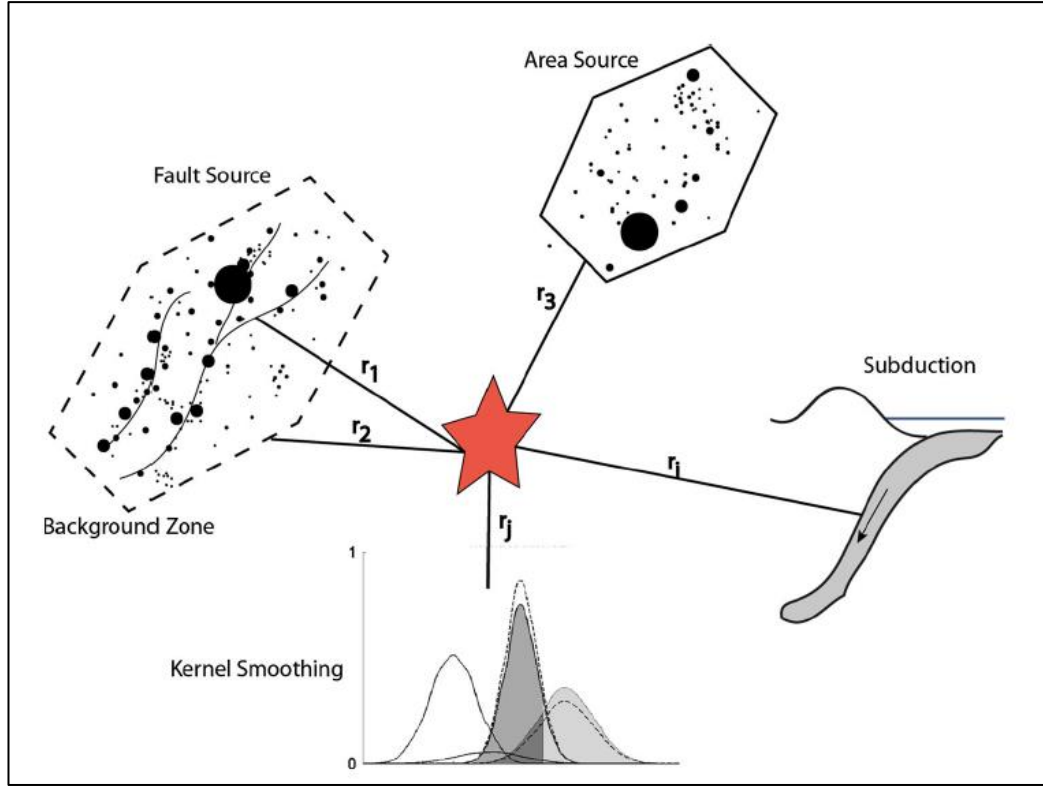
4.4.2. EMME Sismik Kaynak

Proje de alan kaynak, aktif faylar, arka plandaki düzleştirilmiş sismisite ve dalma-batma zonları şeklinde kaynaklar modellenip, kullanılmıştır. Bu tez çalışmasında aktif faylar olan çizgi kaynaklar kullanıldığından onun üzerinde durulacaktır.

EMME kaynak verilerinin toplanması aktif sismik bölgeler için aktif faylar, özel kaynak modelleri geliştirmede ileriye doğru bir adımdır. Fayı karakterize etmek için spesifik deprem yenilenme (ör., kayma hızı) bilgileri mevcut olmadığı için eşleştirilen tüm fayların sismojenik olmadığına dikkat edilmeli [Danciu et al., 2018]. Kullanılan aktif fayların özellikleri:

- Son 10,000 boyunca deprem üreten Holosen aktif faylar kayma oranları yüksek değerlidir (Kuzey Anadolu Fayı, Marmara Fayı, Zagros Fayı),
- Kuaterner ikinci yarısı boyunca aktif (yaklaşık 1 milyon yıl) ve ortalama kayma hızı en az 0.1 mm yr⁻¹ faylar,
- Maksimum moment magnitüdü (M_w) en az 6.2,
- Son Kuaterner aktif fayları (son 130.000 yıl boyunca hareketi gözlenen),
- Hem geometri hem de jeolojik kayma hızı bilgisine sahip faylar,
- 778 aktif fay, çizgi kaynak şeklinde tanımlanmış. Bu sayı EMME toplam fay girdilerine nazaran önemli ölçüde daha küçüktür. Çünkü doğruluk ve bilgi eksikliği EMME faylarının tüm kayıtların kullanılmasını engel olmaktadır [Danciu et al., 2018]

şeklindedir [Danciu et al., 2018].



Şekil 4.21: SHARE kaynak çalışması için kullanılan kaynak tipoloji örnekleri.

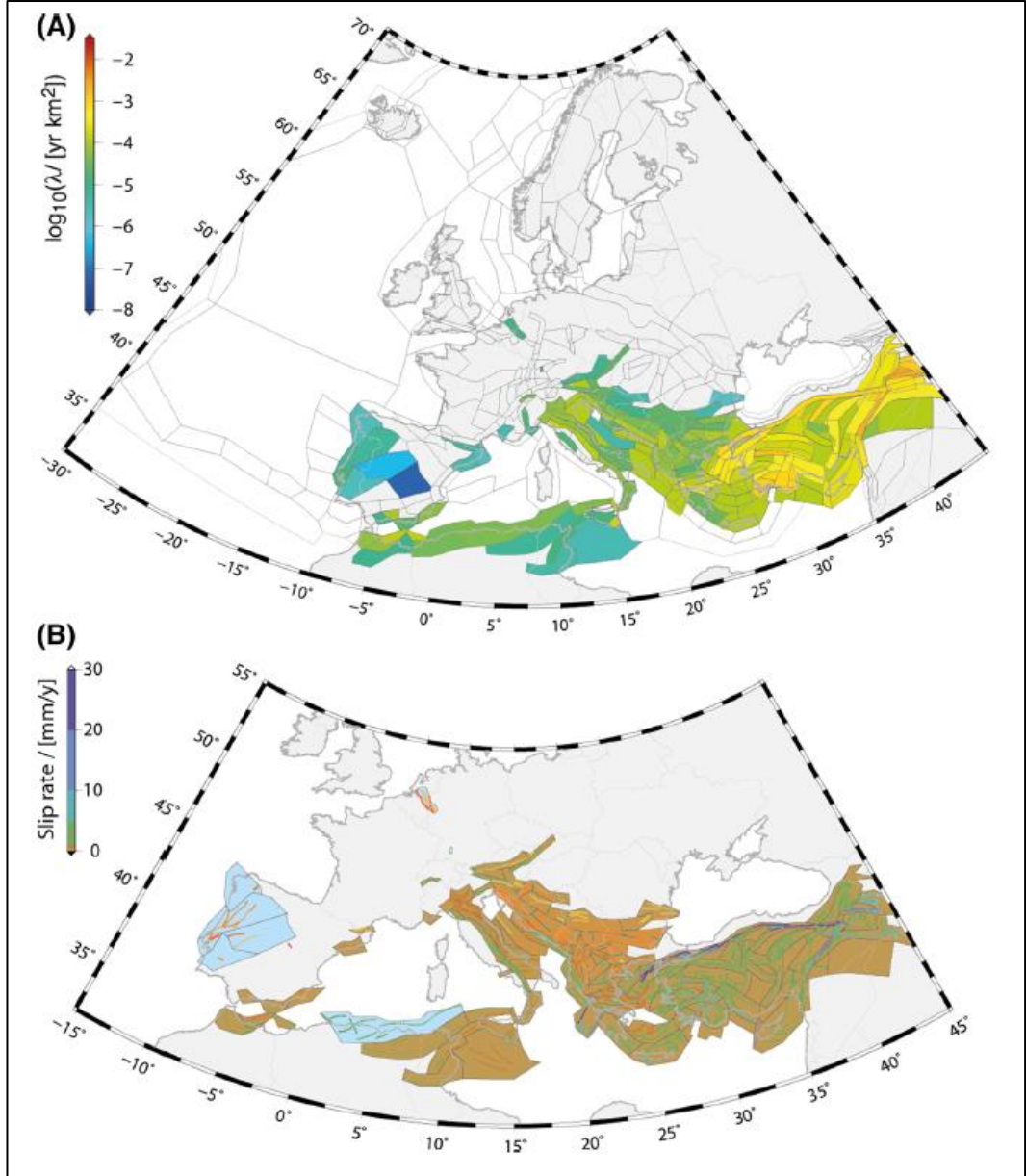
Bu tez kapsamında SHARE çizgi fay kaynağı verileri kullanılarak analiz yapıldığından bu model üzerinde durulacaktır.

Çizgi kaynak daha çok güney Avrupa ve Türkiye'yi kaplamaktadır. Haritalanan fayların aktivite oranları jeodezik ve jeolojik metotlardan elde edildiği gibi mevcut deformasyon verisinden de elde edilir [Woessner et al., 2015]. Bu modelde aktivite oranları ilk olarak kayma hızı ve maksimum magnitüde bağlıdır. Kabuk sismojenik faylar SHARE kapsamında kaplanan tüm alanlar üzerinde bilmemekte ve özellikle plaka sınırlarından uzak düşük tektonik deformasyon bölgelerinde ki eksiklik nedeniyle alan kaynak modelini oluşturan kaynaklar arka plan kaynaklarının kenarlarında boyut ve verimlilik olarak kullanılır ve ayarlanır [Woessner et al., 2015].

Her bir fay kaynağın deprem potansiyeli, uzun dönem tektonik moment oranını bir deprem aktivite oranına dönüştürülerek değerlendirilir.

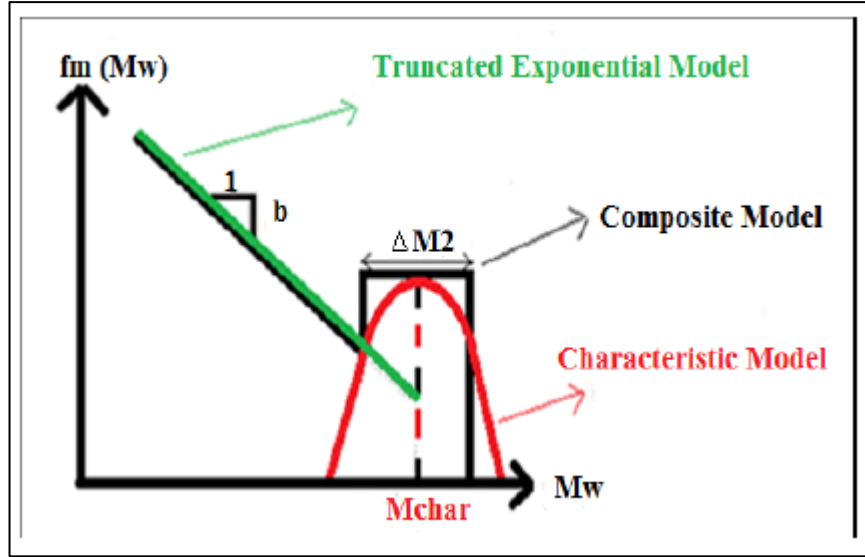
Avrupa Sismik Fay Veri tabanında dahil edilen ve haritalanan tüm faylar kullanılamamaktadır. Çalışmada bu yüzden fay kapsamı tamamlanmadığı varsayılarak büyük bir arka plan zonunun küçük bir bölümü temsil eden tüm haritalanmış faylar hariç tutuldu [Woessner et al., 2015]. Ortaya çıkan deprem oranı kümülatif yıllık oran

için ($\log_{10}(\lambda \left(M_w \geq 4. \frac{5}{km^2} \right))$) tahmin modeli fayların maksimum kayma hızları ve arka plan zonların tektonik bağlantıları ile beraber şekil 4.22’de gösterilmiştir [Woessner et al., 2015].



Şekil 4.22: a) Fay kaynakları ve arka plan model için yıllık deprem oranı ve b) maksimum kayma hızı (mm/yr) içeren fay kaynakları.

Tez kapsamında, SHARE kaynaklarında çalışma bölgesi içinde kalan ve analizde kullanılacak olan faylar şekil 4.23’de verilmiştir.



Şekil 4.24: Olasılıksal tehlike analizinde kullanılan magnitüd dağılım fonksiyonları.

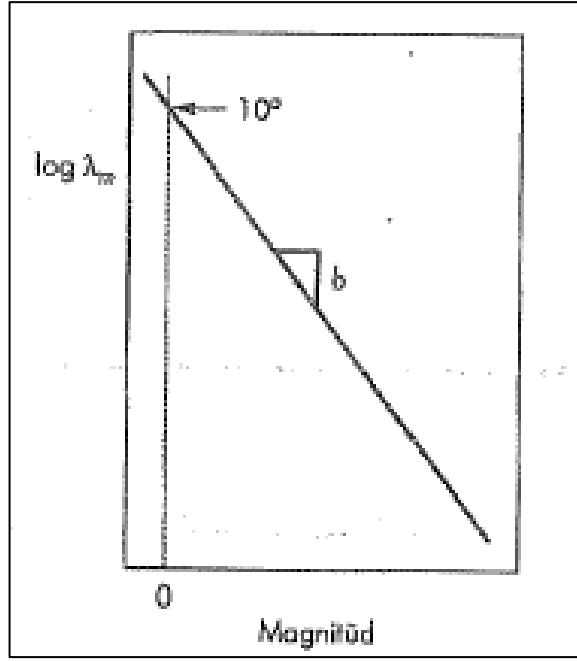
En temel ve sık kullanılan magnitüd-sıklık ilişkisi Gutenberg-Richter (G-R) (1944) tarafından bulunan tekrarlamaya yasasıdır.

G-R uzun zaman güney California deprem verilerini incelemiş ve elde ettiği verileri farklı büyüklükleri aşan deprem sayısına göre tertiplemiştir. Daha sonra büyüklüğün aşılma sayılarını zamana bölerek M magnitüdündeki depremlerin yıllık ortalama aşılma oranı olan λ_m 'i tanımlamıştır [Kramer, 1996]. Büyük depremlerin yıllık aşılma oranı küçük depremlerden küçüktür. Belli bir magnitüddeki depremin yıllık ortalama aşılma oranının tersi, o magnitüdü aşan depremin dönüş periyodunu vermektedir. İncelene güney California depremlerinin logaritmik olarak yıllık aşılma oranı ile deprem magnitüdü grafiğe aktarıldığında aralarında doğrusal bir ilişki olduğu görülmüştür [Kramer, 1996]. Bulunan ilişki;

$$\log \lambda_m = a - bm \quad (4.9)$$

şeklindedir.

Burada, λ_m : m magnitüdü depremin yıllık ortalama aşılma oranı, 10^a : büyüklüğü ≥ 0 olan depremlerin yıllık ortalama sayısı, b : küçük ve büyük depremlerin göreceli oluş olasılığını ifade eden katsayı.



Şekil 4.25: a ve b deprem parametrelerinin anlamını gösteren G-R yasası.

a ve b parametreleri bir kaynak zonunun depremsellik veri tabanının regresyonuyla elde edilir [Kramer, 1996].

G-R yasasını şu şekilde de yeniden yazılabilir:

$$\lambda_m = 10^{a-bm} = \exp(\alpha - \beta m) \quad (4.10)$$

Burada $\alpha: 2.303a$ (veya $a(\ln 10)$) ve $\beta = 2.303b$ (veya $b(\ln 10)$) şeklindedir. Denklem 4.10'da β değeri bölgenin tektonik yapısı ve büyük depremlerin küçüklere olan göreceli oranı iken α değeri ise incelenen bölge ve zaman ile ilgilidir. β bölgenin deprem etkinliğini gösteren değer şeklinde kabul edilir ve deprem bölgeleri arasında farklılık gösterir.

Standart G-R $-\infty$ ile $+\infty$ arasındaki tüm depremleri çerçeveler fakat mühendislik açısından önemli hasarlar oluşturmayan ve çok küçük depremler çoğu zaman göz önüne alınmamaktadır ve m_o alt eşik büyüklüğünün altında kalan depremlerin devre dışı bırakılmalıdır. O halde denklem:

$$\lambda_m = v \exp[-\beta(m - m_o)] \quad m > m_o \quad (4.11)$$

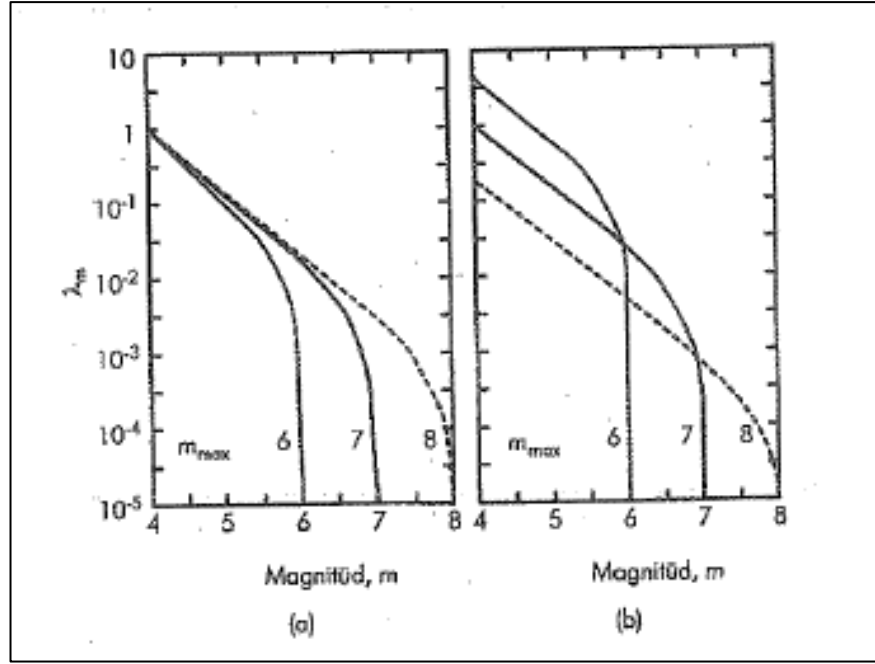
Şeklini alır. Burada $v = \exp(\alpha - \beta m_o)$ olan yıllık ortalama aşılma oranıdır. Olasılıksal analizde magnitudün 4.0-5.0 civarı değerleri alt eşik değerlerdir. Nedeni ise, nadir şekilde bu değerlerden küçük depremler önemli hasarlar oluşturabilir. Buna ek olarak, M_o 'dan küçük depremlerin istatistiksel verileri çok da doğruyu yansıtmamaktadır. Alt sınırlı G-R yasasının olasılıksal kümülatif dağılım fonksiyonu:

$$F_M(m) = P[M < m | M > m_o] = \frac{\lambda_{m_o} - \lambda_m}{\lambda_{m_o}} = 1 - e^{-\beta(m-m_o)} \quad (4.12)$$

G-R yasasında bütün kaynak zonlarının maksimum bir deprem büyüklüğü (m_{max}) vardır. Bu üst sınırın tahmin edilebilmesi veya bilinmesi durumunda ortalama yıllık aşılma oranı şu şekilde düzenlenebilir [Kramer, 1996].

$$\lambda_m = v \frac{\exp[-\beta(m-m_o)] - \exp[-\beta(m_{max}-m_o)]}{1 - \exp[-\beta(m_{max}-m_o)]} \quad m_o \leq m \leq m_{max} \quad (4.13)$$

Denklem 4.13'de sınırlanmış tekrarlanma yasasıdır ve bu denklemde m_o 'nun sabit olduğu ortalama yıllık aşılma oranı şekil 4.26'da gösterilmiştir (Youngs ve Coppersmith, 1985).



Şekil 4.26: $m_0 = 4$ ve $m_{\max} = 6, 7$ ve 8 için a) sabit depremsellik oranına göre ve b) sabit sismik moment oranına göre G-R tekrarlanma yasası.

G-R yasasının alt ve üst sınırlarının olasılıksal kümülatif dağılım fonksiyonu ve olasılıksal yoğunluk fonksiyonu aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$F_M(m) = P[M < m | m_0 \leq m \leq m_{\max}] = \frac{1 - e^{-\beta(m-m_0)}}{1 - e^{-\beta(m_{\max}-m_0)}} \quad (4.14)$$

$$f_M(m) = \frac{\beta e^{-\beta(m-m_0)}}{1 - e^{-\beta(m_{\max}-m_0)}} \quad (4.15)$$

Schwartz ve Coppersmith (1984) fay geometrisine bağlı olarak sadece karakteristik (ya da maksimum) olay üretmeye meyilli faylar için karakteristik magnitüd dağılımı kullanımını önermiştir. Bu modelde sismik enerji yalnızca karakteristik depremler tarafından salınır. Bütün olarak karakteristik model genel formu kesilmiş normal dağılım tarafından temsil edilir. (Kesim magnitüd-yarılma alan ilişkisi içinde standart sapmaya göre yapılır) (Şekil 4.24).

Kompozit model, kesilmiş üssel model ve karakteristik modelin kombinasyonudur. Küçük boyuttaki depremler kesilmiş üssel model tarafından temsil edilirken, daha büyük depremler karakteristik model tarafından temsil edilir. Bu model

Youngs ve Coppersmith (1985) tarafından önerilmiştir (şekil 4.24). Modelin ana özelliği, karakteristik deprem sismik momentin %94'ünü salarken geri kalan toplam sismik momenti ise dağılımda denklemindeki kısıtlamalardan dolayı daha küçük depremler tarafından salınır. (Eşitlik 4.16 ve 4.17) b değerindeki değişiklikler yenilenme ilişkileri üzerinde ciddi değişikliğe sahip fakat fonksiyon üst magnitüd sınırlarındaki değişiklikler için daha hassastır [Youngs ve Coppersmith, 1985].

$$f_M(m) = \begin{cases} \frac{\beta e^{-\beta(m-m_o)}}{1 - e^{-\beta(m_{max}-\Delta M_2-m_o)}} \times \frac{1}{1+c'} & m \leq m_{max} - 0.5\Delta M_2 \\ \frac{\beta e^{-\beta(m_{max}-\Delta M_1-\Delta M_2-m_o)}}{1 - e^{-\beta(m_{max}-\Delta M_2-m_o)}} \times \frac{1}{1+c'} & m > m_{max} - 0.5\Delta M_2 \end{cases} \quad (4.16)$$

$$c = \frac{\beta e^{-\beta(m_{max}-\Delta M_1-\Delta M_2-m_o)}}{1 - e^{-\beta(m_{max}-\Delta M_2-m_o)}} \times \Delta M_2 \quad (4.17)$$

4.6. Aktivite Oranı ve Tekerrür İlişkileri

Sismik kaynağın magnitüd tekerrür modeline karar vermek için kaynağın aktivite oranı magnitüd dağılımı modeline ek olarak tahmin edilmelidir. Kaynağın aktivite oranı minimum magnitüd üzerinde deprem oranları olarak tanımlanır ve $N(M_{min})$ olarak gösterilir. Aktivite oranı ya tarihi deprensellik ya da fayın jeolojik bilgilerinden tahmin edilebilir [Ocak, 2011].

$N(M_{min})$ tahmini için jeolojik bilgiler kullanılacaksa, sismik moment birikimi depremlerde salınan sismik moment ile dengelenmelidir [Ocak, 2011].

Kaynağın bir kaynak üzerinde biriken total sismik moment :

$$M_o = \mu \cdot A \cdot D \quad (4.18)$$

Burada, μ kabuk rijitliği ($\sim 3 \times 10^{11}$ dyne / cm²), A fay alanı (km²) ve D ise ortalama yer değiştirmesidir.

Yıllık sismik moment toplamının zamana göre türevi alınırsa:

$$\frac{\partial M_o}{\partial t} = \mu \cdot A \cdot s \quad (4.19)$$

Burada s yıllık kayma hızıdır (cm/year). Bir deprem boyunca salınan sismik moment aşağıdaki eşitlikteki gibidir:

$$Mr = 10^{1.5M+16.05} \quad (4.20)$$

Böylece aktivite oranı $N(M_{\min})$ depremlerin göreceli sıklıkları her bir deprem başına salınan momentlerin integrasyonu ile bulunabilir. Aşağıda verilen eşitlik ile:

$$N(M_{\min}) = \frac{\mu \cdot A \cdot s}{\int_{M_{\min}}^{M_{\max}} f_m(M_w) 10^{1.5M+16.05} dm} \quad (4.21)$$

Aktivite oranı $N(M_{\min})$ her bir kaynak için tekerrür modeli $N(M)$ geliştirmek için magnitüd dağılım fonksiyonları ile birleştirilir:

$$N(M) = N(M_{\min}) \int_{M_{\min}}^{M_{\max}} f_m(M_w) \quad (4.22)$$

Deprem katalogları bölgesel kaynakların aktivite oranını hesaplamak için kullanılır. $N(M_{\min})$ tarihi verileri kesilmiş üssel modele uydurularak tahmin edilebilir [Ocak, 2011]. Bu çalışma kapsamında kesilmiş üssel Gutenberg - Richter Modeli Richter, (1954) ve $N(M)$ verilen M magnitüdüne eşit veya daha büyük depremlerin sayısı temsil eden formülü kullanıldı.

$$\log N = a - bM \quad (4.23)$$

N belirlenen bir bölge ve periyotta ki M magnitüdünden büyük deprem sayıları olup, a ve b ise sabit değerlerdir. Gutenberg-Richter tekerrür modeli büyük depremsellik çalışmalarında kullanılır ve ayrıca mikro-depremleri de tuttuğu doğrulanmış [Demircioğlu, 2010].

4.7. Maksimum Magnitüd (M_{max})

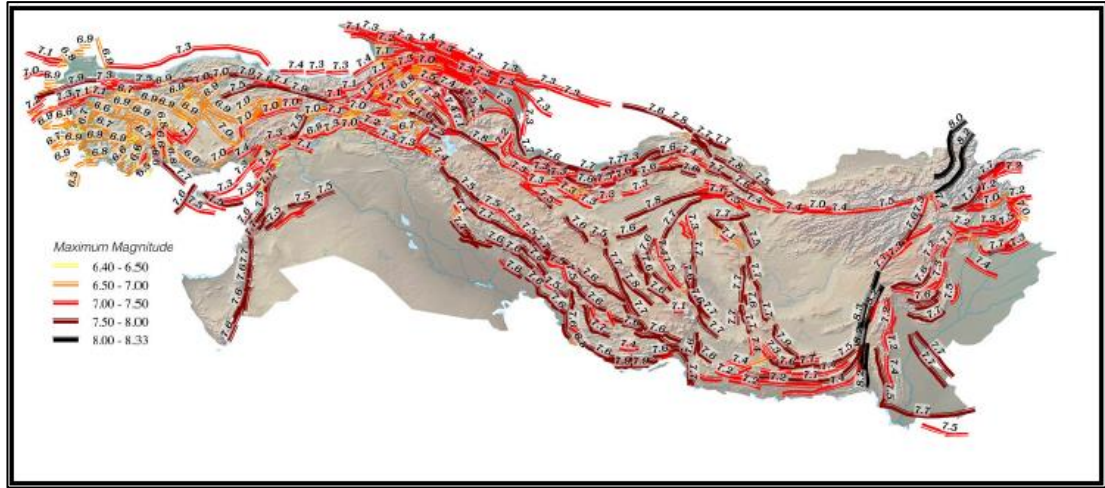
M_{max} , deprem boyutunun üst limitini belirleyen önemli sismojenik parametreden biridir. Yani bir aktif fay da olası en büyük depremi temsil eder. Genellikle M_{max} depremleri uzun tekrarlanma aralığına sahip ve belirlenen M_{max} özellikle baraj, nükleer santral gibi önemli yapılarda düşük yıllık olasılıkları etkiler [Danciu et al., 2018]. Tektonik olarak aktif bölgeler fay karakteristiklerinden (tüm yarık alanı, tüm uzunluk, yarıma uzunluğu, eş sismik kayma ya da sismik moment) direkt hesaplanabilir [Danciu et al., 2018]. Sismojenik yapısının tam tanımlanamadığı bölgelerde M_{max} belirlemek oldukça zordur çünkü fay boyutunu değerlendirmek için en önemli fiziksel kısıtlama bilinmemektedir. Sonuç olarak, bu türden bölgelerde M_{max} belirlemek tarihi kayıtlara ve benzer tektonik özellikler ile kıyaslamak ya da istatistiksel olarak maksimum olası magnitüdün kullanımı ile mümkündür [Danciu et al., 2018].

EMME projesinde sismik olarak aktif bölgeler için, her ne kadar büyük depremler fazla olsa da (100'ün üzerinde $M_w > 7.0$ deprem), deprem kayıt aralığı ~1500 yıl aralığındadır. Bu zaman aralığı $M_w = 8.0$ gibi çok büyük depremlerin tekrarlanma aralığından çok daha küçüktür [Danciu et al., 2018]. Aktif fay bilgilerinin kullanımı (örneğin, fay boyutundan M_{max} geçerek) bu süre jeolojik zamanlara kadar genişletilebilir fakat fay bilgileri ya tam değil ya da belirsizdir.

M_{max} tanımı maksimum depremin farklı tanımlarına dayanır ve farklı şekilde belirlenebilir. Bunlar:

- Tarihi kayıtların gözlemlenmesi ile maksimum magnitüd tahmininden,
- Benzer (analog) tektonik özelliklerden,
- Fay uzunluğu dönüşümünden M_{max} tespit edilmeye çalışır.

EMME projesi kapsamında aktif fayların M_{max} dağılımları şekil 4.26'da gösterilmiştir [Danciu et al., 2018]. Marmara bölgesinde genelde M_{max} değerini şekil 4.26'da 6.4 ile 7.6 aralığında olduğu görülmektedir.



Şekil 4.27: EMME projesinde kullanılan aktif fayların Mmax dağılımları.

Bu tez kapsamında belirlenmiş olan çalışma alanı içinde kalan ve analizlerde kullanılan EMME ve SHARE projelerinden referans alınan kaynak parametreleri, minimum ve maksimum magnitud değerleri tablo 4.12 ve 4.16’da gösterilmiştir.

Tablo 4.12: Tez kapsamında belirlenmiş olan bölgede kalıp analizlerde kullanılan EMME kaynak bilgileri.

Kaynak Kodu	Kaynak Adı	Fay Tipi	a	b	Mmin	Mmax
TRCS007	NAF-1944 Bolu Gerede	Sağ Yanal Atımlı	3.60061	0.750384	5.5	7.6
TRCS008	NAF - 1957 Bolu Abant Earthquake Rupture	Sağ Yanal Atımlı	3.37894	0.750384	5.5	6.9
TRCS009	NAF - 1967 Mudurnu Valley Earthquake	Sağ Yanal Atımlı	3.28058	0.750384	5.5	7.1
TRCS010	NAF - 1999 Duzce Earthquake	Sağ Yanal Atımlı	3.44966	0.750384	5.5	6.9
TRCS012	NAF - 1999 Izmit Earthquake	Sağ Yanal Atımlı	2.93401	0.750384	5.5	7.5

Tablo 4.13: Devam.

TRCS013	NAF - Eastern Marmara	Sağ Yanal Atımlı	3.51543	0.750384	5.5	7.3
TRCS014	NAF - 1894 Earthquake (South Cinarcik)	Sağ Yanal Atımlı	2.20907	0.750384	5.5	7.1
TRCS015	NAF - South Imrali Basin	Sağ Yanal Atımlı	2.20194	0.750384	5.5	7.1
TRCS022	NAF - Geyve Gemlik	Sağ Yanal Atımlı	3.02299	0.750384	5.5	7.5
TRCS023	NAF - Gemlik Bandirma	Sağ Yanal Atımlı	2.93138	0.750384	5.5	7.3
TRCS028	NAF - Yenisehir 1	Sağ Yanal Atımlı	3.82033	0.944468	5.5	7.0
TRCS029	NAF - Bursa 1855B Earthquake	Normal	2.81325	0.750384	5.5	6.8
TRCS030	NAF - 1964 Manyas Earthquake	Normal	2.95319	0.750384	5.5	7.1
TRCS038	NAF - Gencali Fault	Sağ Yanal Atımlı	2.85827	0.750384	5.5	6.6
TRCS039	NAF - Yenisehir 2	Sağ Yanal Atımlı	2.65592	0.750384	5.5	6.5
TRCS040	NAF - Bursa 1855A Earthquake	Sağ Yanal Atımlı	2.66906	0.750384	5.5	6.8
TRCS041	NAF - Turankoy	Normal	2.82781	0.750384	5.5	6.4
TRCS042	NAF - Barakfaki	Normal	3.97584	0.944468	5.5	6.4
TRCS044	NAF - Burhaniye	Sağ Yanal Atımlı	3.6977	0.944468	5.5	6.7
TRCS191	Cihanbeyli Fault Zone 1	Sağ Yanal Atımlı	1.86265	0.944468	5.5	6.9
TRCS192	Cihanbeyli Fault Zone 2	Sağ Yanal Atımlı	1.32675	0.944468	5.5	6.5
TRCS193	Yeniceoba Fault Zone	Sağ Yanal Atımlı	1.82963	0.944468	5.5	7
TRCS194	Illica Fault Zone	Sağ Yanal Atımlı	1.84955	0.944468	5.5	6.9
TRCS195	Sivrihisar North	Sağ Yanal Atımlı	1.91616	0.944468	5.5	6.9
TRCS196	Sivrihisar South	Sağ Yanal Atımlı	1.75375	0.944468	5.5	6.9

Tablo 4.14: Devam.

TRCS197	Alpu North	Sağ Yanal Atımlı	1.55974	0.944468	5.5	6.8
TRCS198	1956 Eskişehir Earthquake	Sağ Yanal Atımlı	1.49762	0.944468	5.5	6.8
TRCS199	Eskişehir South	Sağ Yanal Atımlı	1.53286	0.944468	5.5	6.9
TRCS200	Inonu North	Sağ Yanal Atımlı	1.42239	0.944468	5.5	6.7
TRCS202	Bursa Inonu	Sağ Yanal Atımlı	1.74469	0.944468	5.5	6.8
TRCS207	Murat Dagi South 2	Sağ Yanal Atımlı	3.91382	0.944468	5.5	6.7
TRCS208	1970 Gediz Earthquake	Normal	4.11476	0.944468	5.5	7
TRCS209	1969 Demirci Earthquake	Normal	3.92771	0.944468	5.5	6.9
TRCS210	Sindirgi	Normal	3.90741	0.944468	5.5	6.7
TRCS217	Bolvadin Graben West	Normal	1.19743	0.944468	5.5	6.8
TRCS226	Muratdagi North 2	Normal	1.21295	0.944468	5.5	6.6
TRCS231	Ulusdagi Fault 2	Normal	1.25211	0.944468	5.5	6.6
TRCS232	Akhisar Fault Zone	Sağ Yanal Atımlı	1.8464	0.944468	5.5	6.9
TRCS233	Balikesir Fault Zone 1	Sağ Yanal Atımlı	3.47586	0.905855	5.5	6.9
TRCS239	Muried Fault Zone	Sol Yanal Atımlı	1.54631	0.944468	5.5	6.9
TRCS240	Celtikci Fault Zone 1	Sol Yanal Atımlı	1.68915	0.944468	5.5	6.9
TRCS241	Celtikci Fault Zone 2	Sol Yanal Atımlı	1.17932	0.944468	5.5	6.4
TRCS243	Haymana Fault	Sağ Yanal Atımlı	3.35948	0.944468	5.5	6.7
TRCS310	Kutahya Fault Zone 1	Normal	1.74283	0.944468	5.5	6.9
TRCS311	Kutahya Fault Zone 2	Normal	2.05232	0.944468	5.5	6.9
TRCS313	Emet Graben - Western Boundary	Normal	1.27506	0.944468	5.5	6.8

Tablo 4.15: Tez kapsamında belirlenmiş olan bölgede kalıp analizlerde kullanılan SHARE kaynak bilgileri.

Kaynak Kodu	Kaynak Adı	Fay Tipi	a	b	Mmin	Mmax
TRCS007	NAF-1944 Bolu Gerede	Sağ Yanal Atımlı	3.51755	0.8	6.4	7.8
TRCS008	NAF - 1957 Bolu Abant Earthquake Rupture	Sağ Yanal Atımlı	3.11316	0.8	6.4	7.2
TRCS009	NAF - 1967 Mudurnu Valley Earthquake	Sağ Yanal Atımlı	3.16699	0.8	6.4	7.4
TRCS010	NAF - 1999 Duzce Earthquake	Sağ Yanal Atımlı	3.3468	0.8	6.4	7.2
TRCS012	NAF - 1999 Izmit Earthquake	Sağ Yanal Atımlı	3.16478	0.8	6.4	7.8
TRCS013	NAF - Eastern Marmara	Sağ Yanal Atımlı	3.56385	0.8	6.4	7.6
TRCS014	NAF - 1894 Earthquake (South Cinarcik)	Sağ Yanal Atımlı	3.0351	0.8	6.4	7.4
TRCS015	NAF - South Imrali Basin	Sağ Yanal Atımlı	2.54619	0.8	6.4	7.4
TRCS022	NAF - Geyve Gemlik	Sağ Yanal Atımlı	4.06535	0.966	6.4	7.8
TRCS023	NAF - Gemlik Bandirma	Sağ Yanal Atımlı	3.91687	0.966	6.4	7.6
TRCS028	NAF - Yenisehir 1	Sağ Yanal Atımlı	3.61415	0.966	6.4	7.2
TRCS029	NAF - Bursa 1855B Earthquake	Normal	3.67889	0.966	6.4	7
TRCS030	NAF - 1964 Manyas Earthquake	Normal	3.92201	0.966	6.4	7.4
TRCS038	NAF - Gencali Fault	Sağ Yanal Atımlı	3.6272	0.966	6.4	6.8
TRCS040	NAF - Bursa 1855A Earthquake	Sağ Yanal Atımlı	3.52303	0.966	6.4	7
TRCS044	NAF - Burhaniye	Sağ Yanal Atımlı	3.44358	0.966	6.4	7
TRCS191	Cihanbeyli Fault Zone 1	Sağ Yanal Atımlı	2.68222	0.906	6.4	7.2
TRCS193	Yeniceoba Fault Zone	Sağ Yanal Atımlı	2.73244	0.906	6.4	7.2

Tablo 4.16: Devam.

TRCS194	Ilica Fault Zone	Sağ Yanal Atımlı	2.68109	0.906	6.4	7.2
TRCS195	Sivrihisar North	Sağ Yanal Atımlı	2.66798	0.906	6.4	7.2
TRCS196	Sivrihisar South	Sağ Yanal Atımlı	2.7493	0.906	6.4	7.2
TRCS197	Alpu North	Sağ Yanal Atımlı	2.83417	0.906	6.4	7.2
TRCS198	1956 Eskişehir Earthquake	Sağ Yanal Atımlı	2.84506	0.906	6.4	7
TRCS199	Eskişehir South	Sağ Yanal Atımlı	2.85395	0.906	6.4	7.2
TRCS200	Inonu North	Sağ Yanal Atımlı	2.75756	0.906	6.4	7
TRCS202	Bursa Inonu	Sağ Yanal Atımlı	2.6289	0.906	6.4	7
TRCS207	Murat Dagi South 2	Sağ Yanal Atımlı	4.74091	1.165	6.4	7
TRCS208	1970 Gediz Earthquake	Normal	4.94017	1.165	6.4	7.4
TRCS209	1969 Demirci Earthquake	Normal	4.89587	1.165	6.4	7.2
TRCS210	Sindirgi	Normal	4.82431	1.165	6.4	7
TRCS217	Bolvadin Graben West	Normal	2.3963	0.911	6.4	7
TRCS226	Muratdagi North 2	Normal	3.79419	1.165	6.4	6.8
TRCS231	Ulusdagi Fault 2	Normal	3.86679	1.165	6.4	6.8
TRCS232	Akhisar Fault Zone	Sağ Yanal Atımlı	3.22614	0.994	6.4	7.2
TRCS233	Balikesir Fault Zone 1	Sağ Yanal Atımlı	3.41728	0.994	6.4	7.2
TRCS239	Murted Fault Zone	Sol Yanal Atımlı	3.97751	1.19	6.4	7.2
TRCS240	Celtikci Fault Zone 1	Sol Yanal Atımlı	3.82174	1.19	6.4	7.2
TRCS243	Haymana Fault	Sağ Yanal Atımlı	4.26668	1.19	6.4	7
TRCS310	Kutahya Fault Zone 1	Normal	2.72115	0.911	6.4	7.2
TRCS311	Kutahya Fault Zone 2	Normal	2.56658	0.911	6.4	7.2
TRCS313	Emet Graben - Western Boundary	Normal	2.47393	0.911	6.4	7

4.8. Yer Hareketi Tahmin Denklemleri

Pasifik Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi (The Pasific Earthquake Engineering Research Center-PEER) tarafından aktif tektonik bölgelerdeki sığ kabuk depremleri için 2003 yılında YHTD'leri geliştirmek geniş bir çalışma başlatıldı. Proje 2008'de dünya çapında kuvvetli yer hareketleri verileri kapsamlı şekilde toplanması ile bir dizi YHTD'leri (Next Generation Attenuation -NGA-West1 modelleri) yatay yer hareketi bileşeni için yayınlandı [Power et al., 2008]. Scasserra vd., (2009), Stafford vd., (2008), Shoja-Taheri vd., (2010) ve Bradley, (2013) tarafından yapılan son çalışmalar ile NGA-West1'in uygulanabilirliği İtalya, İran, Yeni Zellanda, Avrupa ve Ortadoğu bölgelerinde için test edildi.

4.8.1. NGA-West2 Yer Hareketi Tahmin Denklemleri

YHTD'de bazı önemli konulara ve desteklenen araştırma projelerine NGA-West1 projesi tam olarak hitap etmede eksik kaldı . Bu yüzden NGA-West2 projesi 2011 yılında NGA-West1 projesinin güncellemek için başladı. Yeni projenin ana amaçları:

- Küçük, orta ve büyük magnitüdler için NGA-West1 verisini genişletmek,
- Yer hareketinin yatay bileşeni için NGA-West1 YHDT'lerini revize etmek ve dişey yer hareketi verileri için yeni YHTD'leri geliştirmek,
- YHTD'ler tarafından öngörülen tepki spektrumlarını referans değerlerinden farklı sönüm değerlerine ölçeklemek için sönümleme modelleri geliştirmek,
- Yönelimli (directivity) modelleri ve bunların yatay yer hareketinin yönlülüğü üzerindeki etkilerini değerlendirmek

şeklindedir.

NGA-West2 araştırma projesinde YHTD'leri geliştirenler Boore, Stewart, Seyhan ve Atkinson (BSSA14 model)[Boore et al., 2014]; Chiou and Youngs (CY14 model)[Chiou and Youngs, 2014]; Abrahamson, Silva, and Kamai (ASK14 model)[Abrahamson et al., 2014]; Campbell ve Bozorgnia (CB14 model)[Campbell and Bozorgnia, 2014]; Idriss (I14 model)[Idriss, 2014] şeklindedir. Bu projede veriler üç ana bileşen kayıtları ile 21,332 'ye genişledi ($3.0 \leq M_w \leq 4.5$ arasındaki olay kayıtları

10,706'dır). Bu yeni veriler $M_w=3$ ile $M_w=7.9$ arasındaki magnitüdlere ve 0.05 km ile 533 km arasındaki mesafeleri kapsar. ASK14, BSSA14, CB14, CY14 modellerinin uzaklık, magnitüd, kesme dalgası hızı ve periyotlarının listesi aşağıdaki tablo 4.17'de verilmiştir.

Tablo 4.17: Dört NGA-West2 YHTD'nin Magnitüd, Uzaklık, V_{s30} ve Spektra Periyot Değerlerinin Aralığı.

NGA-West2 Model	ASK14	BSSA14	CB14	CY14
Magnitüd (M_w)	3.8-8.5	3.0-8.5 (SS,RV)	3.3-8.5 (SS)	3.5-8.5 (SS)
Mekanizma	Hepsi	3.3-7.0 (NM)	3.3-8.0 (RV) 3.3-7.0 (NM)	3.5-8.0 (RV,NM)
Uzaklık (km)	0-300	0-400	0-300	0-300
V_{s30} (m/sn)	180-1500	150-1500	150-1500	180-1500
Periyot Aralığı	PGA-10 sn PGV	PGA-10 sn PGV	PGA-10 sn PGV	PGA-10 sn

NGA-West1 YHT'lerinin küçükten orta dereceli olayları yer hareketlerinin aşırı bir tahmin yolunu açtığı kabul edilmiştir [Chiou et al., 2010], [Atkinson and Boore, 2011], [Cambell 2011]. Yeni ve büyük verilere dayana NGA-West2 modellerinin magnitüd skalaları küçük ve orta magnitüdlü depremler için bu aşırı tahmin göz önüne alınarak değiştirildi. Gülerce vd., (2015)'e göre NGA-West2 magnitüd skalası ve TR-adjusted NGA-West1 modelleri $5 < M < 6.75$ aralığındaki küçük farklar dışından oldukça esnek fonksiyon formları ile CB14 ve CY14 oldukça benzerdir. Daha küçük magnitüdlere için ($M < 4$) NGA-West2 modelleri ve TR-Adjusted NGA-West1 modelleri benzerdir. Idriss, (2014, ID14) tarafından güncellenen model önceki versiyonla (ID08) yaklaşık olarak aynı magnitüdlere sahip ve iki modelde TR-Adjusted versiyonu ile oldukça farklılık göstermektedir.

ASK14, BSSA14, CB14 ve CY14 modelleri geniş uzaklık skalası içindeki farklı bölgeleri kabul eder. Fakat bölge terimleri Tayvan, Japonya, Çin ve İtalya gibi NGA-West2 verilerinde önemli miktarda veriye sahip bölgeler için geliştirildi. NGA-West2 verileri içinde Türkiye kayıtları seyrek (55 kayıt). Bu yüzden bireysel anelastik azalımı (individual anelastic attenuation) terimleri Türkiye için sağlanılamıyor.

BSSA14 modeli Çin ve Türkiye kayıtlarını kombine ederek (‘high Q’ bölgeleri olarak tanımlandı) c_3 terimli bir Çin-Türkiye modifikasyonu sağladı. ASK14 modelinde Türkiye kayıtları ‘Orta Doğu’ alt grubu altından İran yer hareketleri ile gruplandırıldı. Fakat ayrık anelastik azalım ya da zemin arttırma katsayısı değerlendirmelerden sonra Orta Doğu bölgesi için sağlanamadı. Benzer şekilde CB14 ve CY14 modelleri Kaliforniya ve Türkiye yer hareketleri büyük uzaklık skalaları arasında bir farklılık bulunmadı. Gülerce vd., (2015) bulguları ve NGA-West2 projesinin bulgularını destekler niteliktedir, Türkiye uzaklık skalasının verisi NGA-West1 ve West2 modellerinin uzaklık skalalarından çok da farklı değildir. NGA-West2 modelleri aşağıda kısaca açıklanacaktır.

4.8.1.1. Abrahamson vd., 2014 (ASK14) modeli

ASK14 modeli Abraham ve Silve, 2008 (AS08) modelinin NGA-West2 verilerine dayanarak güncellenmiş hali şeklindedir. Modelin input parametreleri AS08 modelinden kullanılan değerlere benzer şekildedir. Dahil edilen değişiklikler:

- Non-linear zemin etkileri için yükleme seviyesi PGA’dan ziyade ilgili periyodun spektral ivmesine dayanır,
- Tavan taşı (hanging wall, HW) etkileri için uzaklık skalası kaynak-zemin azimuthta bağlılık içerir,
- Geniş uzaklık azalımında bölge etkileri ve Kaliforniya, Çin, Japonya, Tayvan arasından zemin artım skalası birleştirilmiştir,
- HW etkileri için skalalar nümerik simülasyonların kısıtlamalarına dayanarak geliştirilmiştir,
- Standart sapma kısa periyotta daha büyük standart sapmalar ile sonuçlanan daha küçük magnitüdler ile magnitüde bağlıdır fakat uzun periyotlarda daha küçük standart sapmalar ve eski modelden farklı küçüklü büyüklüklü olaylar ($M_w=3$) güncel versiyonda dahil edilmiştir

şeklindedir.

ASK14 denklemi aşağıda 4.24 eşitliği ile verilmiştir.

$$\ln Sa(g) = f_1(M, R_{rup}) + F_{RV} f_7(M) + F_N f_8(M) + F_{AS} f_{11}(CR_{jb}) + f_5(Sa_{1180}, V_{s30}) + F_{HW} f_4(R_{jb}, R_{rup}, R_X, W, dip, Z_{TOR}, M) + f_6(Z_{TOR}) + f_{10}(Z_{1.0}, V_{s30}) \text{Reg}(V_{s30}, R_{rup}) \quad (4.24)$$

Burada f_1 doğrultu atımlı depremlere bağlı uzaklık ve büyüklüğün en basit formudur, f_7 ve f_8 fay modelinin stili için fonksiyonlardır, f_{11} artçı şok skala fonksiyonudur, f_5 kaya zeminde medyan spektral ivme kullanılarak oluşturulan zemin tepki modelidir, f_4 tavan taşı (hanging wall) modelidir, f_6 yarılmının üst derinlik modeli, f_{10} zemin derinlik modelidir. Bu modelde V_{s30} 'un farklılığı ayrıca eklenmiştir.

4.8.1.2. Boore vd., 2014 (BSSA14) modeli

Yeni geliştirilen BBSA14 modeli Boore ve Atkinson, (2008) modelinin güncellenmiş halidir. Bu modelde aktif tektonik bölgelerdeki sığ kabuk depremleri için yer hareketi genlik kayıtlarının ortalama yatay bileşenin standart sapması ve medyan değerlerini hesaplama olanağı vermiştir. Kaynak içindeki bölge çeşitliliği, yön ve zemin etkileri dikkate alındı fakat model direktivite etkilerini açıklayamıyor. BSSA14 denklemi aşağıda 4.25 eşitliğinde gösterilmiştir.

$$\ln Y = F_E(M, mech) + F_p(R_{jb}, M, region) + F_S(V_{s30}, R_{bj}, M, region, z1) + \epsilon_n \sigma(M, R_{jb}, V_{s30}) \quad (4.25)$$

Burada Y yer hareketinin doğal logaritmasını temsil eder; F_E kaynak fonksiyonu; F_p yön ile alakalı fonksiyon; F_S zemin etki fonksiyonu; ϵ_n $\ln Y$ tek tahmin değerinin standart sapmasının kesirli sayısı; σ standart sapma, M , $mech$, ve R_{jb} tahmin değerleri.

4.8.1.3. Campbell ve Bozorgnia, 2014 (CB14) modeli

CB14 modeli aktif tektonik bölgelerde sığ kabuk depremlerden tahmin edilen yatay yer hareketi için Campbell ve Bozorgnia, 2008 (CB08) modelinden sonra geliştirildi. Bu yeni model yarıma düzlemi üzerinde tavan taşı (hanging wall) etkileri için modifikasyonlar veriyor, küçük magnitüd ve uzak kaynak tahminleri geliştiriliyor. Ayrıca ek aktif tektonik bölgelerden dahil edilen depremlerden dolayı $M_w > 5.5$ için inter-event çeşitliliği de artıyor. NGA-West22nin büyük verilerine dayanan bu model

küçük magitüdlerin azalım ilişkilerini (attenuation) ve magnitüd skalasında daha iyi kısıtlamalar sunuyor. CB14 modelinin genel eşitliği 4.26 eşitliğinde aşağıda verilmiştir.

$$\begin{aligned} \ln Y &= \ln PGA & \text{PSA} < \text{PGA} \text{ ve } T < 0.25 \text{ sn} \\ \ln Y &= f_{\text{mag}} + f_{\text{dis}} + f_{\text{flt}} + f_{\text{hng}} + f_{\text{site}} + f_{\text{sed}} + f_{\text{hyp}} + f_{\text{dip}} + f_{\text{atn}} \text{ diğerleri için} \end{aligned} \quad (4.26)$$

Burada f_{mag} magnitüd terimi; f_{dist} geometrik azalım ilişkisi terimi; f_{flt} fay tipi terimi; f_{hng} hanging wall terimi; f_{hyp} hypocenter derinlik derimi; f_{dip} fayın eğim açısı ve f_{atn} anelastik azalım ilişkisini temsil eder.

4.8.1.4. Chiou ve Youngs, 2014 (CY14) modeli

CY14 (Chiou ve Youngs, 2014) modeli aktif tektonik bölgelerinde meydana gelen sığ kabuk depremleri (shallow crustal earthquakes) tarafından oluşan yatay yer hareketi büyüklüklerini tahmin etmede kullanılan Chiou ve Youngs, (2008) (CY08) modelinden güncellenmiştir. CY14 Chiou ve Youngs, (2014) modelinde medyan yer hareketi değerleri $M_w > 7.0$ için eski modeller ile benzerlik gösterirken $M_w < 5.0$ magnitüd için daha küçük sonuçlar vermektedir. CY2014 modelinde fay etkileri, hanging wall fonksiyonu, yarılmının üst derinlik skalası (Z_{TOR}), sediment kalınlık skalası ($Z_{1.0}$), fay dip ve yarıлма yönleri gibi faya etki edecek ek bilgiler bakımından C08 (Chiou ve Youngs, 2008)'den farklı küçük düzeltmeler içermektedir. Bunlara ek olarak, Kalifornia ve diğer aktif tektinik bölgeler arasında uzak kaynakta ($80 \text{ km} < R_{\text{rup}} \leq 500 \text{ km}$) bölge etkileri mesafe azalım ilişkisi ve zemin etkileri dâhil edilmiştir.

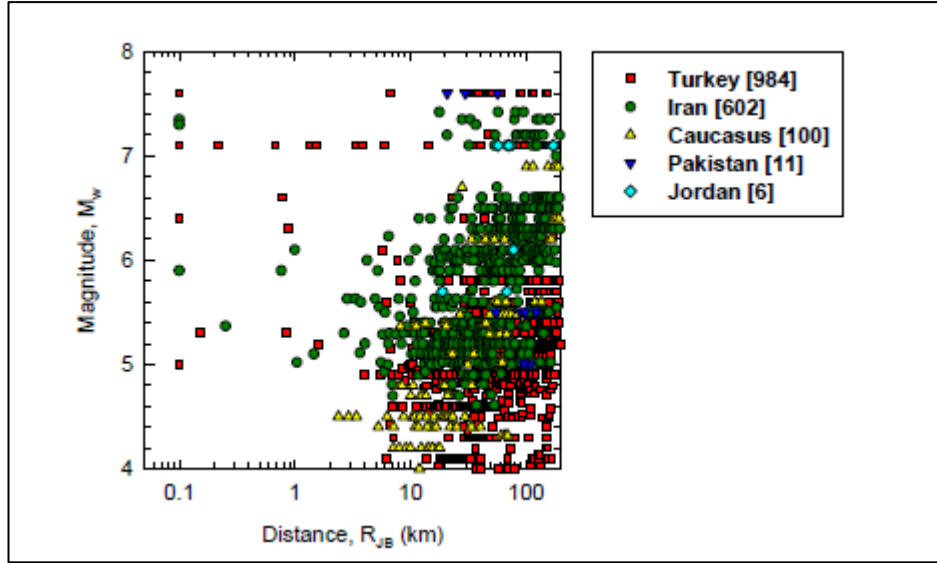
4.8.2. EMME Yer Hareketi Tahmin Denklemleri

EMME bölgesinin tüm sismoteknik özellikleri sismik tehlike hesabı için dalma-batma bölgeleri (DBB) ve aktif sığ deprem tektoniği düşünülerek önerildi. EMME aktif sığ deprem tektoniği için önerilen YHTD'leri içinden 14 yer hareketi denklem modeli seçildi [Erdik vd., 2012]. Aday YHTD'ler Cotton vd., (2006) tarafından önerilen kriterlere tam olarak uyan global ve yerel tahmin denklemlerinden oluşur. Bu yöntem kriterleri arasında:

- Tehlikesi hesaplanacak bölgenin tektonik özelliklerine uyan,
 - Hakem değerlendirilmesi yapılmış bir yayında geçen,
 - Dokümantasyonu ve veri tabanı yeterli olan,
 - En güncel versiyona sahip olan,
 - Periyot aralığı çalışma içeriğine uyan ,
 - Yeterli sismolojik parametreleri içeren bir fonksiyon kullanılarak üretilen,
 - Regresyon metodu güncel olan tahmin denklemlerin göz önüne alınmasını
- [Kale ve Akkar, 2011]

önerilmektedir [Kale ve Akkar, 2011].

Aktif sığ deprem tektoniği için seçilen aday YHTD'lerinin genel özellikleri üzerinde detaylı bilgi Kale ve Akkar, (2013)'de bulunabilir. Aktif sığ deprem tektoniğini temsil eden seçilen aday modeller EMME kuvvetli yer hareketi (strong-motion) verilerinin altlığı kullanılarak bir dizi metod ve 2 analitik teste maruz kaldı [Erdik vd., 2012]. Seçilen YHTD'leri belli özellikler; uzaklık ve magnitüd aralığı, farklı yatay bileşen tanımları (örn., iki yatay bileşen, yatay bileşenin en büyüğü, geometrik mean ve dönme –bağımsız geometrik mean –GMRot150) ve farklı kaynak-uzaklık ölçümleri (örn., R_{EPI} , R_{HYP} , R_{JB} and R_{RUP}) ile karakterizyon edildi [Danciu et al., 2018]. EMME yer hareketi verileri neredeyse tamamen EMME bölgelerindeki aktif sığ deprem tektonik bölgelerden toplanan yer hareketlerini içerir. Türkiye'den 984 kayıt, İran'dan 602 kayıt, Kafkasya'dan 100 kayıt, Ürdün'den 6 kayıt ve Pakistan'da 11 kayıt toplanarak 1703 yatay bileşen ivme kayıtları verisi oluşturuldu [Erdik vd., 2012]. Ülkelere bağlı moment magnitüdü (M_w) ve Joyner-Boore uzaklığı (R_{JB} ; fay yarığının yatay izdüşüm yüzeyi ile en yakın uzaklık) dağılımı şekil 4.28'de Erdik vd., (2012) gösterilmektedir.

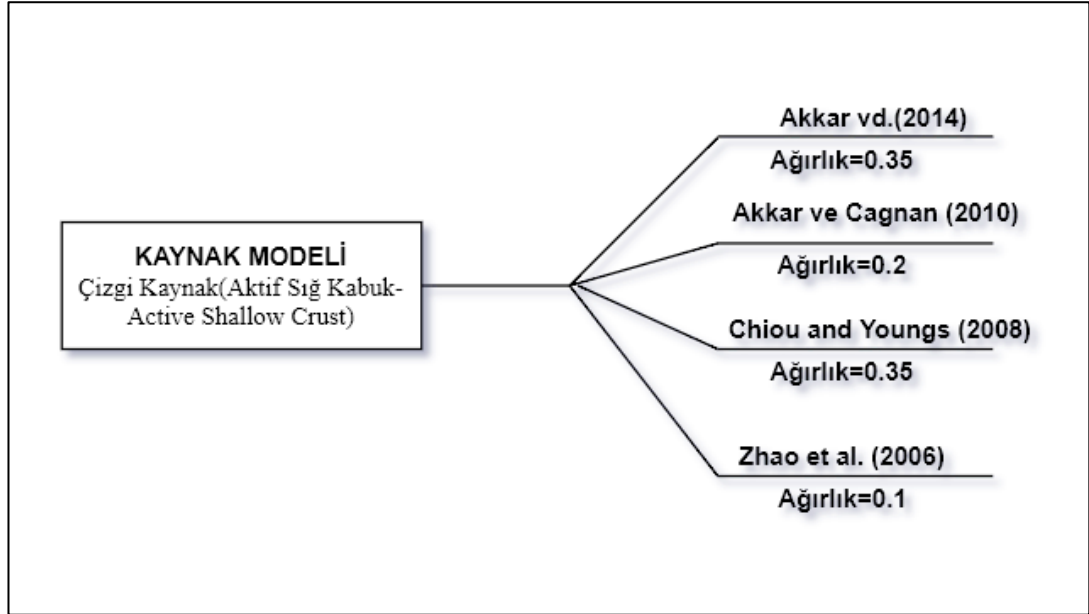


Şekil 4.28: EMME bölgelerinde aktif sığ deprem tektoniği için aday YHTD’lerinin testinde kullanılan veriler.

Veriler içinde baskın olan yarıılma mekanizması doğrultu atım (strike-slip) olmakla beraber onu takiben ters (reverse) ve normal (normal) mekanizmalarıdır. Eurocode 8 (CEN, 2004) zemin sınıfına göre B ve C zemin sınıflarının (V_{s30} sırası ile 360-800 m/sn ve 180-360 m/sn) ivme kayıtları zemin koşullarında baskın şekildedir. Buna rağmen Eurocode 8’de tanımlanan A zemin sınıfı ($V_{s30} > 800$ m/sn) olan sert zeminlerinin birkaç yeterli düzeyde ivme kaydı vardır [Erdik vd., 2012]. Dalma- batma depremlerinden elde edilen deprem kayıtları EMME kuvvetli yer hareketi verileri içinde önemsiz olduğundan test edilmeyen prosedür EMME DBB bölgeleri için seçilen YHTD’lerine uygulandı [Erdik vd., 2012].

Cotton vd., (2006) çalışmasının kriterlerine göre seçilmiş olan YHTD’leri maksimum yer ivmesi (PGA) ve farklı periyotlardaki ($T=0.1, 0.2, 0.5, 0.75, 1.0, 1.5$, ve 2.0 sn) spektral ivmeler için Scherbaum vd., (2009) çalışmasındaki olasılıksal yöntem ile değerlendirilmiştir. Olasılıksal yöntemde (log-likelihood-LLH), test edilecek YHTD’leri testte kullanılacak olan veri tabanında göstermiş olduğu olasılıksal dağılımları arasındaki farklar hesaplanarak modelin veri tabanının güvenilir olduğunu sayısal olarak gösterir [Kale ve Akkar, 2011]. Bu kriterler ve analiz sonucunda ise Akkar ve Bommer, (2010), Zhao, (2006), Cagnan ve Akkar, (2010) ve Chiou ve Youngs, (2008) diğerlerine göre daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. En güncel versiyonun kullanılması kriterinden Akkar vd., (2014) kullanılmıştır.

Bu tez kapsamındaki çalışma alanı içinde kalan bölgelerin tamamının aktif sığ deprem teknotiğine sahip olmasından onun üzerinde durulmuş ve aşağıdaki şekil 4.29'da ise yukarıda bahsedilen YHTD'lerden seçilmiş olan azalım ilişkileri ve ağırlıkları görülmektedir.



Şekil 4.29: Tez kapsamında da kullanılan ve EMME projesinde aktif sığ tektonik bölgeler için belirlenen YHTD'leri ve ağırlıkları.

4.8.3. SHARE Yer Hareketi Tahmin Denklemleri

YHTD'lerinin mantık ağacı yeni bir yaklaşım kullanılarak geliştirildi. Bu yaklaşım, gelecek depremlerden tahmin edilen olası yer hareketinin dağılımını elde etmek için iteratif bir yöntem ile veri testlerinin, Avrupa uzmanları tarafından ortaya çıkarılan kombinasyonlar ile oluşturulmuştur [Woessner et al., 2015]. Avrupa tektonik bölgelerini dâhil eden veri test aşaması, jeolojik hareketler ve detaylı olarak kuvvetli yer hareket (strong-motion) dalga biçim veri setlerine dayanarak, sonucunda da 14 YHTD seçilmesine neden oldu [Woessner et al., 2015]. Bunlar tüm magnitüd, derinlik, mesafe aralığı ve Avrupa da var olan kaynak hacminin tüm jeolojik özellikleri için beklenen yer hareketini tanımlanır.

Avrupa, Orta Doğu, Kaliforniya, Japonya'nın dâhil olduğu bölgelerde zaman geçmişini içeren veriler kaydedildi. Bu veriler (3708 istasyondan kaydedilen ve 2268

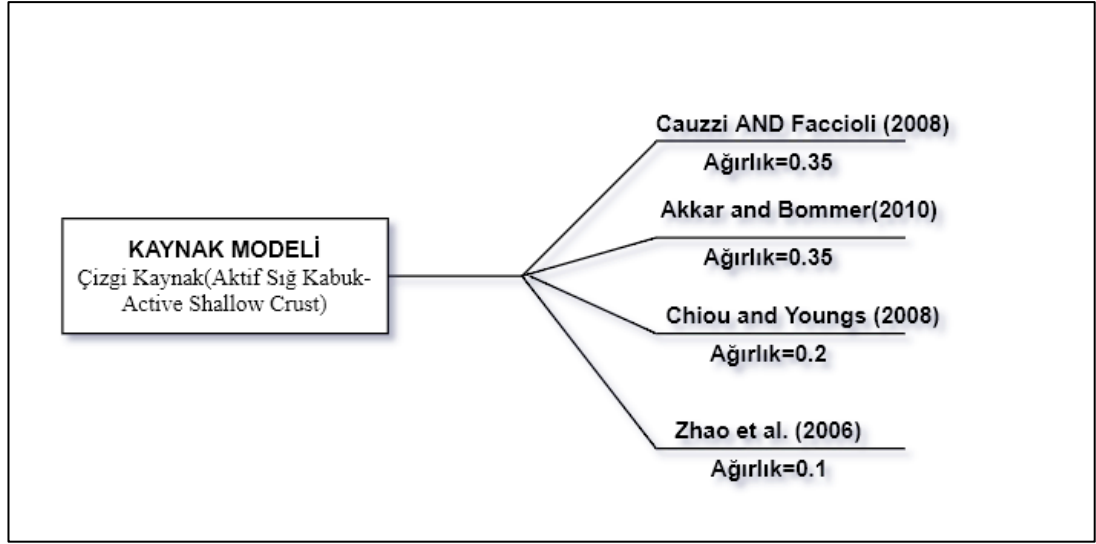
olaydan alınan 13,500 kayıttır) hiyerarşik bir yaklaşım ile olay, istasyon ve dalga biçim bilgileri tekrarlananlar çıkarılarak dikkate alınmıştır [Woessner et al., 2015].

SHARE projesinden seçilen YHTD'leri altı adımda seçilmiştir. Bunlar:

- YHTD'lerinin ön seçimi tektonik bölgelere adaptesi için uygun olmalıdır [Cotton et al., 2006],
- Önceden belirlenmiş bir dizi kural, verilen herhangi tektonik bölgede deprem yer hareketini tahmin etmek için aday YHTD'leri herhangi bir uzmanın uygun değerlendirmesi amaçladı,
- Scherbaum vd., (2009) tarafından tanımlanan yöntemleri takip edilerek kümelenmiş verilere karşı aday YHTD'lerinin testini amaçlamak,
- Bağımsız 2 ve 3. adımın sonuçlarını önerilen bir ağırlık şemasında birleştirme,
- Her bir tektonik rejim için önerilen mantık ağacının ağırlık şemasının hassas değerlendirilmesi ve ihtiyaç varsa önerilen ağırlıkların gözden geçirilmesi,
- Son ağırlıkların tanımlanması [Woessner et al., 2015],

seçilen adımlardır.

Tüm aşamalardan sonra her bir tektonik bölge için YHTD'leri ve ağırlıkları belirlendi. Bu tez kapsamında çalışma alanı olan aktif sığ tektoniği için 4 YHTD'i seçildi. Bunlar ise; Zhao, (2006); Chiou ve Youngs, (2008); Akkar ve Bommer,(2010); Cauzzi ve Faccioli, (2008) şeklindedir. Şekil 4.30'da oluşturulan mantık ağacında kullanılan azalım ilişkileri ve ağırlıkları gösterilmektedir.



Şekil 4.30: Tez kapsamında da kullanılan ve SHARE projesinde aktif sığ tektonik bölgeler için belirlenen YHTD'leri ve ağırlıkları.

4.9. Aleatory Variability (Rassal Çeşitlilik) ve Epistemic Uncertainty (Bilgisel Belirsizlik)

Aleatory variability (rassal çeşitlilik) ve epistemic uncertainty (bilgisel belirsizlik) diğer alanlarda yaygın kullanılmamasına rağmen deprem tehlike analizinde sık kullanılan ve iyi bilinmesi gereken terimlerdir [Abrahamson, 2006]. Rassal belirsizlik bir süreç içindeki doğal rassallıktır. Bunun nedeni karmaşık süreçlerin basit modeller ve parametreleştirilmelerinden kaynaklanmaktadır [Abrahamson, 2006]. Epistemic belirsizlik ise süreçteki basit modelin bilimsel belirsizliği ve alternatif modeller tarafından tanımlanabilmesinden kaynaklanmaktadır [Abrahamson, 2006].

Ayrıca rassallık (randomness) ve belirsizlik (uncertainty) terimleri sırasıyla rassal çeşitlilik ve epistemic belirsizlik içinde kullanılır. Fakat bu terimler yaygın olarak genel yollar ile kullanıldığından tehlike analizi tartışmalarından sıklıkla karıştırılır [Abrahamson, 2006]. Bu terimler arasındaki anlam farklılığının bilinip ona göre kullanılması daha açık bir terminoloji oluşması ve yanlış anlamaların önüne geçilmesi adına oldukça önemlidir.

Eğer bir parametre bazen bir değere bazen başka değerlere sahipse o zaman o rassal çeşitliliktir. Yani çeşitlilik rassaldır. Eğer parametre daima ya bir değere ya da diğerine sahipse fakat tam emin olunamıyorsa o zaman o parametre ise bilgisel belirsizliktir.

Rassal çeşitlilik, gelecek olayların ön görülemeyen doğasında bulunan ve tehlike hesaplarına direk dâhil edilen çeşitliliktir. Bu rassallık çeşitliliği (aleatory) kaynağın yarıлма mekanizması ve çeşitliliğindeki, kaynağın homojen olmamasından kaynaklanan ve bölgesel zemin koşullarında ki rassallığın sonucudur [Ullah, 2016]. Yani bu belirsizlik daha fazla veri toplanarak azaltılamaz, doğal süreç içinde oluşan olaydır. Bu rassal çeşitlilik YHTD'leri gibi tahmin denklemlerinde (normalde sigma olarak adlandırılan) standart sapma yoluyla sayısallaştırılıp ele alınır.

Rassal belirsizliğin iki bileşeni vardır, intra-event çeşitliliği ve inter-event çeşitliliği şeklindedir. Intra-event çeşitliliği, bir deprem boyunca aynı zemin sınıfı ile ve aynı uzaklıkta bir bölgeden diğer bölgeye olan (istasyondan istasyona) yer hareketi çeşitliliğidir. Inter-event çeşitliliği ise, bir depremden diğerine aynı magnitüd ve yarıлма mekanizması sahip aynı zemindeki yer hareketi çeşitliliğidir [Ullah, 2016]. Tüm rassal çeşitlilik ise intra-event ve inter-event için karelerinin toplamının karekökü şeklindedir.

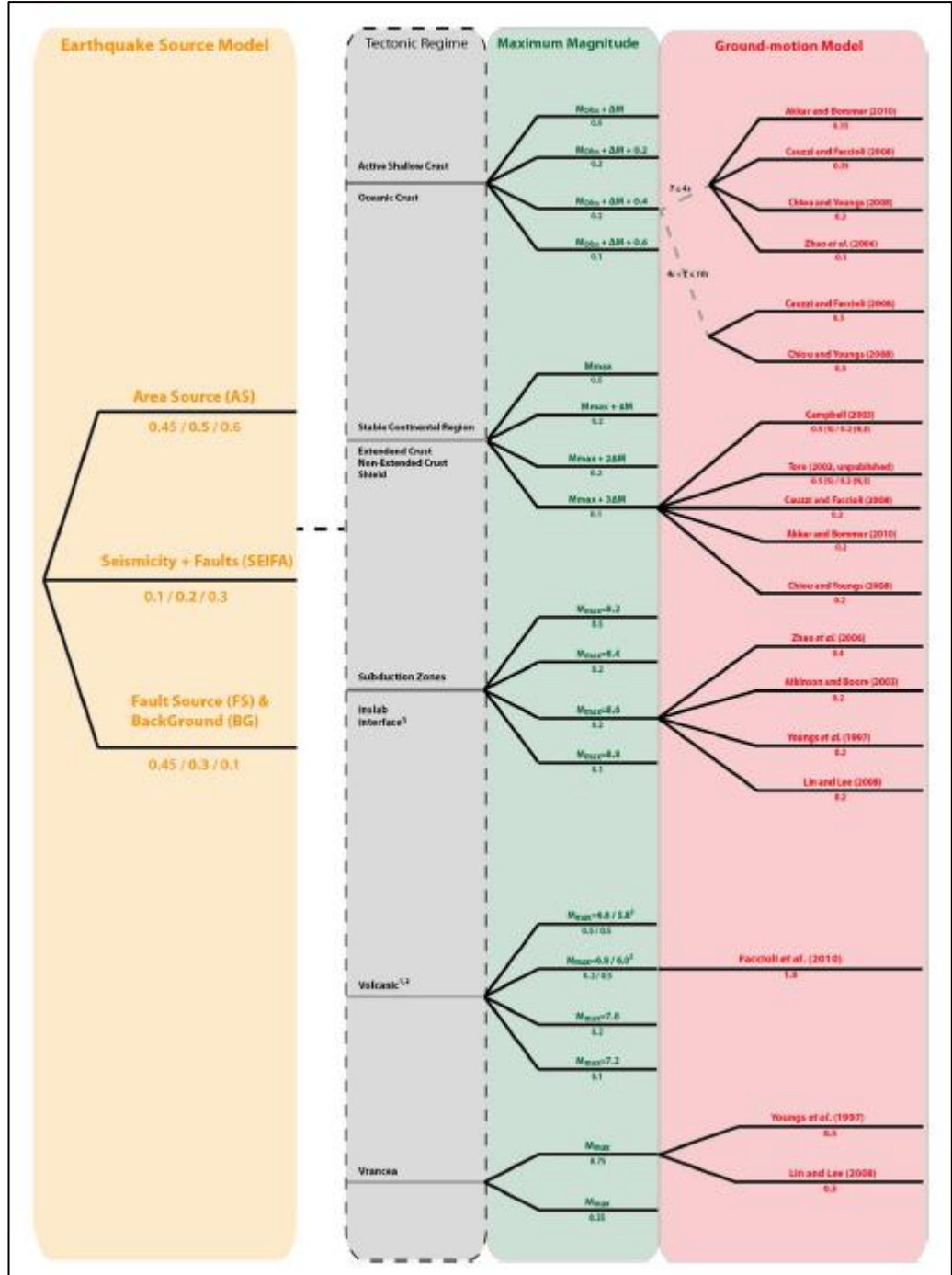
Epistemik belirsizlik (epistemik uncertainty) ise bilgi eksikliğinden ortaya çıkar ve medyanın doğru değeri ile ilgili belirsizliği açıklar. Bu belirsizlik toplanan bilgilerle azaltılabilir. Bu belirsizlik depremsellik ve tehlike modellerinin çeşitli bileşenlerinin tanımında öznel yargılardan kaynaklanmaktadır. Öznel kararlardan dolayı kaçınılmaz olan epistemik belirsizlikleri oluşturan durumlar [Ullah, 2016]:

- Sismik kaynak zonlarını belirleyen sınırlar,
- Olasılıksal deprem tehlike analizinde tekerrür ilişkileri etkileyen deprem kataloğunun tamamlılık analizi,
- Her bir deprem zonun atanan maksimum magnitüd (M_{max}) değeri,
- Her bir bölge için seçilen YHTD gibi tahmin ilişkileri veya azalım ilişkileri
- Karakteristik depremlere tekerrür aralığının atanması ,
- Bilgi eksikliğinin fazla olmasıyla epistemik belirsizlik arttığından rassal çeşitlilik gibi tehlike değerlendirilmesinde sayılaştırılamaz. Bu belirsizlikler farklı yaklaşımlar kullanılarak tehlike analizine dâhil edilirler şeklinde [Ullah, 2016]

yukarıda sıralandırıldı [Ullah, 2016].

4.10. Mantık Ağacı Uygulaması

Deprem tehlike modelinin değerlendirilmesinde parametrelerin belirsizliğinin ele alınabilmesi mantık ağacı uygulamasına gidilmiştir. Mantık ağacı uygulaması farklı parametrelerin farklı opsiyonlarını dikkate alarak epistemik belirsizliğin değerlendirilmesine olanak sağlar. Şekil 4.31’de her bir tektonik bölge için azalım ilişkileri, deprem kaynak modeli, maksimum magnitüd (M_{max}) ve yer hareketi modelleri olan YTHD’lerinde epistemik belirsizliklerini değerlendirebilmek için SHARE projesindeki mantık ağacı uygulamasıdır [Woessner et al., 2015]. Her bir daldaki ağırlık uzmanların değerlendirilmesine göre belirlenir. Bu ağırlık faktörleri söz konusu modelin göreceli olasılığının doğru olduğu şeklinden yorumlanmaktadır. Her bir düğüme bağlanan dalların ağırlıklarının toplamının 1.0 olması gerekmektedir. Her bir dalın ucundan bir tehlike tahmin edilir. Bu tahmini tehlike daha sonra bu belirli hesaplamadaki dalların ağırlıkları çarpılarak elde edilen göreceli bir ağırlıkla çarpılır. Böylece sonundaki tehlike de, mantık ağacının tüm dallarından elde edilir [Ullah, 2016].



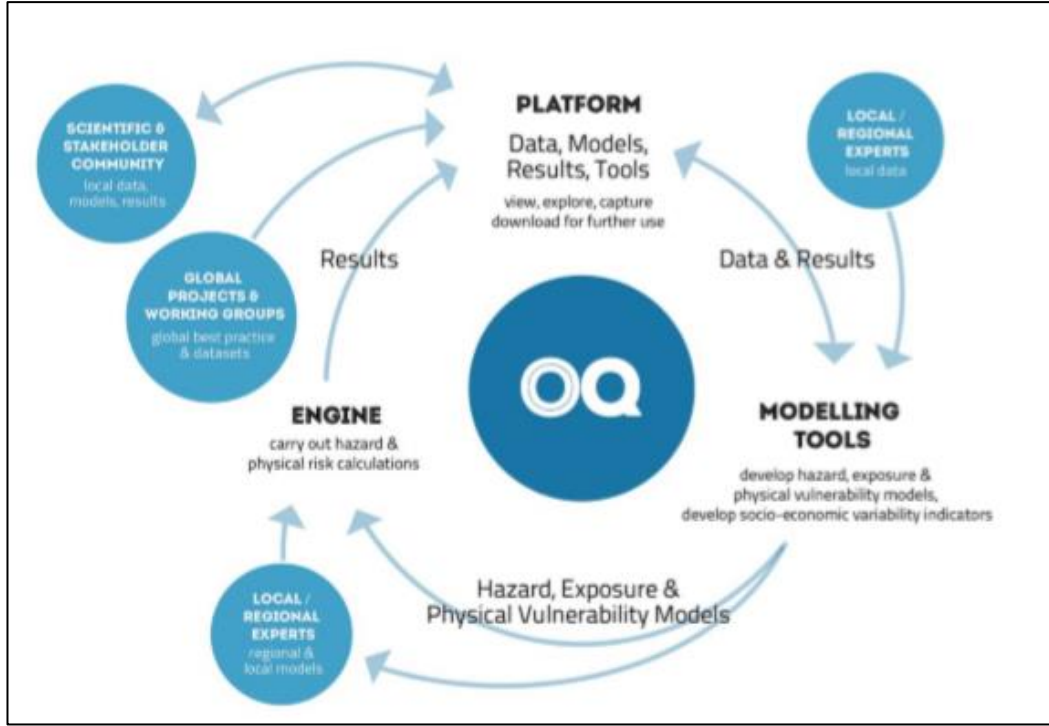
Şekil 4.31. SHARE projesi kapsamında oluşturan mantık ağacı uygulaması.

4.11. Analiz İçin Kullanılacak Yazılımlar

4.11.1. OpenQuake Yazılımı

OpenQuake farklı uygulamalar ile çeşitli hesaplamalar yapmaya olanak sağlayan açık kaynaklı bir yazılımdır. OQ Python tabanlı yazılmış bir programdır. Yazılım, internet sayfasından işletim sistemine uygun olan kısım seçilerek indirilir ve oldukça kolay şekilde kurulabilir [Web 4,2020]. OQ-engine kısmının tehlike ve risk hesapları için kullanılan iki modülü vardır. Tehlike analizi için senaryo bazlı deprem tehlike analizi (SBDTA), Monte Carlo yönteminin kullanıldığı event-based tehlike analizi ve olasılıksal tehlike analizlerini destekler [Crowley et al., 2015]. Sismik risk hesaplarında üç tehlike hesabına dayanarak çalışır ve iki adım bağımsız şekilde yürütülür. OQ yazılımı sismik riskte, senaryo risk, event-based risk ve olasılıksal deprem tehlikesine dayalı risk analizlerinin yapabilmektedir [Crowley et al., 2015].

OpenQuake yazılımı üç ana bileşenden oluşmaktadır. İlki hesaplamaların yapıldığı OQ-engine'dir. İkincisi verilerin alınabildiği ve paylaşılabildiği OQ-platform 'dur. Son olarak da verileri dönüştürmek, çıktıları ayrıştırmak, sonuçları görselleştirmelerin yapılabileceği bir kod setidir. Bu üç kısmın çalışma akışı aşağıda şekil 4.32'de gösterilmektedir.



Şekil 4.32. OQ yazılımının üç ana bileşenin çalışma akış şeması.

Yazılımın içerisinde beş sismik kaynak modeli tanımlanabilmekte bunlar çizgi, alan, nokta, kompleks ve grid kaynak şeklindedir. Aynı zamanda 100'den fazla YHTD'leri uygulanabileceği test edilmiş durumdadır. Ayrıca deprem katalogların uyumunu sağlayan, sismojenik veri dosyalarını oluşturan, kuvvetli yer hareketi ve YHTD'lerinin analizinin yapılabileceği araçlar içerisinde barındırmaktadır [Web 5,2020].

OQ tehlike bölümünde;

ODTA için; tehlike eğrisi, tehlike haritası, uniform tehlike spektrumu ve disaggreaction sonuçları vermektedir. Monte analizinden dâhil olduğu event-based tehlike kısmında; stokastik deprem olay setleri ve yer hareketi alanlarını, tehlike eğrilerini ve tehlike haritalarını vermektedir. Son olarak senaryo tehlike bölümde ise; tek bir olayın stokastik olarak üretilen yer hareketi alanlarını bize verebilmektedir.

OQ risk bölümde ise;

ODTA'ne dayalı risk kısmında; varlığa özgü kayıp (asset-specific) aşma eğrileri (burada varlık olarak kastedilen maddi ve manevi değeri olan şeyler olarak tanımlanabilir) , ortalama yıllık kayıp, kayıp haritaları, bina yapı disaggregation'larını çıktı olarak vermektedir. Event-based'e dayalı risk bölümünde; olay kayıp tabloları,

toplanmış ve varlığa özgü kayıp aşma eğrileri, ortalama yıllık kayıt, kayıp haritaları, kayıp disaggregation değerlerini verir. Senaryo bazlı riskte istatistiksel kayıp, kayıp haritaları; senaryo hasarda ise kıyım haritaları, her bir varlığın ve bina tipinin hasar dağılımını output olarak vermektedir [Web 5,2020].

4.11.2. CRISIS 2015

YHTD'lerini kullanarak, 50 yıllık aşılma olasılığı yüzde 2, 10, 50 gibi istediğin deprem düzeyindeki tehlike haritalarını, belirlediğin koordinatların tehlike eğrilerini ve uniform spektralarını oluşturmak için kullanılan bir yazılımdır [Ordaz, Mario (II-UNAM, 2015)]. CRISIS 2015 depremlerin coğrafi dağılımı, azalım ilişkileri, tekerrür modellerinden kullanılan değerler dikkate alan olasılıksal model kullanır. Programın ana özellikleri:

- Deprem olayı ya Poisson süreci ya da Karakteristik deprem süreci olarak tanımlanabilir,
- Kaynaklar alan, çizgi, nokta, grid kaynak şeklinde tanımlanabilir,
- Fay tipi dikkate alınarak YHTD'leri çalışma alanındaki her bir kaynak bölgesi için atanabilir

şeklinde yukarıda sıralanmaktadır.

CRISIS 2015 sürümünde üç sismisity modeli kullanılmaktadır. Bunların ikisi zaten eski sürümünde mevcuttu ve ikisi Poisson modeliyle bağlantılı şeklindedir. Üçüncü model ise açıkça gerekli olasılıkları veren non-Poisson modeli ile üretilir [Ordaz, Mario (II-UNAM, 2015)]. Bu modeller, Kesit GR üssel modeli, karakteristik deprem modeli Youngs ve Coppersmith (1985) ve non-Poisson modeli şeklindedir. Üssel model için minimum magnitüd, minimum magnitüdün aşılma olasılığı, kaynak için ' β ' değeri ('b' değerinin $\ln 10$ ile çarpımından elde edilir), maksimum magnitüd ve tüm parametreler için değişim katsayıları input olarak girilmelidir. Karakteristik deprem modelinde ise; karakteristik depremler arasından zamanların medyan değeri, karakteristik depremin olası minimum magnitüd değeri, karakteristik depremin olası maksimum magnitüd değeri, bir zaman fonksiyonu olarak tahmini magnitüdü tanımlayan parametreler, değişkenlik parametrelerinin girilmesi gerekir. Non-Poisson

modeli içinde ikili bir dosya aracılığı ile CRISIS verilen bilgilerle analiz yapılabilir [Ordaz, Mario (II-UNAM, 2015)].

Tüm parametleri dikkate alan; yer hareketi parametreleri, magnitüd, değişkenlik, kesim değeri, birimi gibi kullanıcı tanımlı YHTD'leri tablo formunda tanımlanıp uygulanabilir. CRISIS de birimler doğru olduğu sürece yer hareketi parametleri ayarlanabilir.

5. DEPREM TEHLİKE ANALİZİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ VE ANALİZ SONUÇLARI

5.1. Klasik Olasılık Hesabına Göre Deprem Tehlike Analizi (ODTA) Metodolojisi

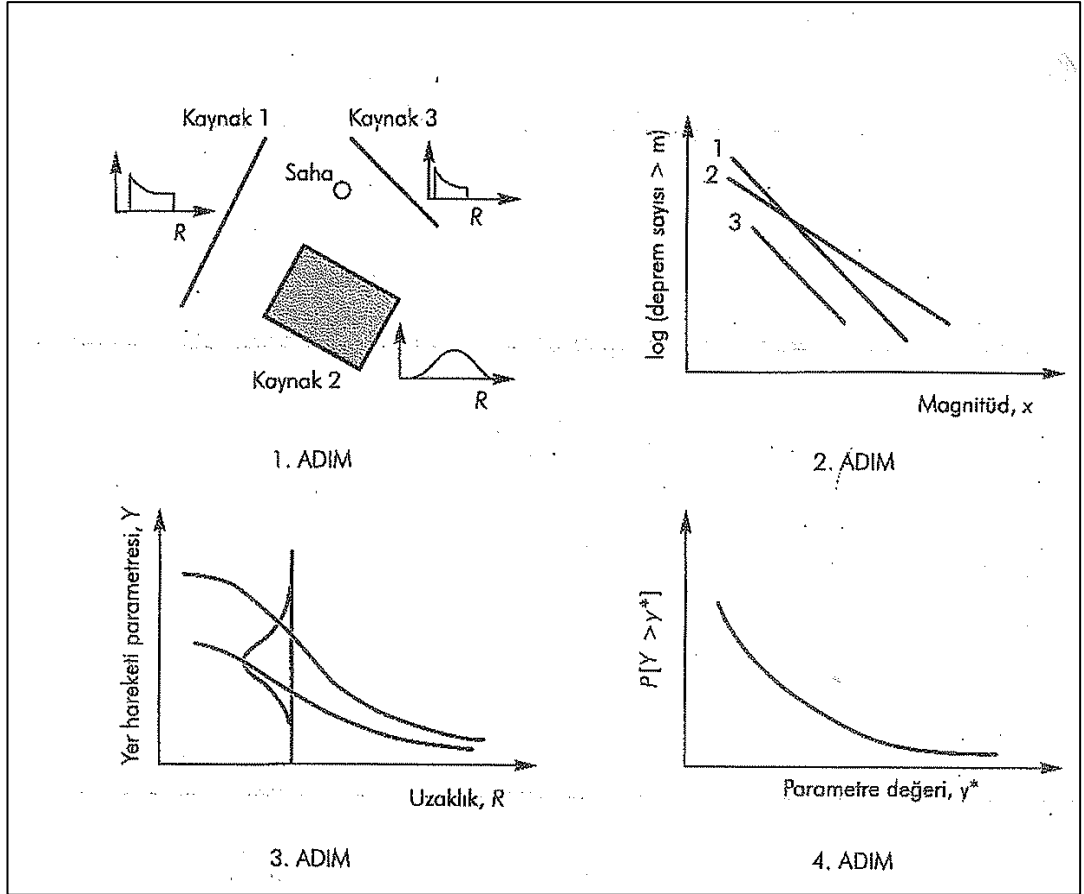
Olasılıksal kavramda deprem yeri, tekrarlanma aralığı, deprem boyutu, büyüklüğü ve deprem lokasyonuna bağlı olarak yer hareketi denklemleri de oluşan değişimlere karşılık gelen belirsizlikler hesaba katılmaktadır. Verilen zaman aralığında ve verilen bir bölgede, sismik kaynak modelinde belirlenen olası tüm deprem yarığını düşünerek bir takım yer hareketi parametrelerinin aşılma olasılığının hesaplamasına izin vermektedir. Ayrıca olasılıksal deprem tehlike analizinde (ODTA) elde ki bu belirsizlikler sayısal olarak değerlendirilebilmekle daha doğru şekilde deprem tehlikesini ortaya koymaktadır. ODTA Cornell, (1968) ve Algermissen vd., (1982) tarafından geliştirilen yöntemlere benzerlik gösterir şekildedir [Kramer, 1996].

ODTA için öncelikle çalışma alanı içinde yer hareketi meydana getirebilecek önemli deprem kaynaklarının belirlenmesi ve özelliklerinin tespit edilmesi gerekir. Genel uygulama olarak her kaynak zonunda üniform olasılık dağılımı kabulü yapılır bunun anlamı kaynak alanı içinde her yerde deprem oluşturma olasılığı aynıdır.

Daha sonra deprem tekerrür ve depremselliğin zamansal dağılımı belirlenir. Belli deprem büyüklüğünün aşılacağı ortalama oranı belirleyen tekerrür ilişkisi kaynak zonlarının depremselliğini tayin etmede kullanılır [Kramer, 1996].

Kaynak üzerinde herhangi bir yerde meydana gelebilecek bir depremin oluşturacağı yer hareketi belirlenen azalım ilişkileri kullanılarak belirlenmelidir. Önceki bölümlerde azalım ilişkileri detaylı açıklanmıştır.

Tüm bu bileşenler, deprem büyüklüğü, lokasyonu ve yer hareketi tespiti ile alakalı belirsizlikler bir araya getirilerek belirlenen zaman aralığında yer hareketinin aşılma olasılığı elde edilmiş olur [Kramer, 1996]. Şekil 5.1' de bahsedilen aşamalar özetlemiştir (şekil Kramer'in çeviri kitabından alınmıştır).



Şekil 5.1 : Olasılıksal deprem tehlike analizinin özeti.

Openquake-engine yazılımında ise şu şekilde tanımlanmıştır: $P(X \geq x|T)$ olasılığı gösterir ki burada X bir yer hareketinin aşımı, T zaman aralığı, x ise seviyedir. $P(X \geq x|T)$ olasılığın 1'den çıkarılmasıyla hesaplanabilir. Ki bu hiçbir kaynağın yer hareketi aşımına neden olmuyor. Bağımsız kaynaklar olarak varsayılan ve hiçbir kaynağın aşımına neden olmayan olasılığı her bir kaynağın bir aşım neden olmama olasılığının çarpıma eşittir [Pagani et al., 2014]. Yani:

$$\begin{aligned}
 P(X \geq x|T) &= 1 - P_{src1}(X < x|T) * P_{src2}(X < x|T) * \dots * P_{srcI}(X < x|T) \\
 &= 1 - \prod_{i=1}^I P_{srci}(X < x|T)
 \end{aligned}
 \tag{5.1}$$

Burada $P_{srci}(X < x|T)$, i 'ninci kaynağın aşılmaya neden olmama olasılığı ve I ise kaynak modelinde ki tüm kaynak sayıdır.

Her bir kaynağın bağımsız deprem yarıkları ürettiği varsayılarak, $P_{srci}(X < x|T)$ her bir yarığın aşılmaya neden olmayan olasılıklarının çarpımı olarak hesaplanabilir [Pagani et al., 2014].

$$\begin{aligned} P_{srci}(X < x|T) &= P_{rupi1}(X < x|T) * P_{rupi2}(X < x|T) * \dots * P_{rupij}(X < x|T) \\ &= \prod_{j=1}^{J_i} P_{rupij}(X < x|T) \end{aligned} \quad (5.2)$$

Burada $P_{rupij}(X < x|T)$ i kaynağındaki j yarığının aşılmaya neden olmayan olasılığıdır ve J_i ise kaynağı tarafından üretilen tüm yarılmalardır. Yırtılmanın verilen belli zaman diliminde hiç aşılmaması gerçeği yarılmamanın hiçte olmadığından ya da yarılmamanın bir kez olduğundan(fakat aşılmaya neden olmayacak) ya da yarılmamanın aşılmaya neden olmadan iki kez olması ve buna benzer şekildeki olaylardan dolayı olabilir.(Pagani et al., 2014) Teorem yazılırsa:

$$\begin{aligned} P_{rupij}(X < x|T) &= P_{rupij}(n = 0|T) + P_{rupij}(n = 1|T) * P(X < x|rupij) + P_{rupij} \\ &\quad (n = 2|T) * P(X < x|rupij)_2 + \dots \\ &= \sum_{k=0}^{\infty} P_{rupij}(k|T) * P(X < x|rupij)_k \end{aligned} \quad (5.3)$$

Burada $P_{rupij}(k|T)$ T zaman aralığında k kez i kaynağında j yarılmasının olasılığıdır. $P(X < x|rupij)$ ise durum olasılığıdır.

Bağımsız kaynakların varsayımlarına güvenerek ve her bir kaynak tarafından üretilen bağımsız deprem yarıklarına güvenerek en azından bir yer hareketi aşımının olasılığını hesaplayabilir (Pagani et al., 2014).

$$P(X \geq x|T) = 1 - \prod_{i=1}^I \prod_{j=1}^{J_i} P_{rupij}(X < x|T) \quad (5.4)$$

$$P(X \geq x|T) = 1 - \prod_{i=1}^I \prod_{j=1}^{J_i} \sum_{k=0}^{\infty} P_{rupij}(k|T) * P(X < x|rupij)_k$$

Herhangi bir zamansal oluşum modeli için tehlike eğrisinin nasıl hesaplanacağı 5.4 bağıntıda bulunmaktadır. Yalnızca yarıлма olayların sayısının olasılığı $P_{rupij}(k|T)$

zamansal olay modeline bağlanır. Ayrıca bu farklı zamansal modeller ile aynı kaynak modeli içinde tanımlamak mümkün olduğu anlamındadır (örneğin zaman bağımlı ve zaman bağımsız kaynaklar) [Pagani et al., 2014].

5.1.1. Poisson Modeli

Meydana gelen depremlerin zamansal olarak tanımı en fazla Poisson modeli ile yapılmaktadır. Bu model Poisson sürecindeki olayların olasılıklarını belirlemede oluşturduğu çerçeve önemlidir. Poisson süreci belli bir çalışma alanında veya tanımlanan bir zaman aralığında belli bir olayın meydana gelme sayısını tanımlamak için rasgele değişkenin değerini veren bir süreçtir [Kramer, 1996]. Bu sürecin özellikleri:

- Kısa bir zaman içinde birden fazla olayın olma olasılığı göz ardı edilebilir [Kramer, 1996],
- Kısa bir zaman içinde olma olasılığı, zaman uzunluğu ile orantılıdır [Kramer, 1996],
- Bir zaman aralığındaki meydana gelen olayların sayısı, diğer zamanlarda oluşan olaylardan bağımsızdır [Kramer, 1996]

şekildedir [Kramer, 1996].

Bu özelliklerden anlaşılacağı gibi Poisson sürecini rasgele oluşur ve önceden olan olayların boyutu, yeri veya zamanı konuşursa hafızası yoktur.

Verilen zaman aralığında olayın olma sayısını gösteren rasgele değişken N 'in olasılığı şu şekilde ifade edilir:

$$P[N = n] = \frac{\mu^n e^{-\mu}}{n!} \quad (5.5)$$

Burada μ : olayın verilen zaman içindeki ortalama oluş sayısıdır. Poisson sürecinde olaylar arasındaki zamanın üssel dağılım olduğunu gösterir. ODTA'lerinde deprem tekrarlamasının zamansal dağılımını genellikle Poisson olasılığı ile aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$P[N = n] = \frac{(\lambda t)^n e^{-\lambda t}}{n!} \quad (5.6)$$

Burada, t herhangi bir zaman aralığı λ : olayın ortalama oluş oranıdır. t zamanında en bir olayın olma olasılığı aşağıdaki gibidir.

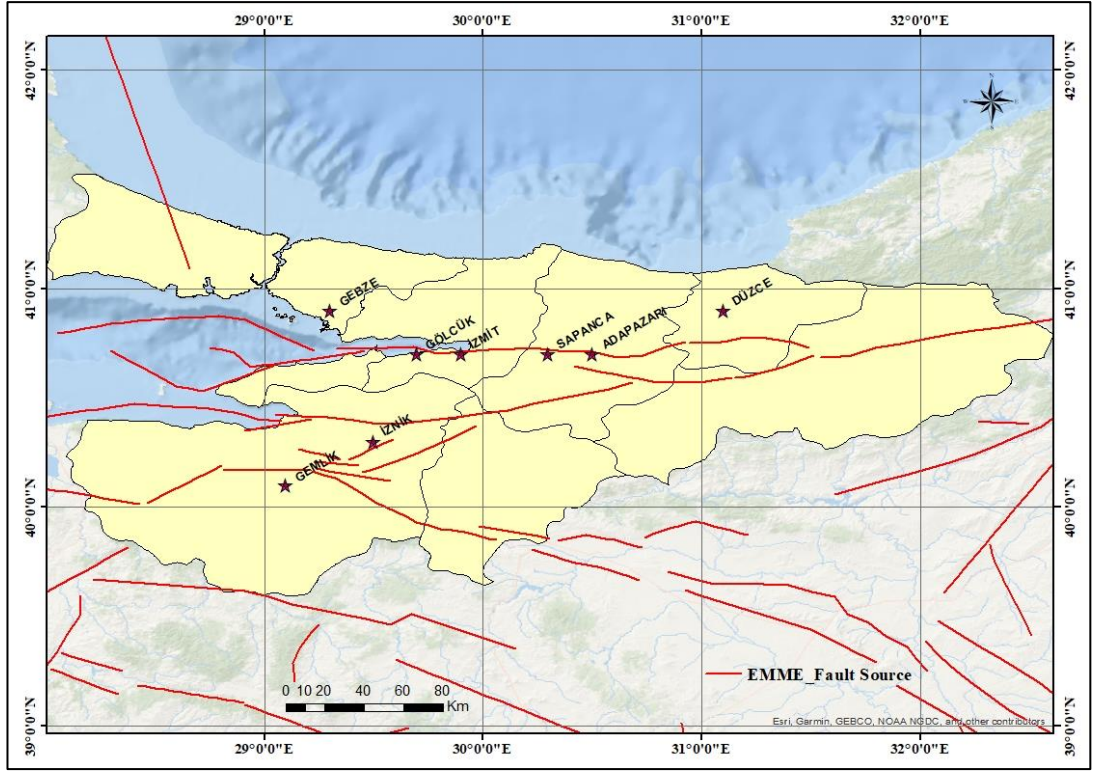
$$P[N \geq 1] = P[N=1] + P[N=2] + P[N=3] + \dots + P[N=\infty] = 1 - P[N=0] = 1 - e^{-\lambda t} \quad (5.7)$$

Belli bir deprem büyüklüğünün aşılması olan olay, t zaman içinde en bir aşılma olasılığını kestirmede uygun bir tekraralama yasası ile Poisson modeli aşağıdaki gibi formüle edilebilir (Kramer, 1996).

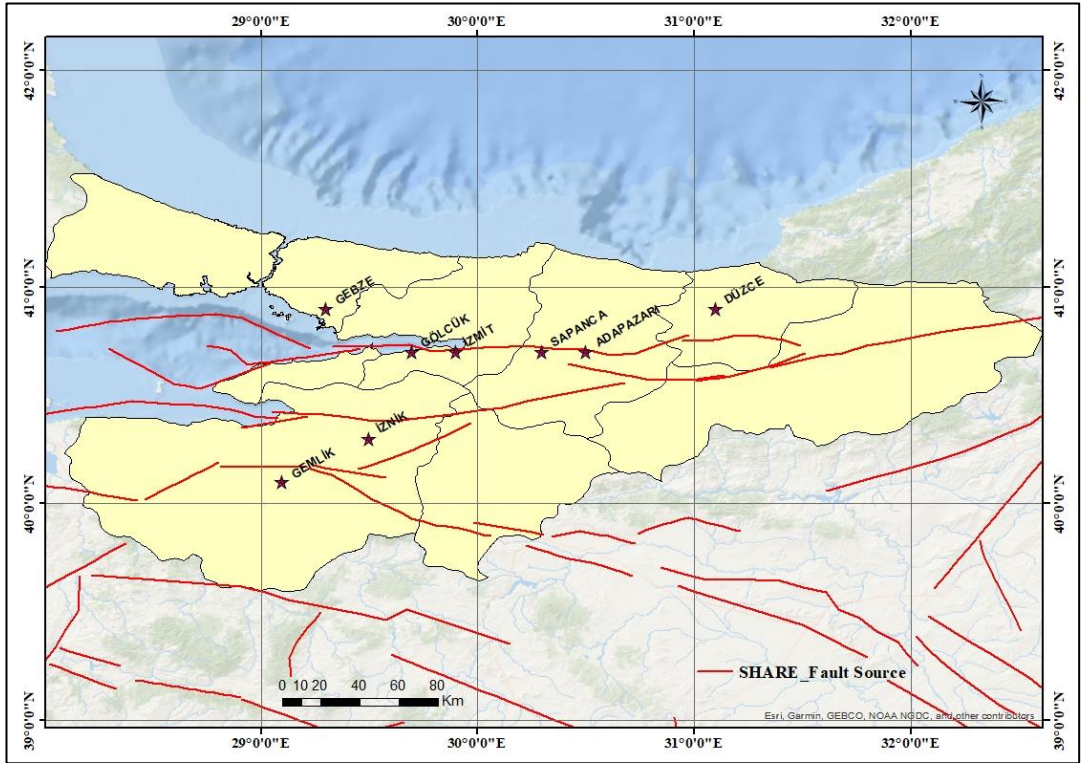
$$P[N \geq n] = 1 - e^{-\lambda m t} \quad (5.8)$$

5.1.2. Klasik Olasılıksal Deprem Tehlike Analizinin Sonuçları

ODTA OpenQuake Crowley vd., (2015) yazılımı ile yapılmıştır. Bu çalışmada Doğu Marmara bölgesinde belirlenmiş olan 8 bölgenin tehlike eğrileri, ayrıştırma analizi (disaggregation of the hazard) hesaplanmıştır. Şekil 5.2’de EMME kaynakları ve seçilen lokasyonlar ile şekil 5.3’de SHARE kaynakları ve seçilen lokasyonlar gösterilmiş olup bunlar yıldızla işaretlenmiş Gemlik, Gebze, İzmit, Gölcük, İzmit, Sapanca, Adapazarı, Düzce yerlerdir.

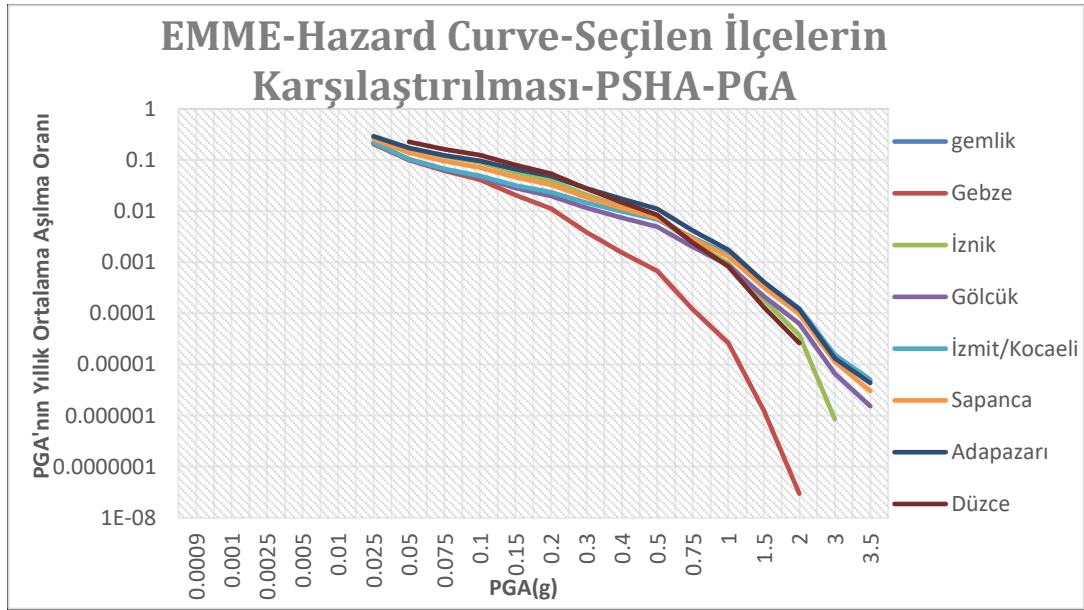


Şekil 5.2: EMME kaynakları ve analizi yapılan sekiz lokasyon.

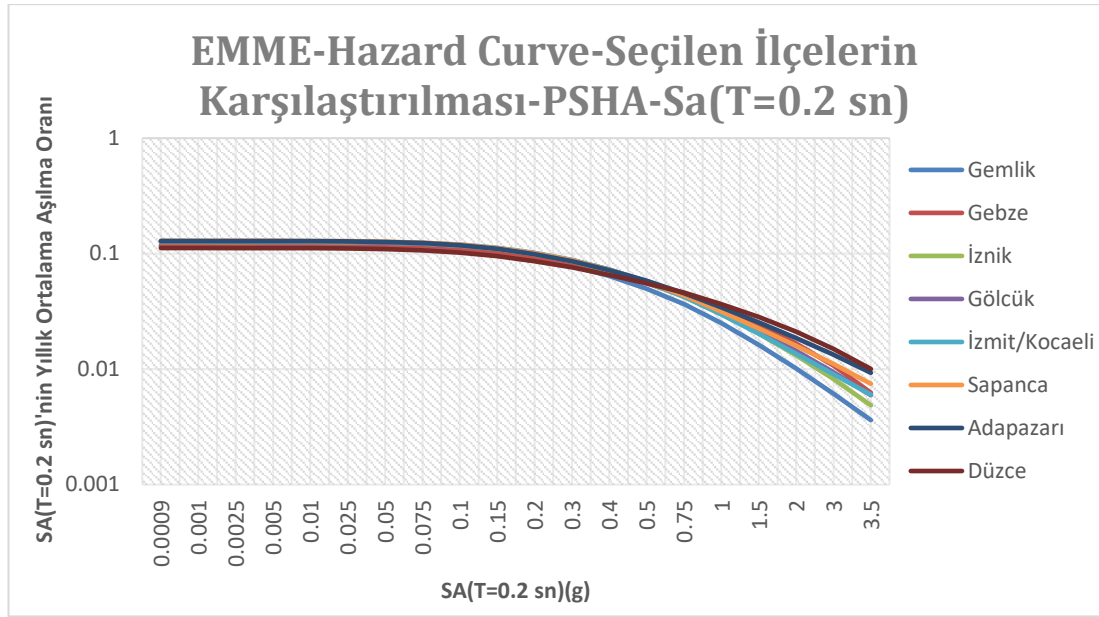


Şekil 5.3: SHARE kaynakları ve analizi yapılan sekiz lokasyon.

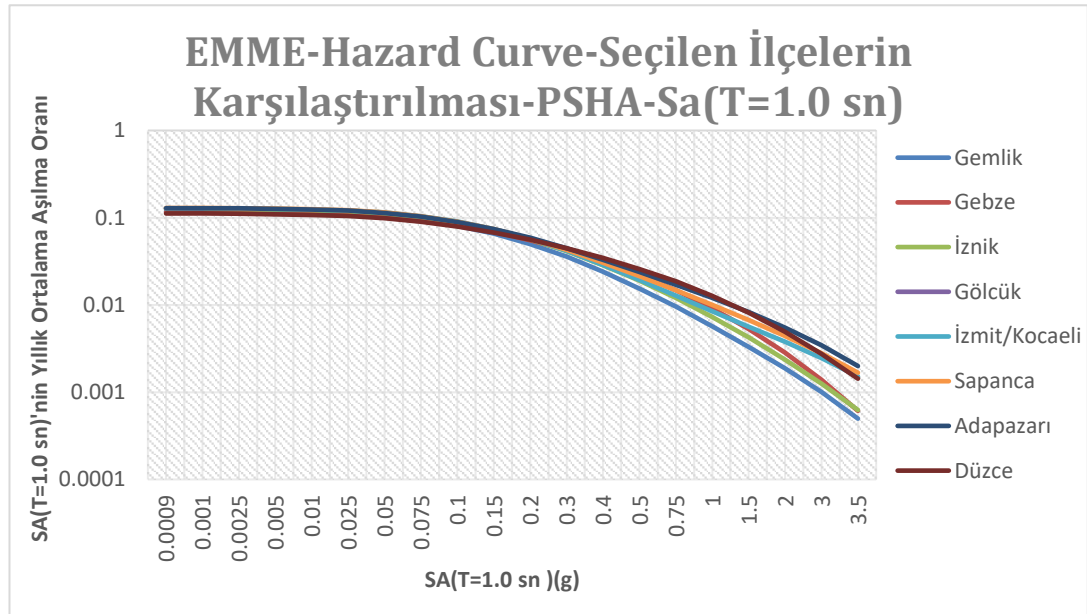
Tüm olası magnitüd ve mesafe kombinasyonlarının seçilen yer hareketi seviyesinin aşma olasılığı üzerindeki etkisi tehlike eğrileri üzerinde gösterilmiştir [Abrahamson, 2006]. Seçilen lokasyonların tehlike eğrileri PGA, $S_a(0.2)$ ve $S_a(1.0)$ spektral periyotlar ve kaya zemin ($V_{s30} = 760$ m/sn) kabulü ile hesaplamalar yapılmıştır. EMME ve SHARE fay verileri ayrı ayrı göz önüne alınarak yapılan analizlerde tehlike eğrileri şekil 5.4 ve 5.9 arasında gösterilmektedir. Ayırıştırma analizi sonuçları da şekil 5.10 ve 5.25 arasında gösterilmiştir.



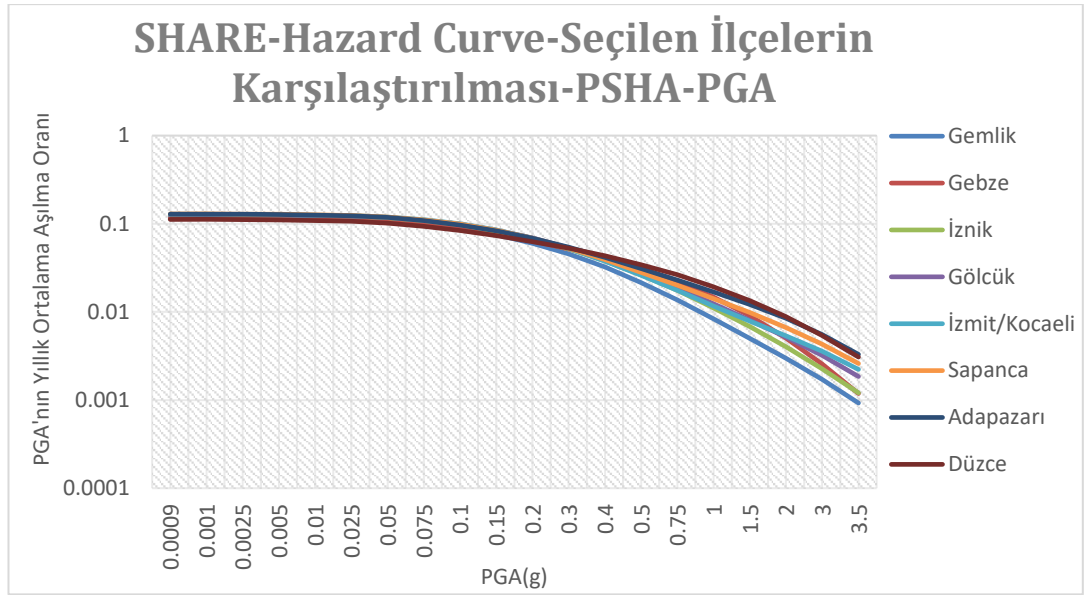
Şekil 5.4: Klasik olasılıksal analizde EMME verileri kullanılarak sekiz lokasyonun PGA(g) ve mean değeri için çizilmiş olan tehlike eğrisi.



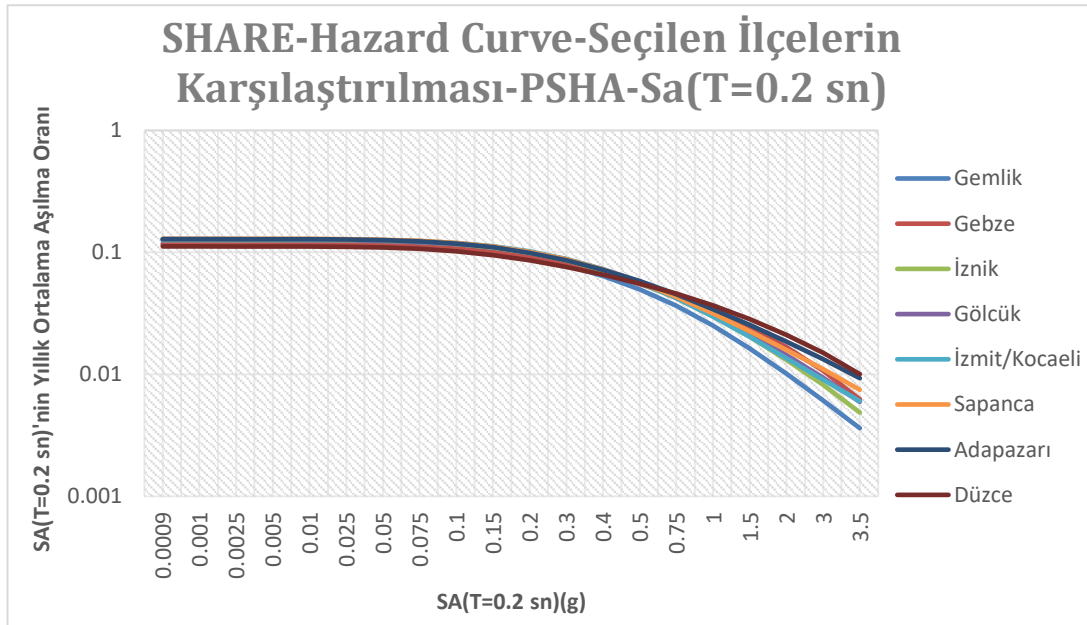
Şekil 5.5: Klasik olasılıksal analizde EMME verileri kullanılarak sekiz lokasyonun $Sa(T=0.2 \text{ sn})$ ve mean değeri için çizilmiş olan tehlike eğrisi.



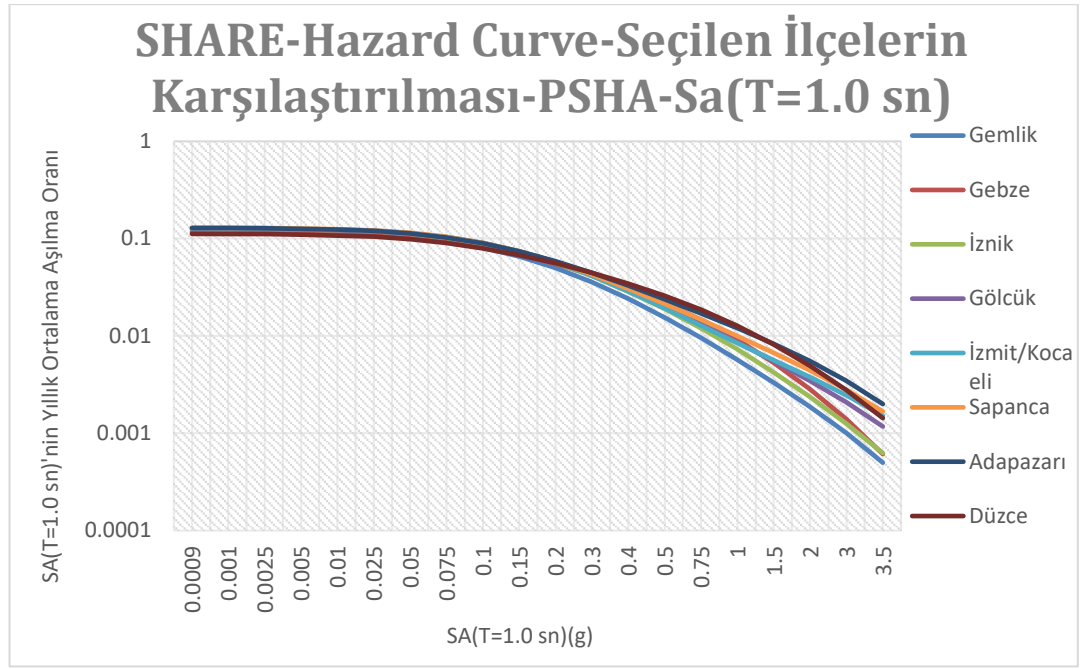
Şekil 5.6: Klasik olasılıksal analizde EMME verileri kullanılarak sekiz lokasyonun $Sa(T=1.0 \text{ sn})$ ve mean değeri için çizilmiş olan tehlike eğrisi.



Şekil 5.7:Klasik olasılıksal analizde SHARE verileri kullanılarak sekiz lokasyonun PGA(g) ve mean değeri için çizilmiş olan tehlike eğrisi.



Şekil 5.8:Klasik olasılıksal analizde SHARE verileri kullanılarak sekiz lokasyonun Sa(T=0.2 sn) ve mean değeri için çizilmiş olan tehlike eğrisi.



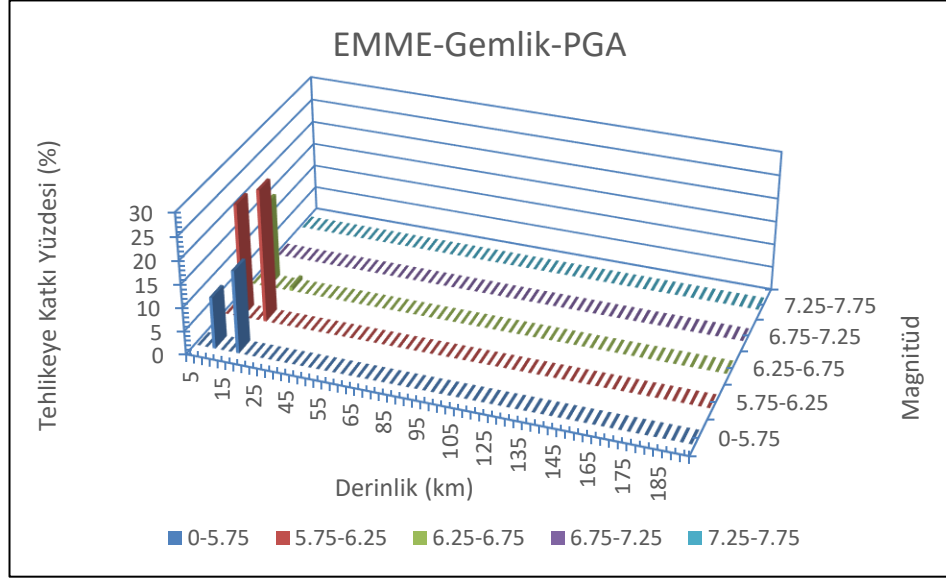
Şekil 5.9:Klasik olasılıksal analizde SHARE verileri kullanılarak sekiz lokasyonun $Sa(T=1.0 \text{ sn})$ ve mean değeri için çizilmiş olan tehlike eğrisi.

0.2 aralıklarla çalışma alanını gridlere ayırdığımızdan seçilen ilçelerin koordinatlarında küçük sapmalar meydana gelmiş olabilir. Tehlike eğrileri seçilen ilçelerin en yakın koordinatlarına uygun şekilde çekilmeye çalışılmıştır. Klasik olasılık analizinde çıkan tehlike eğrileri şu şekilde yorumlanabilir; genel anlamda seçilen tüm lokasyonlar faylara yakın olduğundan tehlike değerleri birbirine yakın çıkmıştır fakat faylara daha yakın veya üzerinde olan Adapazarı, İzmit, Gölçük gibi yerlerde diğerlerine nazaran daha büyük değerler çıkmıştır. Gemlik gibi biraz daha uzak mesafede bulunan yerlerde ise diğerlerine nispeten daha küçük değerler çıkmıştır.

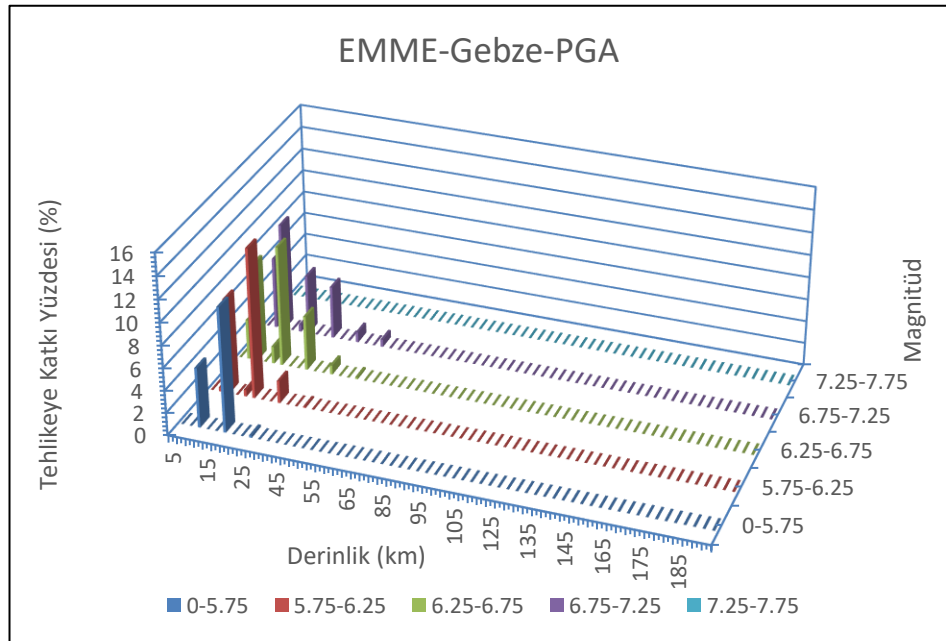
EMME ve SHARE verileri ile yapılmış tehlike eğrilerinde PGA, $Sa(0.2)$, $Sa(1.0)$ için genel anlamda 0.3-0.75 (g) aralığında Düzce en düşük tehlike değerine sahip iken bu yer hareketi seviyesinden sonra yükseliş göstermiştir.

Tehlike eğrileri tüm magnitüd ve mesafelerin belli yer hareketi seviyesini aşma olasılığı üzerindeki birleşik etkisini verir. Tüm kaynaklar, magnitüdler, mesafeler birbirine karıştığından tehlikeyi tehlike eğrisinden neyin kontrol ettiğini anlamak zor olabilir. Belirli bir yer hareketi seviyesindeki tehlikede olayların en önemli olduğu hususları kavramak için, tehlike eğrisi farklı deprem senaryolarından ayrılmıştır [Gülerce ve Abrahamson, 2010]. Bu süreç ise ayrıştırma (deaggregation) olarak adlandırılır [Bazzurro ve Cornell, 1999]. Ayrıştırma grafikleri, seçilmiş sekiz ilçe olan

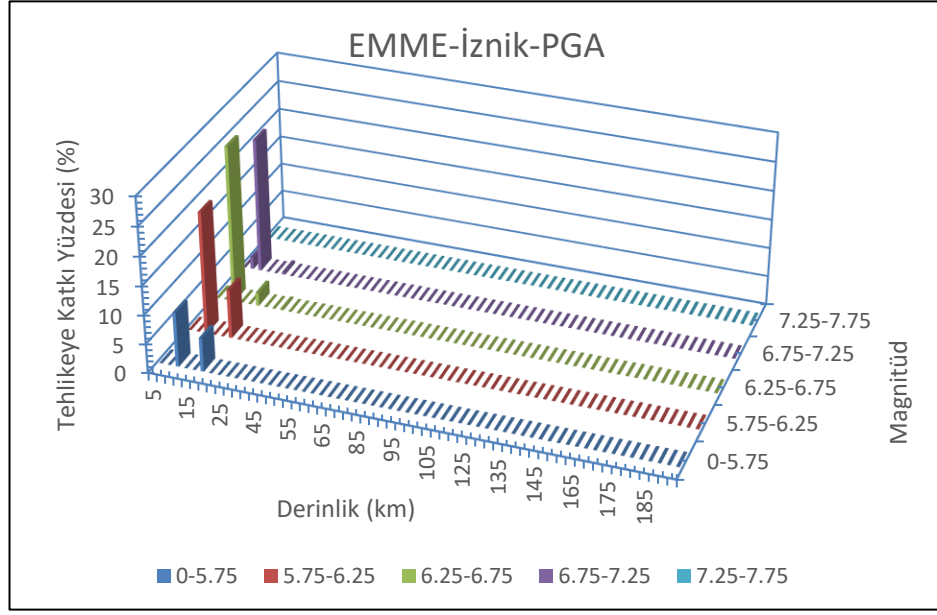
Gemlik, Gebze, İzmit, Gölcük, İzmit, Sapanca, Adapazarı, Düzce için EMME ve SHARE verileri ile ayrı ayrı çizilmiştir. Grafikler PGA, $V_{s30}=760$ m/sn olan ana kaya ve yılda aşılma olasılığı %10 olan 475 dönüşüm periyodu için oluşturulmuştur. Oluşturulan bu figürler seçilen yer hareketi, zemin durumu ve aşılma olasılığına göre her bir bölge için dominant senaryoyu bize göstermektedir.



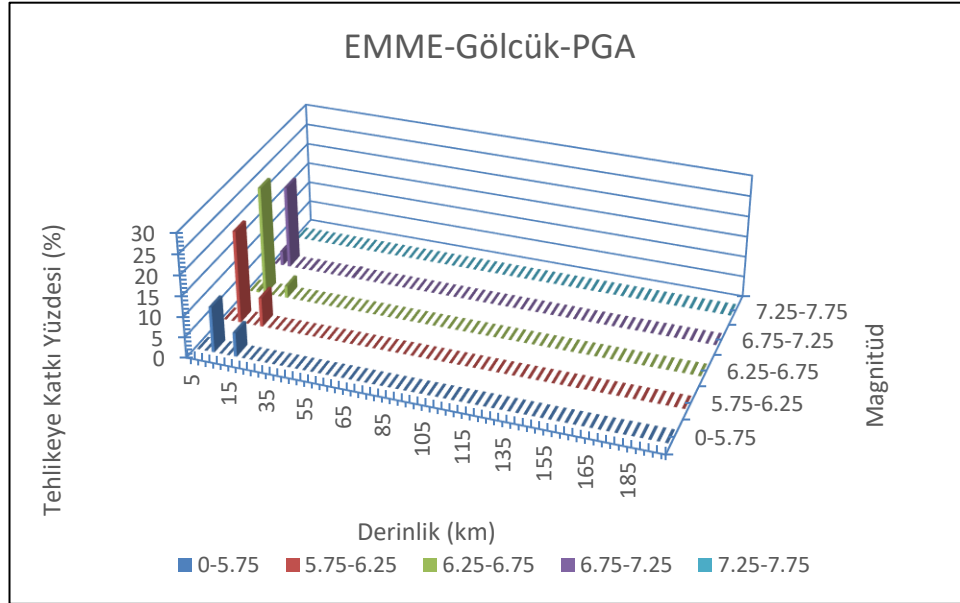
Şekil 5.10: EMME verileri ve PGA yer hareketi için Gemlik ayrıştırma grafiği.



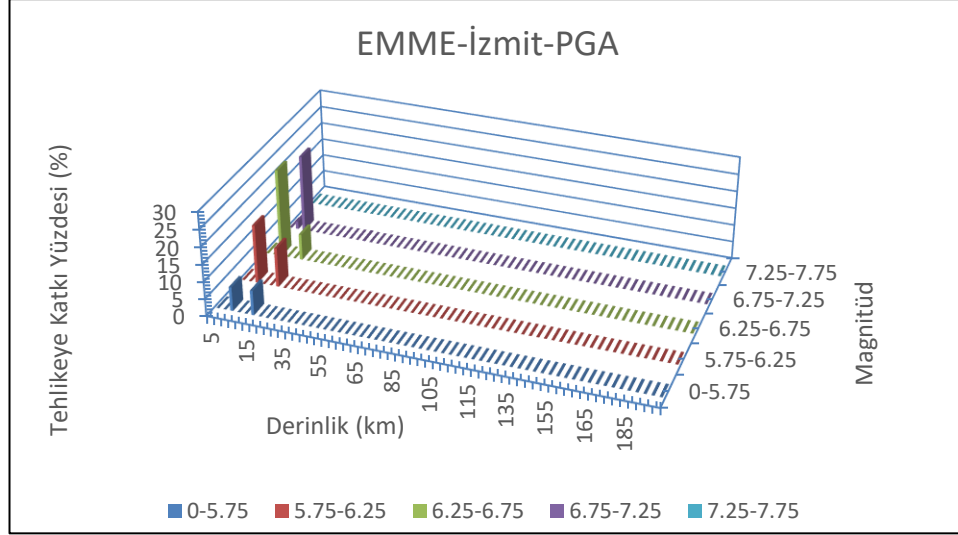
Şekil 5.11: EMME verileri ve PGA yer hareketi için Gebze ayrıştırma grafiği.



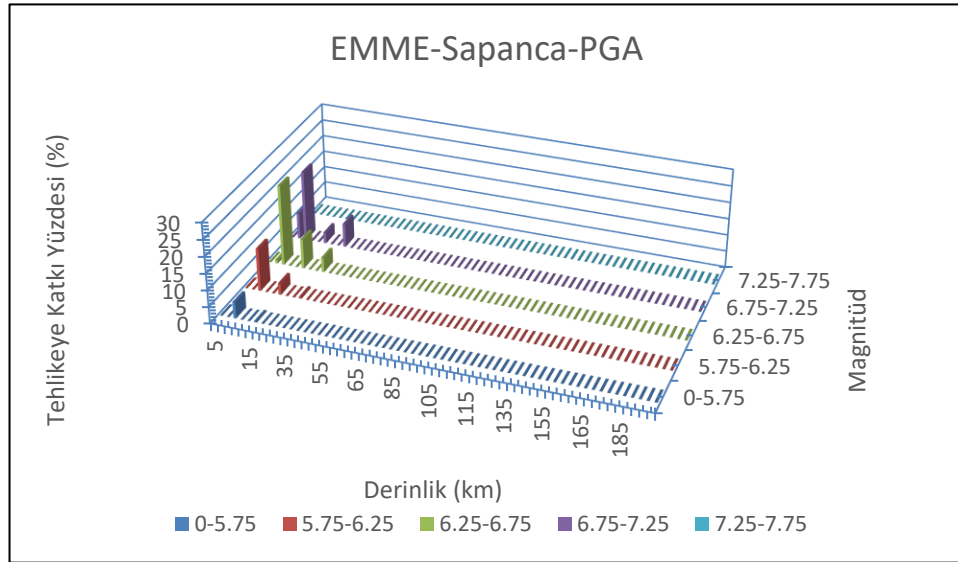
Şekil 5.12: EMME verileri ve PGA yer hareketi için İznik ayrıştırma grafiği.



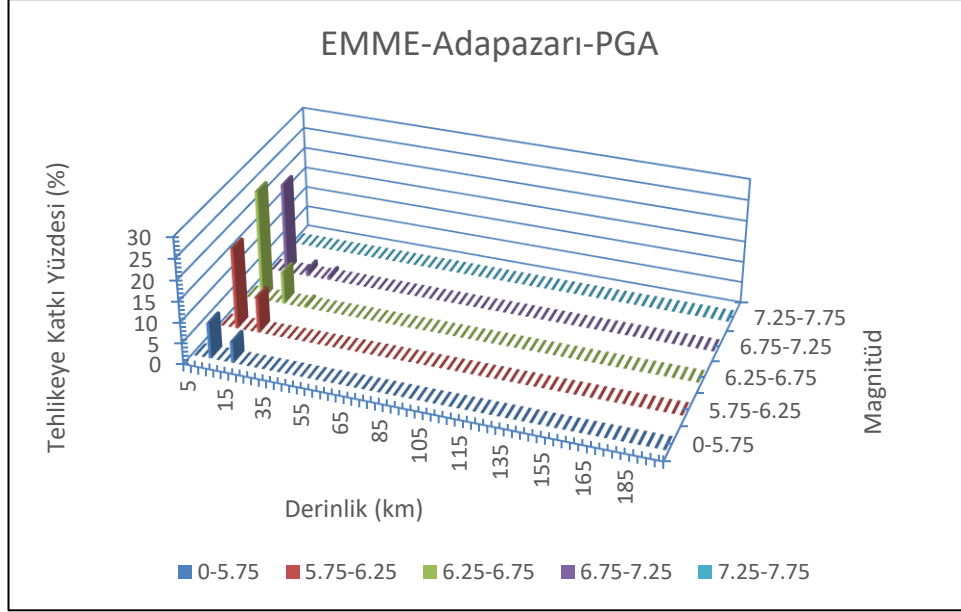
Şekil 5.13: EMME verileri ve PGA yer hareketi için Gölcük ayrıştırma grafiği.



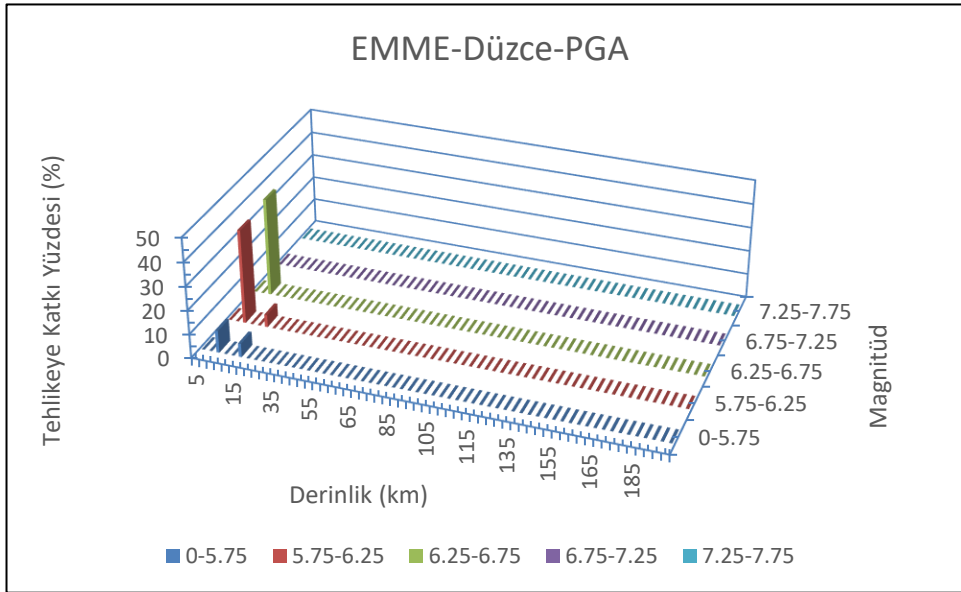
Şekil 5.14: EMME verileri ve PGA yer hareketi için İzmit ayrıştırma grafiği.



Şekil 5.15: EMME verileri ve PGA yer hareketi için Sapanca ayrıştırma grafiği.

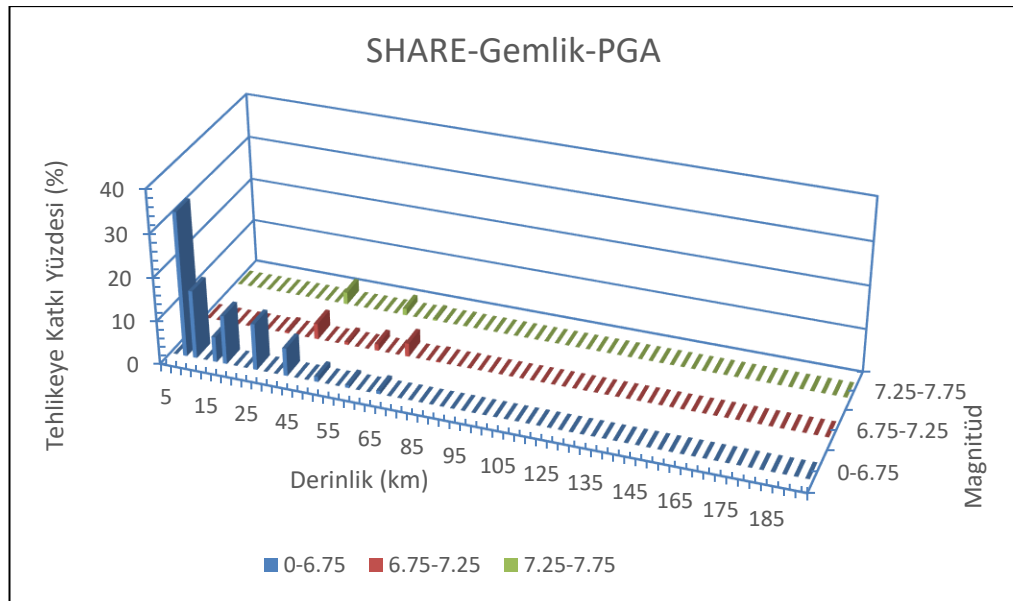


Şekil 5.16: EMME verileri ve PGA yer hareketi için Adapazarı ayrıştırma grafiği.

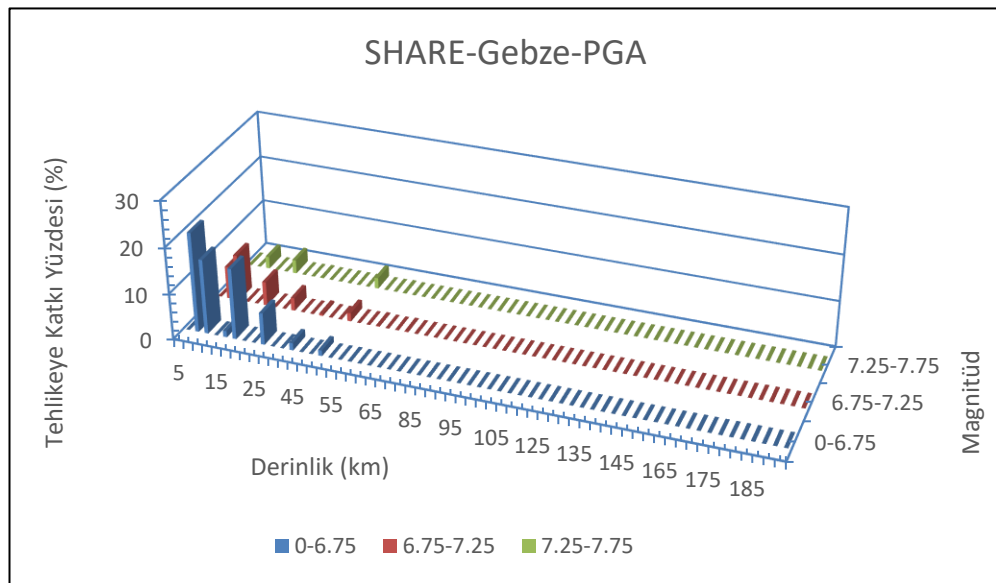


Şekil 5.17: EMME verileri ve PGA yer hareketi için Düzce ayrıştırma grafiği.

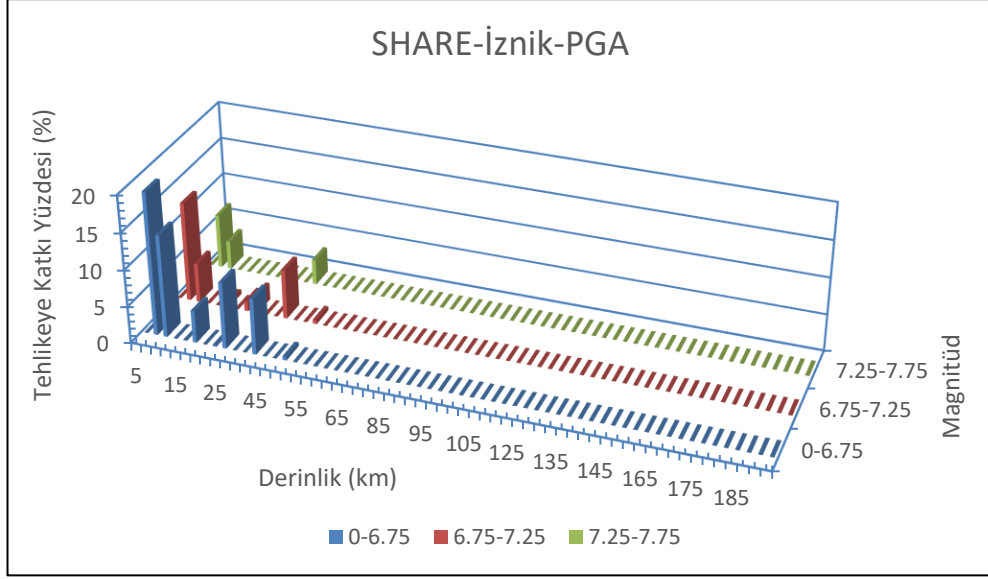
EMME verileri kullanılarak yapılmış olan analizde; Gemlik ve Gebze için baskın senaryo magnitüdü 5.75-6.25, mesafesi 5-10 km, İzmit, Gölcük, İzmit, Sapanca, Adapazarı ve Düzce için baskın senaryo magnitüdü 6.25- 6.75, mesafesi 0-5 km aralığındadır.



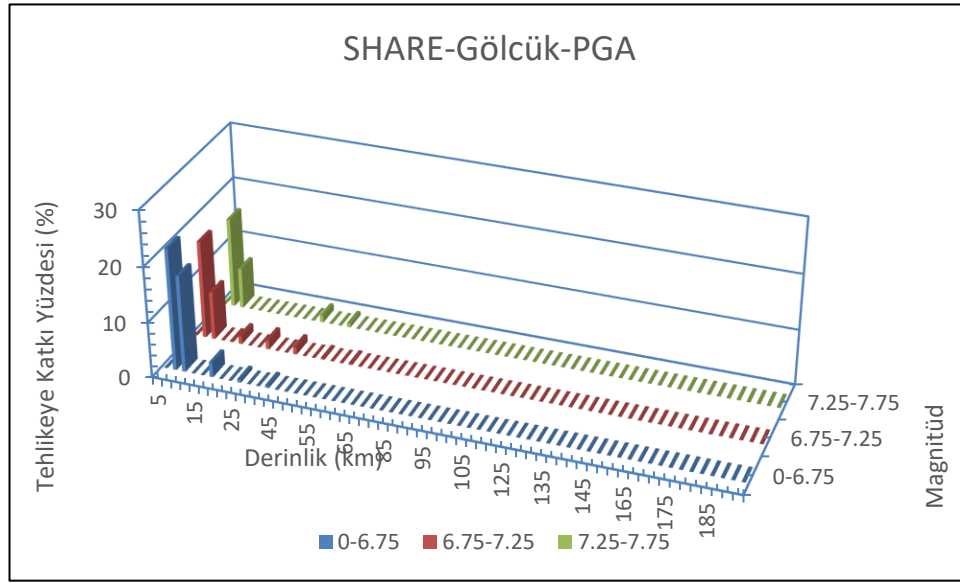
Şekil 5.18: SHARE verileri ve PGA yer hareketi için Gemlik ayrıştırma grafiği.



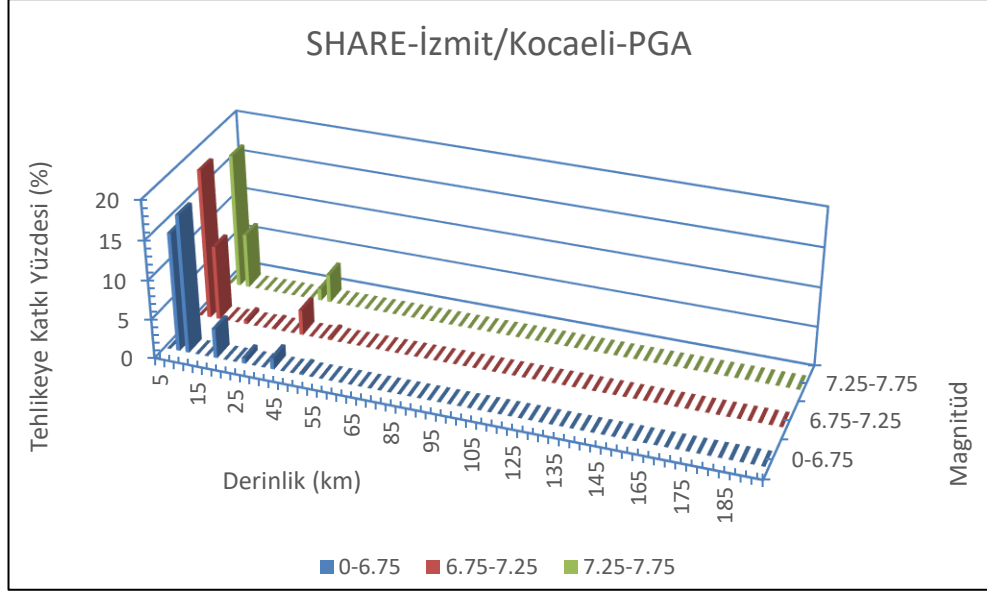
Şekil 5.19: SHARE verileri ve PGA yer hareketi için Gebze ayrıştırma grafiği.



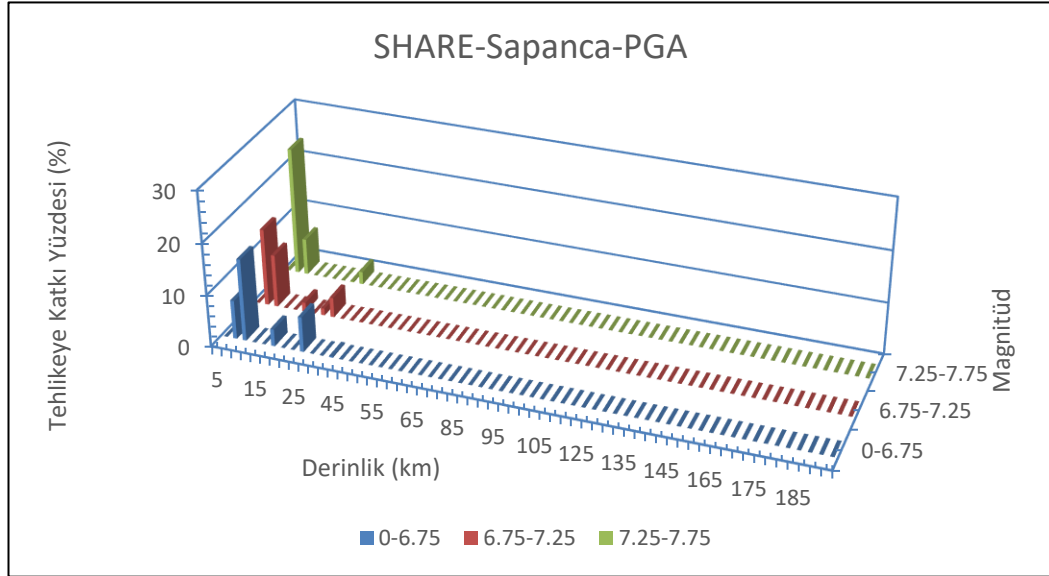
Şekil 5.20: SHARE verileri ve PGA yer hareketi için İznik ayrıştırma grafiği.



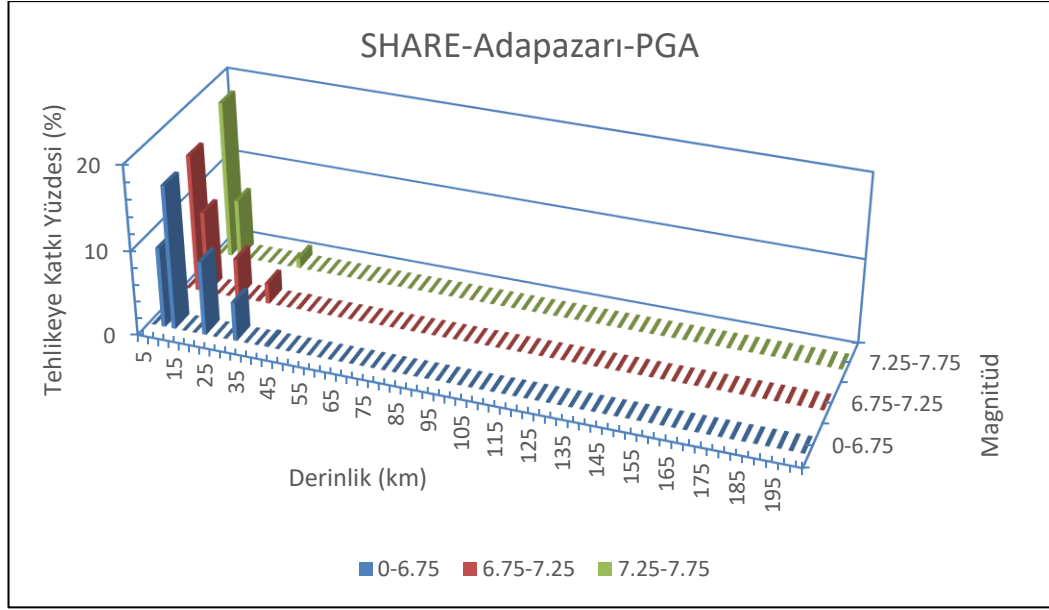
Şekil 5.21: SHARE verileri ve PGA yer hareketi için Gölcük ayrıştırma grafiği.



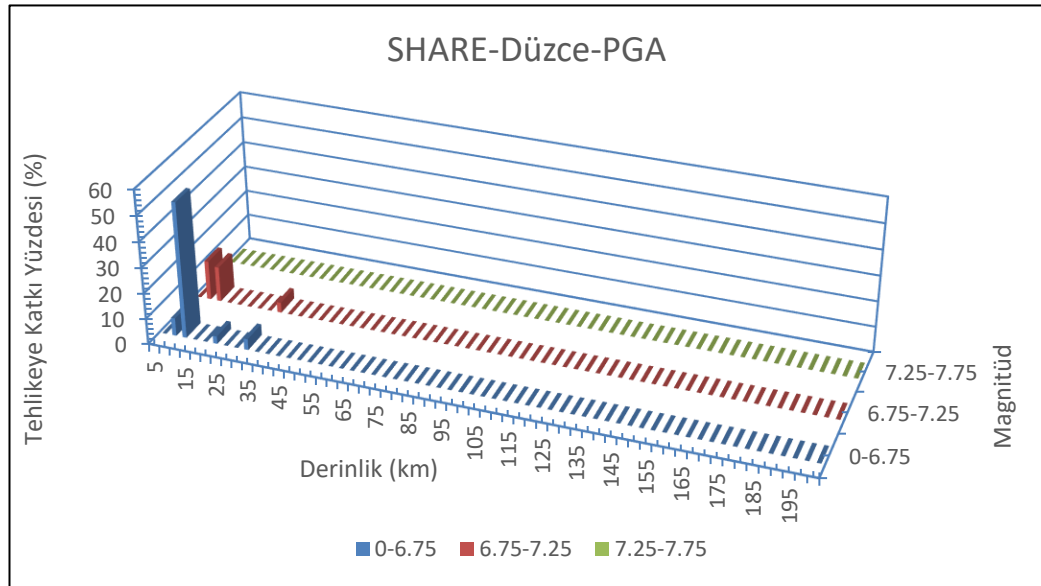
Şekil 5.22: SHARE verileri ve PGA yer hareketi için İzmit ayrıştırma grafiği.



Şekil 5.23: SHARE verileri ve PGA yer hareketi için Sapanca ayrıştırma grafiği.



Şekil 5.24: SHARE verileri ve PGA yer hareketi için Adapazarı ayrıştırma grafiği.



Şekil 5.25: SHARE verileri ve PGA yer hareketi için Düzce ayrıştırma grafiği.

SHARE verileri kullanılarak yapılmış olan analizde; Gemlik, Gebze, İzmit, Gölcük, İzmit ve Düzce için baskın senaryo magnitüdü 0-6.75, mesafesi 0-5 km, Sapanca ve Adapazarı için baskın senaryo magnitüdü 7.25- 7.75, mesafesi 0-5 km aralığındadır.

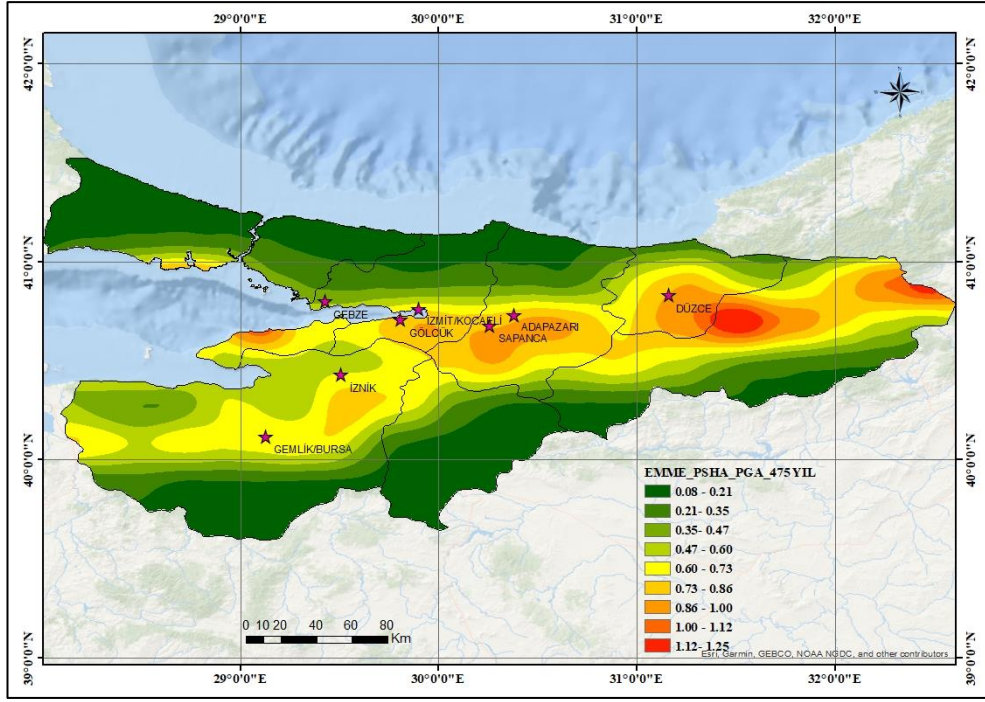
5.1.3. Klasik Göre Olasılıksal Deprem Tehlike Analizinin Tehlike Haritaları

Deprem tehlike haritaları 50 yılda aşılma olasılığı %10 (475 yıllık dönüşüm periyodu) ve 50 yılda aşılma olasılığı %2 olan (2475 yıllık dönüşüm periyodu) için ana kayada ($V_{s30}=760$ m/sn) PGA, $S_a(T=0.2)$, $S_a(T=1.0)$ yer hareketleri için oluşturulmuştur. EMME ve SHARE verileri ile ayrı ayrı haritalar oluşturulmuştur. Çalışma alanı 0.2° lik gridlere ayrılarak oluşturulan alanda yapılmıştır. Genellikle fayların olduğu çizgi üzerinde harita kırmızı renge doğru gitmiştir.

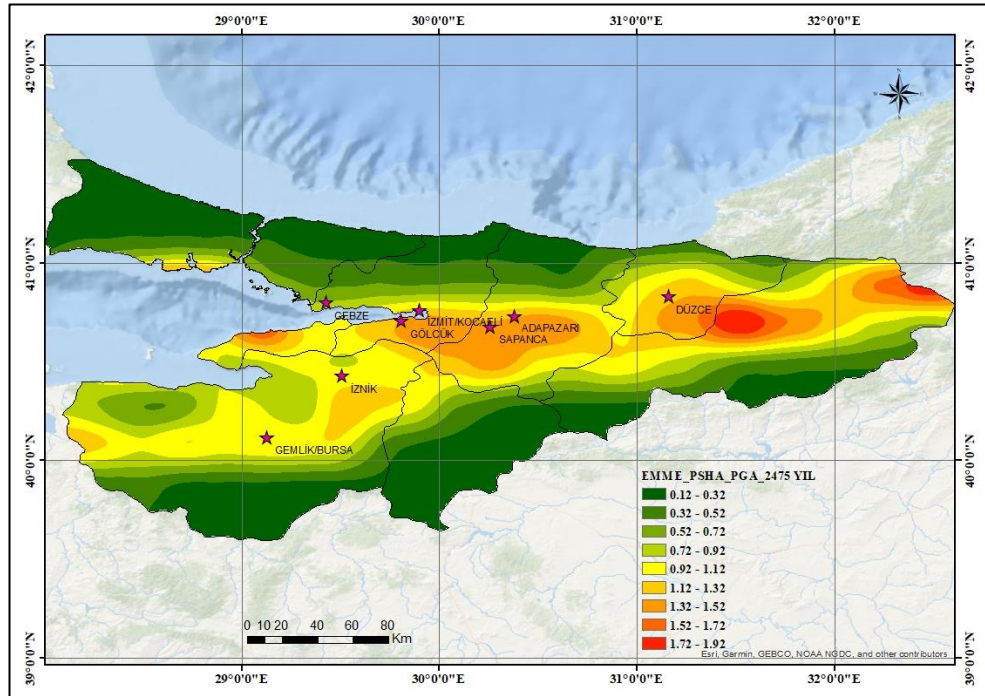
PGA için, 50 yılda aşılma olasılığı %10 (475 yıllık dönüşüm periyodu) ve 50 yılda aşılma olasılığı %2 olan (2475 yıllık dönüşüm periyodu) için ana kayada ($V_{s30}=760$ m/sn) hesaplanan tehlike haritaları EMME verileri ile yapılan analiz şekil 5.26-5.27 ve SHARE verileri ile yapılan analiz şekil 5.32-5.33'de gösterilmiştir. 475 yıllık dönüşüm periyodu için EMME haritasından PGA değeri en yüksek 1.0-1.25 (g) aralığında iken SHARE haritasından 0.87-1.0 (g) aralığındadır. 2475 yıllık dönüşüm periyodu içinse EMME verileriyle PGA değeri 1.72-1.92 (g) aralığında iken SHARE verileri ile de 2.0-2.4 (g) aralığındadır.

$S_a(T=0.2)$ için, 50 yılda aşılma olasılığı %10 (475 yıllık dönüşüm periyodu) ve 50 yılda aşılma olasılığı %2 olan (2475 yıllık dönüşüm periyodu) için ana kayada ($V_{s30}=760$ m/sn) hesaplanan tehlike haritaları EMME verileri ile yapılan analiz şekil 5.28-5.29 ve SHARE verileri ile yapılan analiz şekil 5.34-5.35'te gösterilmiştir. 475 yıllık dönüşüm periyodu için EMME haritasından $S_a(0.2)$ değeri en yüksek 2.7-3.0 (g) aralığında iken SHARE haritasından 1.90-2.10 (g) aralığındadır. 2475 yıllık dönüşüm periyodu içinse EMME verileriyle $S_a(0.2)$ değeri 3.2-3.6 (g) aralığında iken SHARE verileri ile de 3.3-3.7 (g) civarındadır.

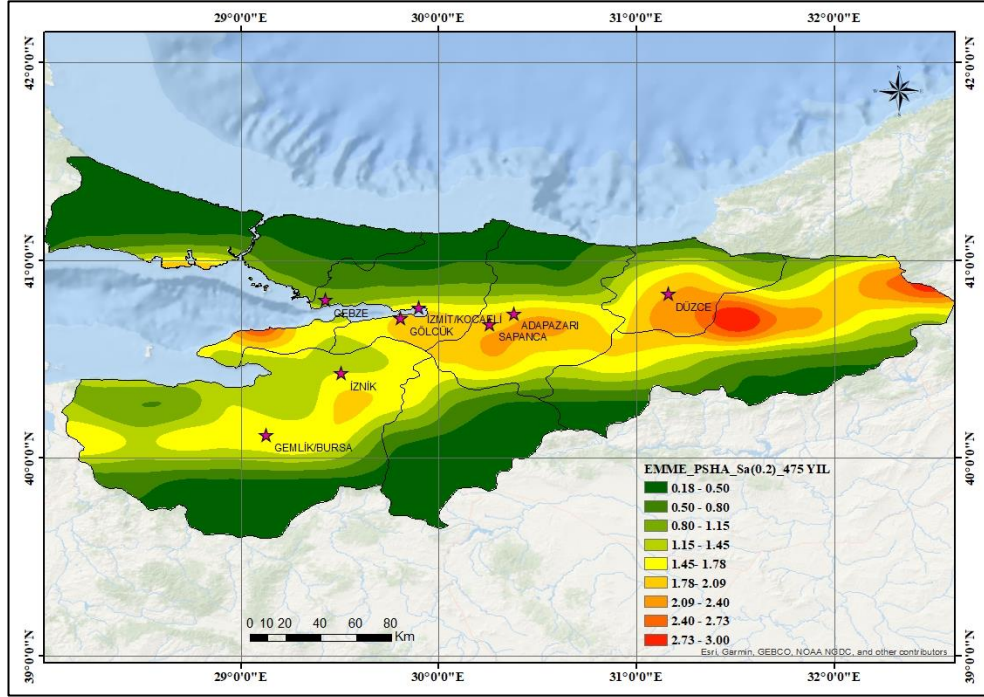
$S_a(T=1.0)$ için, 50 yılda aşılma olasılığı %10 (475 yıllık dönüşüm periyodu) ve 50 yılda aşılma olasılığı %2 olan (2475 yıllık dönüşüm periyodu) için ana kayada ($V_{s30}=760$ m/sn) hesaplanan tehlike haritaları EMME verileri ile yapılan analiz şekil 5.30-5.31 ve SHARE verileri ile yapılan analiz şekil 5.36-5.37'de gösterilmiştir. 475 yıllık dönüşüm periyodu için EMME haritasından $S_a(1.0)$ değeri en yüksek 0.7-0.78 (g) aralığında iken SHARE haritasından 0.64-0.71 (g) aralığındadır. 2475 yıllık dönüşüm periyodu içinse EMME verileriyle $S_a(1.0)$ değeri 1.15-1.27 (g) aralığında iken SHARE verileri ile de 1.67-1.80 (g) seviyelerindedir.



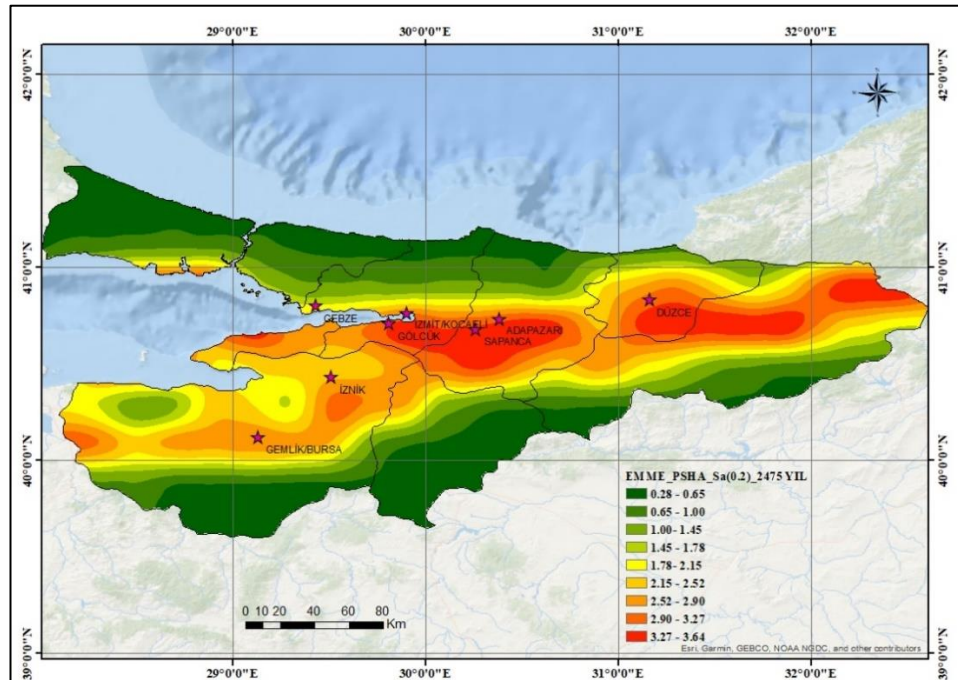
Şekil 5.26: Klasik yöntem ile EMME verileri kullanılarak oluşturulan olasılıksal deprem tehlike haritasının 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan tehlike seviyesinin PGA (g) değerleri.



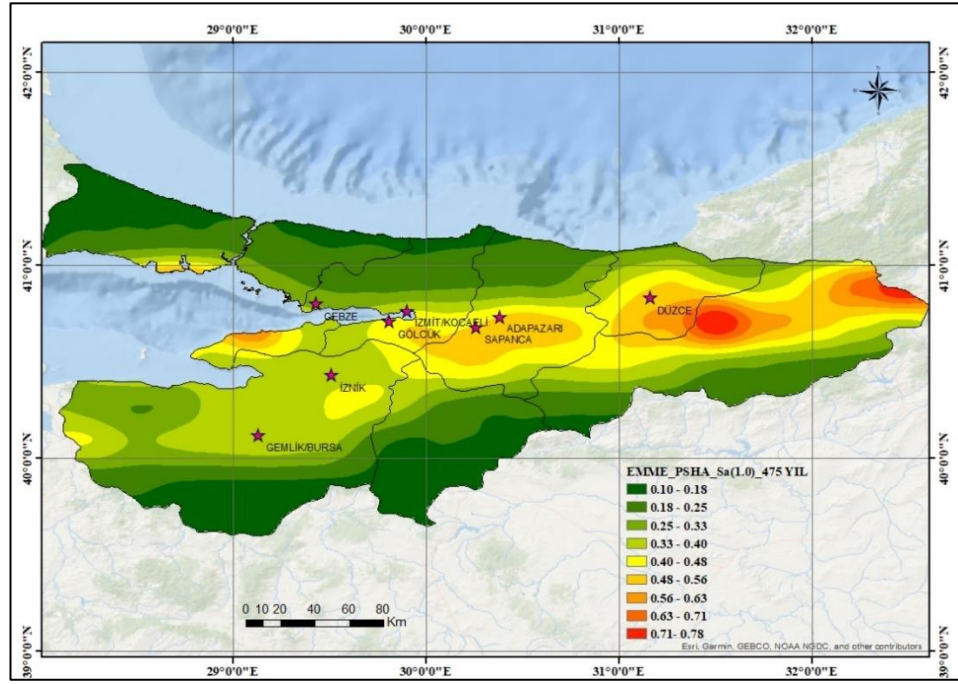
Şekil 5.27: Klasik yöntem ile EMME verileri kullanılarak oluşturulan olasılıksal deprem tehlike haritasının 50 yılda aşılma olasılığı %2 olan tehlike seviyesinin PGA(g) değerleri.



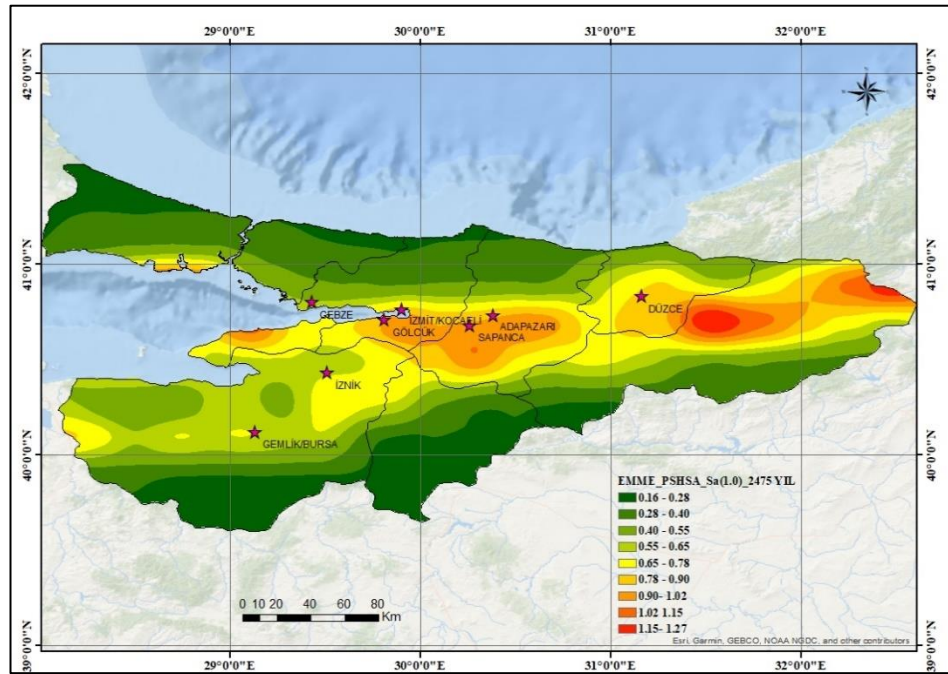
Şekil 5.28: Klasik yöntem ile EMME verileri kullanılarak oluşturulan olasılıksal deprem tehlike haritasının 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan tehlike seviyesinin $Sa(0.2)$ (g) değerleri.



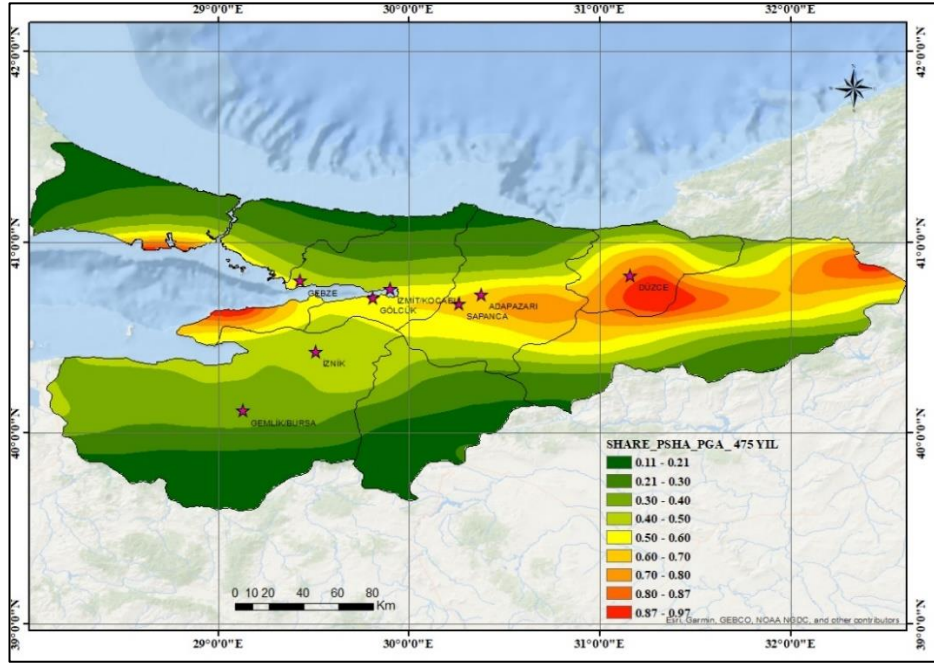
Şekil 5.29: Klasik yöntem ile EMME verileri kullanılarak oluşturulan olasılıksal deprem tehlike haritasının 50 yılda aşılma olasılığı %2 olan tehlike seviyesinin $Sa(0.2)$ (g) değerleri.



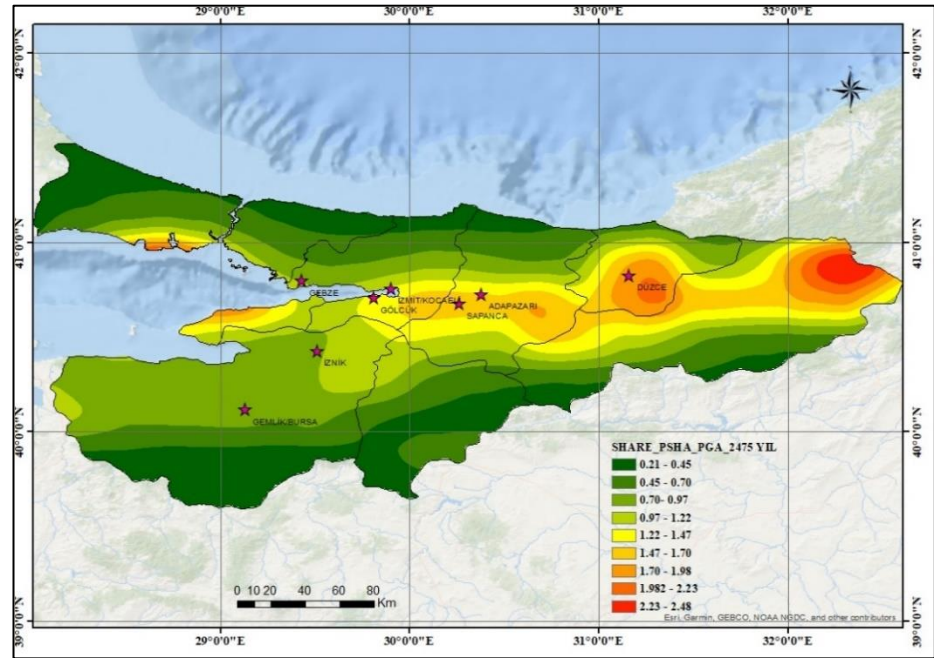
Şekil 5.30: Klasik yöntem ile EMME verileri kullanılarak oluşturulan olasılıksal deprem tehlike haritasının 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan tehlike seviyesinin $S_a(1.0)$ (g) değerleri.



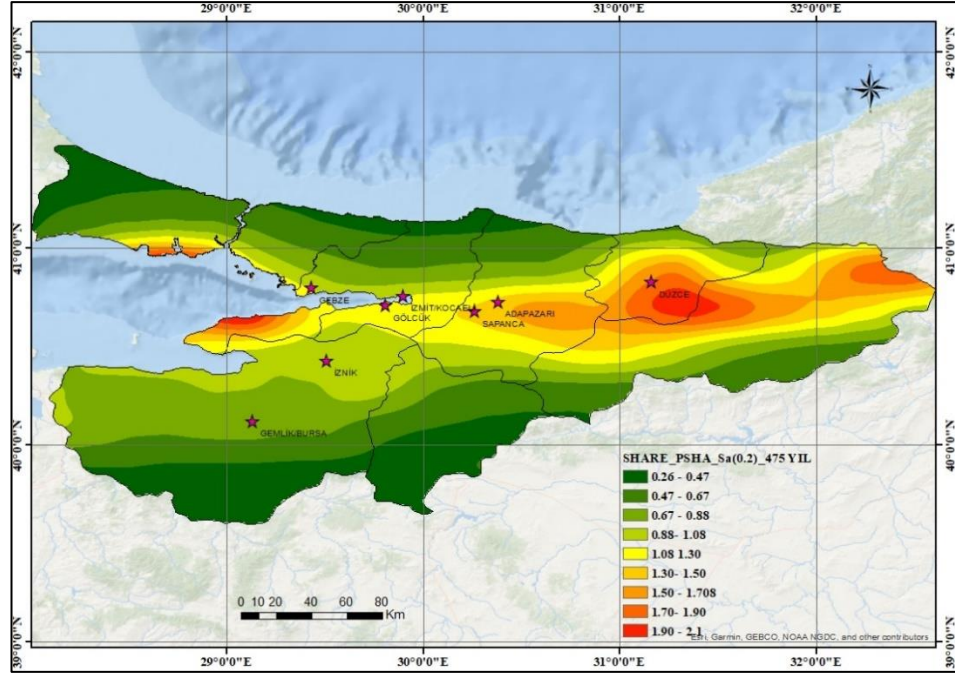
Şekil 5.31: Klasik yöntem ile EMME verileri kullanılarak oluşturulan olasılıksal deprem tehlike haritasının 50 yılda aşılma olasılığı %2 olan tehlike seviyesinin $S_a(1.0)$ (g) değerleri.



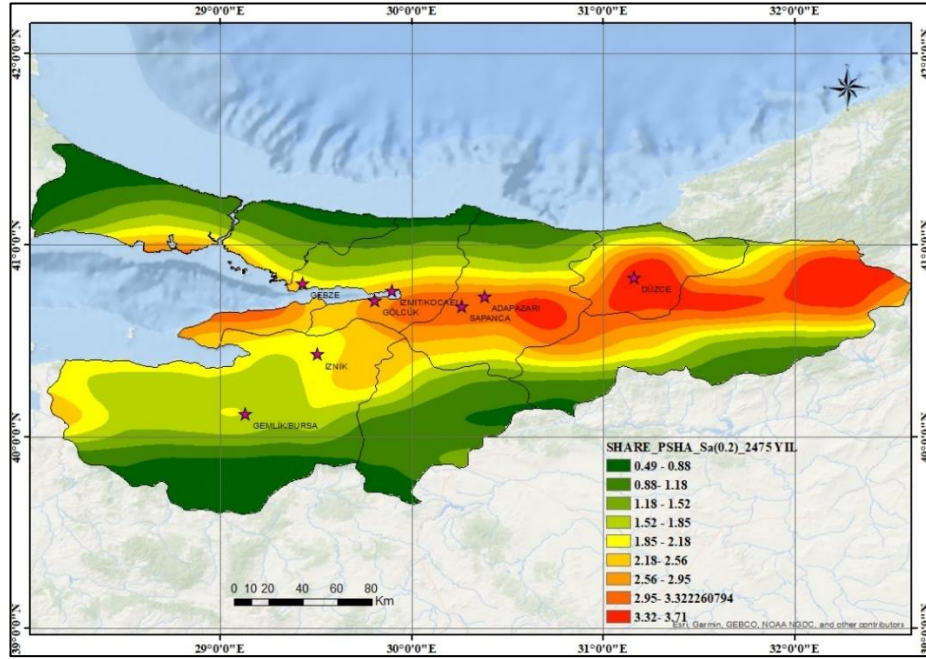
Şekil 5.32: Klasik yöntem ile SHARE verileri kullanılarak oluşturulan olasılıksal deprem tehlike haritasının 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan tehlike seviyesinin PGA(g) değerleri.



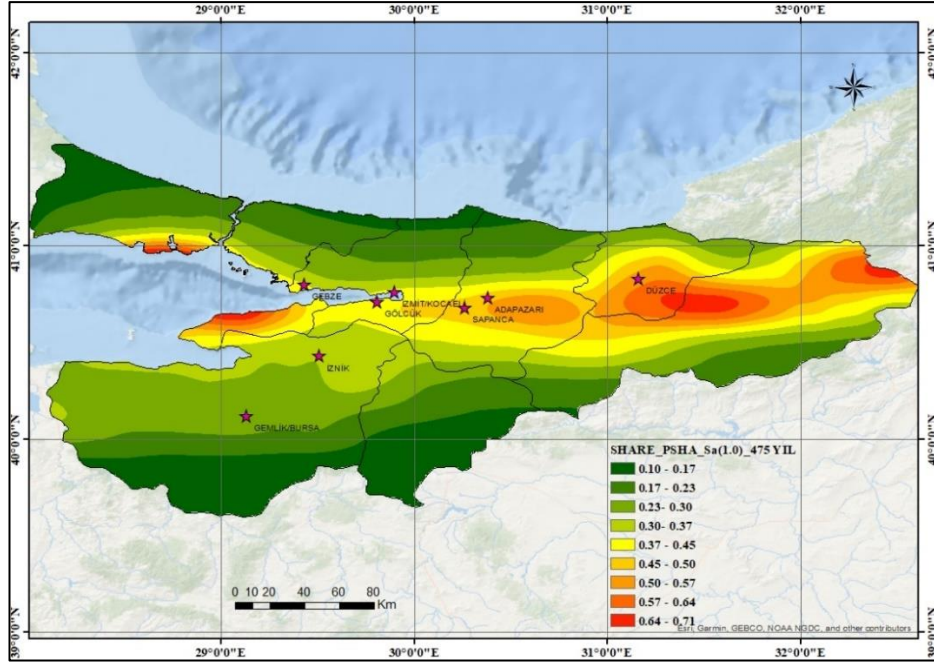
Şekil 5.33: Klasik yöntem ile SHARE verileri kullanılarak oluşturulan olasılıksal deprem tehlike haritasının 50 yılda aşılma olasılığı %2 olan tehlike seviyesinin PGA(g) değerleri.



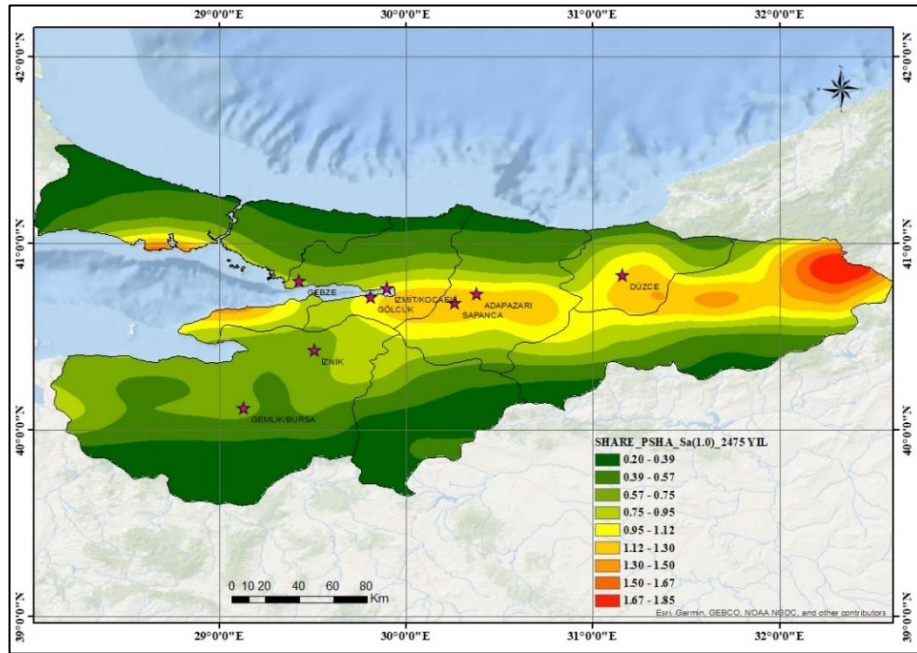
Şekil 5.34: Klasik yöntem ile SHARE verileri kullanılarak oluşturulan olasılıksal deprem tehlike haritasının 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan tehlike seviyesinin $S_a(0.2)$ (g) değerleri.



Şekil 5.35: Klasik yöntem ile SHARE verileri kullanılarak oluşturulan olasılıksal deprem tehlike haritasının 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan tehlike seviyesinin $S_a(0.2)$ (g) değerleri.



Şekil 5.36: Klasik yöntem ile SHARE verileri kullanılarak oluşturulan olasılıksal deprem tehlike haritasının 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan tehlike seviyesinin $S_a(1.0)$ (g) değerleri.



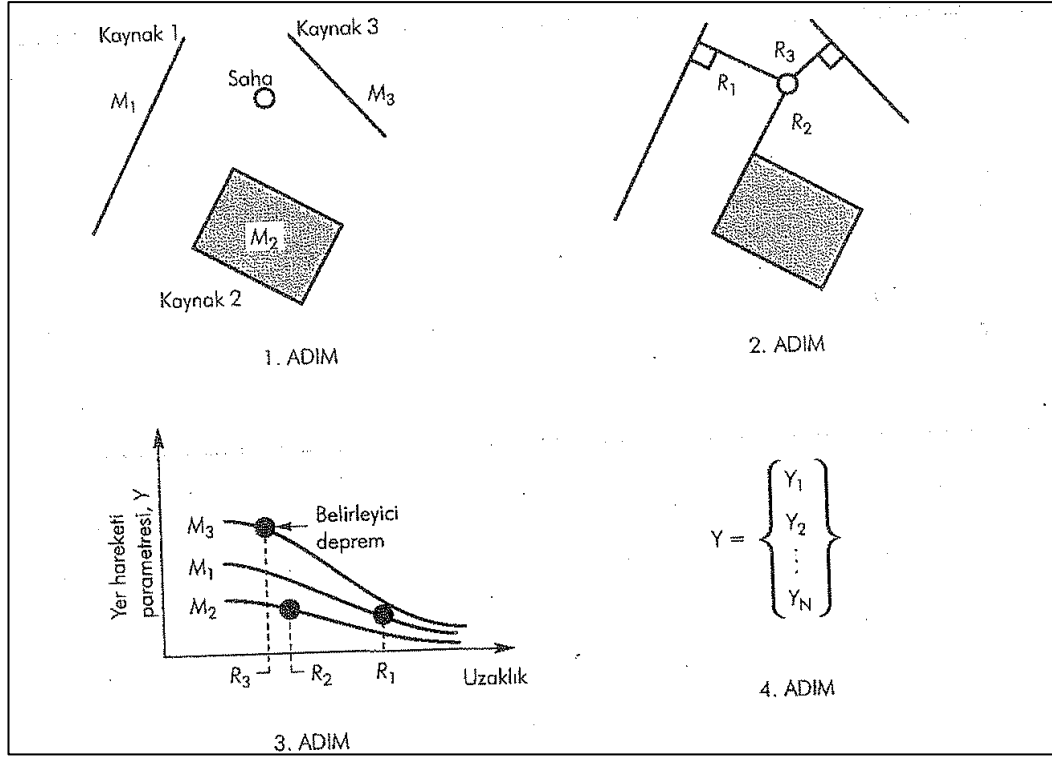
Şekil 5.37: Klasik yöntem ile SHARE verileri kullanılarak oluşturulan olasılıksal deprem tehlike haritasının 50 yılda aşılma olasılığı %2 olan tehlike seviyesinin $S_a(1.0)$ (g) değerleri.

5.2. Senaryo Bazlı Deprem Tehlike Analizi (SBDTA) Metodolojisi

Genelde, SBDTA tehlikenin değerlendirilmesi için ayırık olaylar ve senaryolar kullanılır. SBDTA işlem adımları ODTA ile bazı önemli farklılıklar içerse de paylaştığı benzer süreçler vardır. Şekil 5.26’ da SBDTA’nin işlem süreci basit olarak gösterilmiştir (şekil Kramer’in çeviri kitabından alınmıştır). İlk adımı ODTA ile benzerdir. Yani burada herhangi bir yer hareketi oluşturabilecek deprem kaynakları tespit edilip özellikleri belirlenir. Fakat burada farklı olan kaynakların çalışma bölgesine en yakın mesafesinde deprem meydana getirme olasılığı 1 kabul edilip diğer noktalarda sıfır (‘0’) varsayılmaktadır. ODTA’nin aksine, her bir kaynak için bir kontrol depremi seçilir ve bu genelde maksimum muhtemel depremdir. Yani her bir kaynak içinde olması beklenen en büyük depremdir [Ullah, 2016]. Bu en büyük depremin magnitüdü tarihi depremler, jeolojik kalıntılar incelenerek belirlenebilir. Senaryo depremleri proje alanında her bir kaynak zona en yakın mesafe seçileler dikkate alınır.

Daha sonra seçilen senaryo depremleri için azalım ilişkileri kullanılarak yer hareketi hesabı yapılır ve bir deprem tehlikesini tanımlamada en çok kullanılan parametreler maksimum hız, maksimum ivme ve tepki spektrumu ordinatlarıdır [Kramer, 1996].

SBDTA önemli yapılar olan baraj, nükleer santral veya yapı hasarı oluştuğunda ciddi sorunlara neden olacak yapılarda uygulandığında, en kötü senaryo için yer hareketi değerlendirilmesinde oldukça pratik bir yol olmasına karşın bu deprem meydana gelme olasılığı, varsayılan yerde olma ihtimali veya beklenen yer hareketinin düzeyi hakkındaki belirsizler konusunda fikir vermez [Kramer, 1996].



Şekil 5.38: Senaryo bazlı deprem tehlike analizinin işlem adımları.

5.2.1. Senaryo Bazlı Deprem Tehlikesinin Analiz Sonuçları

EMME verileri içerisinde KAFZ-1999 İzmit Depremi fayı olarak tanımlanan depremin verileri alınarak ASK2014, Abrahamson vd., (2014); BSS2014, Boore vd., (2014); CY2014, Chiou ve Youngs, (2014); CB2014, Campbell ve Bozorgnia, (2014); IDRIS2014, Idriss, (2014)) beş azalım ilişkisi için belirlenmiş olan 8 lokasyonun PGA, Sa(0.2) ve Sa(1.0) değerleri tablo 5.1’de gösterilmiştir. Seçilen İzmit depremi 7.4 büyüklüğündedir. Koordinatları EMME verilerinden alınmış olup, rake açısı: -153.5; dip açısı: 83.3; üstseismiderinliği: 0.0 km; altseismoderinliği: 18.0 km ve depremin hypocenter derinliği: 15.9 km olarak alınmıştır. Analizler OpenQuake yazılımında yapılmıştır. Tablo 5.1’de (a), (b), (c) EMME verilerinde ki KAFZ-1999 İZMİT DEPREMİ fayının koordinatı ve gerekli verileri alınarak beş azalım ilişkisi için yapılan analizler ve PGA, Sa(0.2) ve Sa(1.0) yer hareketi değerleri ((ASK2014, Abrahamson vd., 2014); (BSS2014, Boore vd., 2014); (CY2014, Chiou ve Youngs, 2014); (CB2014, Campbell ve Bozorgnia, 2014); (IDRIS2014, Idriss, 2014)) verilmiştir.

Tablo 5.1: a), b), c) EMM verilerinde ki KAFZ-1999 İZMİT DEPREMİ fayının verileri alınarak beş azalım ilişkisi için yapılan analiz sonucu PGA, Sa(0.2) ve Sa(1.0) değerleri.

İlçe	lon	lat	scenario -ASK2014			scenario -BSS2014		
			PGA(g)	SA(0.2)(g)	SA(1.0)(g)	PGA(g)	SA(0.2)(g)	SA(1.0)(g)
GEMLİK	29.1	40.1	5.70E-02	1.25E-01	4.80E-02	5.62E-02	1.15E-01	3.75E-02
GEBZE	29.3	40.9	1.83E-01	4.32E-01	1.21E-01	1.95E-01	4.25E-01	1.37E-01
İZNİK	29.5	40.3	8.74E-02	1.98E-01	6.56E-02	8.68E-02	1.80E-01	5.58E-02
GÖLCÜK	29.7	40.7	4.50E-01	1.08E+00	2.74E-01	4.26E-01	9.86E-01	3.48E-01
İZMİT	29.9	40.7	5.06E-01	1.22E+00	3.05E-01	4.73E-01	1.10E+00	3.86E-01
SAPANCA	30.3	40.7	4.75E-01	1.15E+00	2.88E-01	4.47E-01	1.04E+00	3.65E-01
ADAPAZARI	30.5	40.7	5.01E-01	1.21E+00	3.03E-01	4.74E-01	1.10E+00	3.86E-01
DÜZCE	31.1	40.9	1.68E-01	3.94E-01	1.12E-01	1.74E-01	3.76E-01	1.20E-01

a)

İlçe	lon	lat	scenario -CB2014			scenario -CY2014		
			PGA(g)	SA(0.2)(g)	SA(1.0)(g)	PGA(g)	SA(0.2)(g)	SA(1.0)(g)
GEMLİK	29.1	40.1	9.56E-02	1.75E-01	8.87E-02	5.67E-02	1.16E-01	3.77E-02
GEBZE	29.3	40.9	3.12E-01	6.71E-01	2.87E-01	1.93E-01	4.47E-01	1.31E-01
İZNİK	29.5	40.3	1.40E-01	2.71E-01	1.29E-01	8.46E-02	1.83E-01	5.48E-02
GÖLCÜK	29.7	40.7	7.72E-01	1.65E+00	7.90E-01	4.71E-01	1.13E+00	3.77E-01
İZMİT	29.9	40.7	8.33E-01	1.76E+00	8.77E-01	5.49E-01	1.32E+00	4.57E-01
SAPANCA	30.3	40.7	8.01E-01	1.71E+00	8.31E-01	5.00E-01	1.20E+00	4.06E-01
ADAPAZARI	30.5	40.7	8.29E-01	1.75E+00	8.71E-01	5.40E-01	1.30E+00	4.47E-01
DÜZCE	31.1	40.9	2.80E-01	5.97E-01	2.57E-01	1.74E-01	3.99E-01	1.16E-01

b)

İlçe	lon	lat	scenario -IDRIS2014		
			PGA(g)	SA(0.2)(g)	SA(1.0)(g)
GEMLİK	29.1	40.1	4.52E-02	8.76E-02	3.13E-02
GEBZE	29.3	40.9	1.99E-01	3.70E-01	1.05E-01
İZNİK	29.5	40.3	7.66E-02	1.47E-01	4.85E-02
GÖLCÜK	29.7	40.7	5.87E-01	1.05E+00	2.49E-01
İZMİT	29.9	40.7	7.29E-01	1.29E+00	2.96E-01
SAPANCA	30.3	40.7	6.38E-01	1.14E+00	2.66E-01
ADAPAZARI	30.5	40.7	7.10E-01	1.26E+00	2.90E-01
DÜZCE	31.1	40.9	1.78E-01	3.32E-01	9.61E-02

c)

SHARE verileri içerisinde KAFZ-1999 İzmit Depremi fayı olarak tanımlanan depremin verileri alınarak (ASK2014, Abrahamson vd., 2014), (BSS2014, Boore vd., 2014), (CY2014, Chiou ve Youngs, 2014), (CB2014, Campbell ve Bozorgnia, 2014), (IDRIS2014, Idriss, 2014)) beş azalım ilişkisi için belirlenmiş olan 8 lokasyonun PGA, Sa(0.2) ve Sa(1.0) değerleri tablo 5.2’de gösterilmiştir. Seçilen İzmit depremi 7.4

büyükluğündedir. Koordinatları SHARE verilerinden alınmış olup, rake açısı: -153.5; dip açısı: 84.0; üstseismiderinliği:0.0km; altseismoderinliği: 18.0 km ve depremin hypocenter derinliği: 15.9 km olarak alınmıştır. Analizler OpenQuake yazılımında yapılmıştır.Tablo 5.2’de, (a),(b),(c) SHARE verilerinde ki KAFZ-1999 İZMİT DEPREMİ fayının koordinatı ve gerekli verileri alınarak beş azalım ilişkisi için yapılan analizler ve PGA, Sa(0.2) ve Sa(1.0) yer hareketi değerleri ((ASK2014, Abrahamson vd., 2014), (BSS2014, Boore vd., 2014), (CY2014, Chiou ve Youngs, 2014), (CB2014,Campbell ve Bozorgnia, 2014), (IDRIS2014,Idriss, 2014)).

Tablo 5.2: a), b), c) SHARE verilerinde ki KAFZ-1999 İZMİT DEPREMİ fayının verileri alınarak beş azalım ilişkisi için yapılan analiz sonucu PGA, Sa(0.2) ve Sa(1.0) değerleri.

			scenario -ASK2014			scenario -BSS2014		
İlçe	lon	lat	PGA(g)	SA(0.2)(g)	SA(1.0)(g)	PGA(g)	SA(0.2)(g)	SA(1.0)(g)
GEMLİK	29.1	40.1	0.056888	0.1244287	0.04790824	0.056076	0.114469	0.03742711
GEBZE	29.3	40.9	0.18311	0.4312198	0.1203332	0.193061	0.420616	0.135539
İZNİK	29.5	40.3	0.087404	0.1978593	0.06558695	0.086805	0.180168	0.05575316
GÖLCÜK	29.7	40.7	0.444157	1.069642	0.270768	0.424379	0.981372	0.3466279
İZMİT	29.9	40.7	0.50011	1.207584	0.3021814	0.472516	1.099497	0.3850219
SAPANCA	30.3	40.7	0.471947	1.137964	0.2865258	0.446607	1.035991	0.3648626
ADAPAZARI	30.5	40.7	0.507022	1.224805	0.3059117	0.473725	1.102457	0.3859328
DÜZCE	31.1	40.9	0.198608	0.4690957	0.129237	0.206323	0.451745	0.1470314

a)

			scenario -CB2014			scenario -CY2014		
İlçe	lon	lat	PGA(g)	SA(0.2)(g)	SA(1.0)(g)	PGA(g)	SA(0.2)(g)	SA(1.0)(g)
GEMLİK	29.1	40.1	0.095436	0.1750982	0.08858844	0.056645	0.115941	0.03769342
GEBZE	29.3	40.9	0.310146	0.667204	0.2851221	0.192174	0.444485	0.1299391
İZNİK	29.5	40.3	0.139794	0.271228	0.1287495	0.084593	0.183391	0.05478115
GÖLCÜK	29.7	40.7	0.764149	1.641356	0.7795677	0.464733	1.111565	0.3704107
İZMİT	29.9	40.7	0.827359	1.750298	0.8688468	0.537395	1.290189	0.4446016
SAPANCA	30.3	40.7	0.797582	1.699923	0.8257429	0.496469	1.189548	0.4022907
ADAPAZARI	30.5	40.7	0.833905	1.761147	0.8785961	0.550932	1.323496	0.4588942
DÜZCE	31.1	40.9	0.339944	0.7378861	0.3131591	0.20997	0.487757	0.1437438

b)

			scenario -IDRIS2014		
İlçe	lon	lat	PGA(g)	SA(0.2)(g)	SA(1.0)(g)
GEMLİK	29.1	40.1	0.045145	0.08742419	0.03122297
GEBZE	29.3	40.9	0.198496	0.3693443	0.1050836
İZNİK	29.5	40.3	0.076563	0.1465146	0.04843874
GÖLCÜK	29.7	40.7	0.576011	1.032028	0.2456235
İZMİT	29.9	40.7	0.705828	1.254932	0.2884475
SAPANCA	30.3	40.7	0.630611	1.126005	0.2638678
ADAPAZARI	30.5	40.7	0.732006	1.299668	0.2968652
DÜZCE	31.1	40.9	0.219853	0.4076969	0.1140702

c)

Karşılaştırma yapmak adına 1999 İzmit Depreminin verileri kullanılarak sadece İzmit/Kocaeli bölgesi için PEER'in NGA WEST 2 [Web 3,2020] için paylamış olduğu dosyasında belirtilen beş azalım ilişkisi için analiz yapılmış ve tablo 5.3'te gösterilmiştir.

Tablo 5.3: 1999 İzmit deprem verileri kullanılarak, İzmit lokasyonu yapılan analizin PGA, Sa(0.2) ve Sa(1.0)' ın sonuçları.

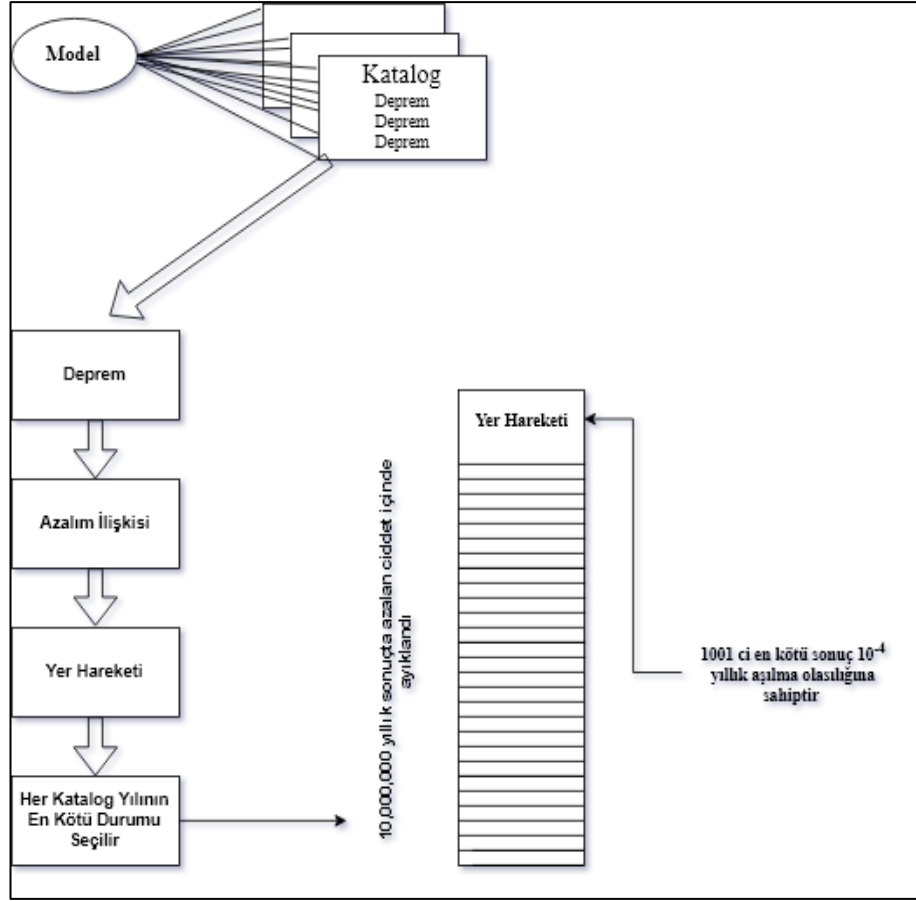
NGA-WEST_2-PEER_EXCEL			
İzmit lokasyonu (lon:29.9, lat:40.7)	PGA(g)	SA(0.2)(g)	SA(1.0)(g)
AbrahamsonEtAl2014	0.5219	1.26	0.313
BooreEtAl2014	0.4818	1.1355	0.3951
CampbellBozorgia2014	0.8453	1.7799	0.89
ChiouYoungs2014	0.6	1.466	0.519
Idris2014	0.84	1.496	0.33

OpenQuake' te yapılan analizler ve NGA WEST 2. Excel de yapılan analizler mean değerleri içindir. Karşılaştırma sonucu değerlerin birbirine oldukça yakın olduğu görülmüştür.

5.3. Monte Carlo Yöntemine Göre Olasılıksal Deprem Tehlike Analizi Metodolojisi

Deprem tehlike analizinde olasılıksal deprem tehlike belirlenmesinde Monte Carlo benzeşim tekniklerinin kullanılması ile de mümkündür. Yani klasik olasılıksal yaklaşımda kullandığımız tüm girdi parametrelerini farklı bir yol olan Monte Carlo

simülasyon metodu ile de yapabiliriz. Bu teknik dünyanın farklı yerlerinde deprem tehlike analizlerinde kullanılmaktadır. Sismik kaynak modelini ve kaynaklardaki deprem oluşumlarının zamansal ve mekânsal alanındaki özellikleri bilindiğinden Monte Carlo(MC) metodu bu özellikleri sağlayacak sentetik deprem katalogları üretir [Musson, 2000]. Bu oluşturulan rasgele seçim, kontrol edilmelidir. Üretilen her bir deprem için, bölgedeki yer hareketi azalım ilişkileri ile her konumdaki yer hareketi parametreleri simüle edilebilir. Her bir konumda, bütün depremlerden meydana gelen yer hareketi parametrelerinin istatistiksel analizi ile olasılıksal deprem tehlike analizi belirlenir. Aslında MC simülasyonun ilk uygulamaları sismisitenin nasıl rasgele simüle edileceğini gösterdiğinden deprem tehlike analizinde kullanılabildi [Weatherill ve Burton, 2010]. Fakat bütünüyle etkili hesaplama kısıtlılığından bu çalışmalar kısıtlıydı. Daha kapsamlı uygulamalar geliştiğinden beri MC iki kategoriye takip eder: ilki gözlemlenen sismisiteni rasgele üretim ile sentetik katalog üretimi diğeri ise uniform sismik kaynak zonlarının ve bir magnitüd-sıklık tekrar modeli yaklaşımının kümülatif dağılım fonksiyonundan rasgele üretim ile oluşturulan sentetik deprem kataloğunun simülasyonudur [Weatherill ve Burton, 2010]. Diğeri bir durumda deprem tehlikesi azalım ilişkileri kullanılarak (genellikle 10^6 veya 10^7 zaman içinde) sismisitenin sentetik kataloglarından bir bölgedeki tahmini yer hareketi hesaplanarak tahmin edilebilir. Örneğin 100 yıllık zaman diliminde oluşan 100,000 depremin 100 defa benzeşimi 1×10^7 yıla denk gelecek deprem verisi sağlayabilir. Rasgele bir konumda elde edilmiş olan yıllık en büyük yer hareketi parametrelerinin sıralaması yapılırsa 1001. veri 10,000 yıllık ve 10001. veri de 1000 yıllık ortalama dönüş süresine denk gelen en büyük yer hareketi parametrelerini sağlayacaktır. Aşağıda ki şekil 5.3'de bu daha iyi anlaşılacaktır [Musson, 2000].



Şekil 5.39: Deprem tehlikesinde Monte Carlo simülasyonun gösterimi.

MC metodunun birçok avantajı vardır. Bunlar:

- Klasik ODTA de Poisson davranış modeli yaygın olarak kullanılır. Nedeni, gerekli sismisite modelinin uniform olmaması ve karmaşık olmasından matematiksel olarak ve hesapsal sorunların artmasından non-Poisson kullanılmasına olanak tanımaz ama MC yaklaşımında karakteristik, zaman bağımlı, non-Poisson, Markovian ve diğer sismisite modelleri kolaylıkla adapte edilebilir [Musson, 2000],
- MC metodunda standart sapmalar ile dağılım fonksiyonu olarak girilebilen girdi parametrelerinin belirsizliğine izin verir. Bir farklı değer her bir simülasyon için dağılımdan örneklenebilir ve bu da mantık ağacı kullanımını ilgi çekici hale getirir [Musson, 2000],
- Klasik ODTA metodunda yapı risk analizde direk analiz nadirdir. Bunu için yer hareketi belli seviyesini veren hasarın olasılıksal durumunu hesaplamak için kırılma fonksiyonlarının integrasyonu gereklidir. Fakat MC metodunda bu

gerekli değildir. Bir kırılabilirlik fonksiyonu olduğu sürece her bir sentetik deprem kataloğundan yapıların kayıplarını simüle etmek basit bir konudur [Musson, 2000]. Bu durum sigortacılıkta önem arz eden bir konudur,

- MC ile sentetik depremler bir tasarım bakışından en önemli magnitüd-mesafe kombinasyonlarını keşfetmek için sorgulama yapar [Musson, 2000]. Bu bakış açısı önceden fark edilmemiş ve farklı yayınlarda daha detaylı üzerinde durulmuştur [Musson, 2000],
- Bu metodun konsept olarak basit bir mantığa sahip olması bilim insanları için önemli bir konu gibi görünmese de konunun uzmanı olmayan kişilere, afet planlaması yaptırıp uygulayan politikacılar veya farklı meslek gruplarına anlatması ve anlaşılması kolaydır

şeklinde sıralanabilir.

Openquake-engine yazılımında MC şu şekilde tanımlanmıştır:

Sismisite verilen bir T zaman aralığı için bir stokastik olay seti (yani sentetik katalog) üreterek simüle edilir. Bir kaynak tarafından üretilen her bir yarımla için T zaman aralığı içinde ki oluşum sayıları verilen $P_{rup}(k|T)$ gibi uyumlu olasılık dağılımı örneklenerek simüle edilir [Pagani et al., 2014]. Bir stokastik olay seti sismik kaynak modeli tarafından tanımlanan tüm yarıkların toplam bir örneğidir. Her bir yarımla 0-, 1-, ya da daha fazla (olasılığa bağlı şekilde) mevcuttur. Sembolik olarak Openquake te bu stokastik olay seti (SES) olarak tanımlanmıştır [Pagani et al., 2014].

$$SES(T) = \{k \times rup, k \sim P_{rup}(k|T) \forall rup \text{ in } Src \forall Src \text{ in } SSM\} \quad (5.9)$$

Burada k (olay sayısı) $P_{rup}(k|T)$ ın rasgele bir örneğidir ve $k \times rup$ 'ın anlamı; yarımla (rup) stokastik olay setinde k kez tekrar ediyor.

Verilen bir deprem yarığı, lokasyon seti $x=(x_1, x_2, \dots, x_N)$ üzerindeki yer hareketi değerlerinin simülasyonu bir yer hareketi alana dönüşür. MC olasılıksal analizinde (stokastik olay setinde her bir yarımla) yer hareketi alanı, yer hareketi modeli tarafından tanımlanan olasılıksal dağılımı örnekleyerek oluşturulur. Belli bölgedeki yer hareketi dağılımı Normal dağılım olarak varsayılmaktadır. Rassal belirsizlik (aleatory variability) depremler-arası (inter-event) standart sapma (τ) ve deprem-içi (intra-event) standart sapma (σ) ile tanımlanır [Pagani et al., 2014]. Bu yüzden yer hareketi alanı üç terim özetinin sonucu şeklindedir ve aşağıdan

Yer hareketi dağılımının logaritmik ortalaması :

$$\boldsymbol{\mu} = (\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_N) \quad (5.10)$$

Deprem-ler-arası (inter-event) değişkenlik:

$$\boldsymbol{\eta} = (\eta, \eta, \dots, \eta), \text{ where } \eta \sim N(0, \tau) \quad (5.11)$$

Deprem-içi (intra-event) değişkenlik:

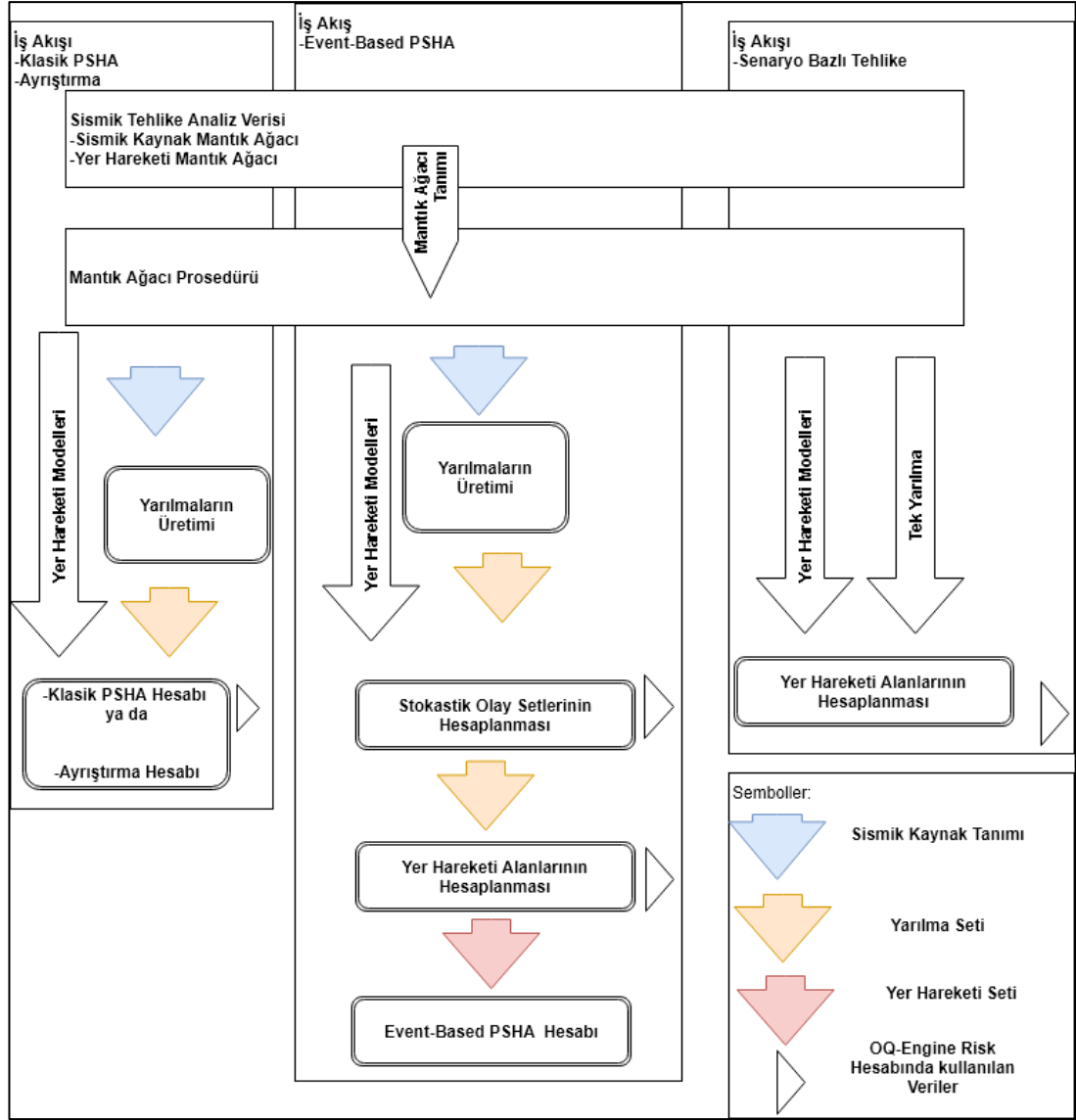
$$\boldsymbol{\varepsilon} = (\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_N) \sim N(0, \boldsymbol{\Sigma}) \quad (5.12)$$

Ortak değişken matrisi:

$$\boldsymbol{\Sigma} = \begin{bmatrix} \sigma_1^2 & \sigma_1 \sigma_2 \rho_{12} & \cdots & \sigma_1 \sigma_N \rho_{1N} \\ \sigma_2 \sigma_1 \rho_{21} & \sigma_2^2 & \ddots & \sigma_2 \sigma_N \rho_{2N} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ \sigma_N \sigma_1 \rho_{N1} & \sigma_N \sigma_2 \rho_{N2} & \cdots & \sigma_N^2 \end{bmatrix} \quad (5.13)$$

(ρ): deprem-için rassal belirsizlik için korelasyon katsayısı

Bu üç deprem tehlike analizi şekil 5.4’de özetlenmeye çalışılmıştır [Pagani et al., 2014].

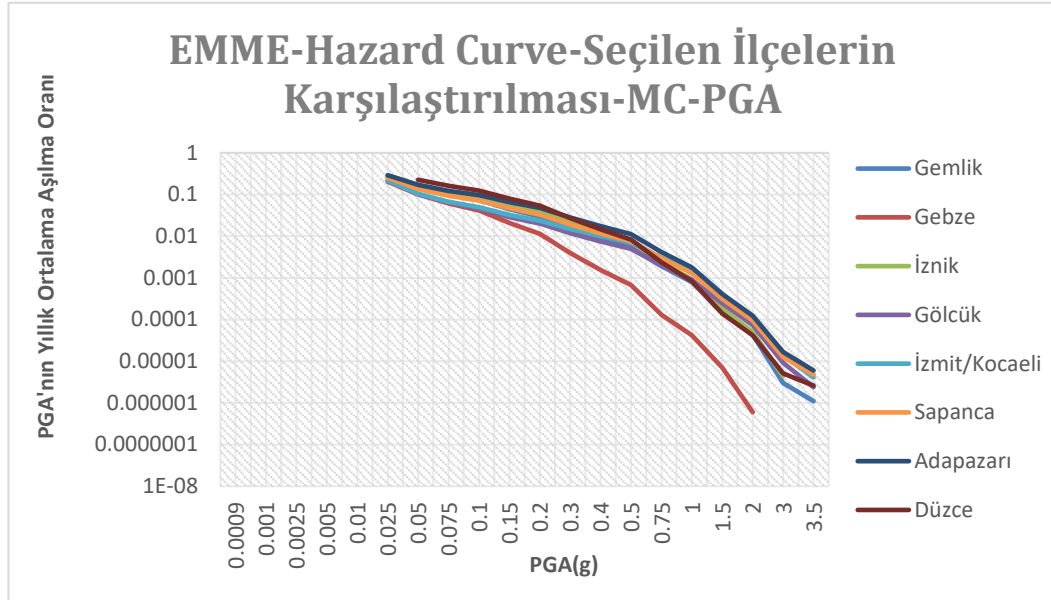


Şekil 5.40: OpenQuake programında yapılan üç deprem tehlike analizi için hazırlanmış olan özet şema.

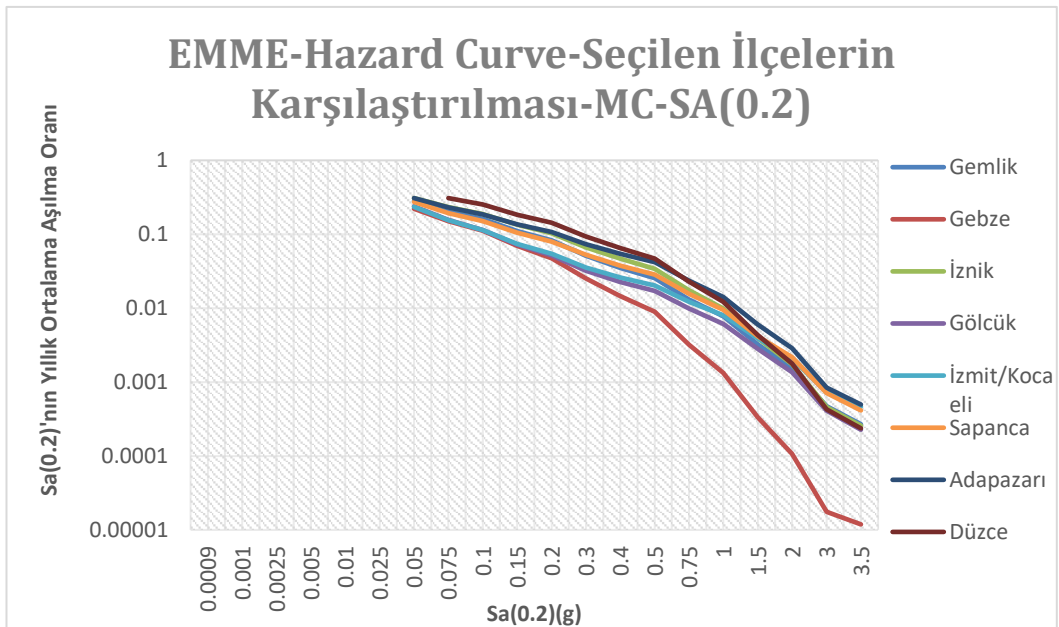
5.3.1. Monte Carlo Yöntemine Göre Olasılıksal Deprem Tehlike Analizinin Sonuçları

MC yöntemine göre olasılıksal tehlike analizi OpenQuake yazılımı [Crowley et al., 2015] ile hesaplanmıştır. Bu çalışmada Doğu Marmara bölgesinde belirlenmiş olan 8 bölgenin tehlike eğrileri hesaplanmıştır. Bu lokasyonlar Gemlik, Gebze, İzmit, Gölcük, İzmit, Sapanca, Adapazarı, Düzce olarak belirlenmiştir. Seçilen lokasyonların tehlike eğrileri PGA, Sa(0.2) ve Sa(1.0) spektral periyotlar ve kaya zemin ($V_{s30} = 760$ m/sn) kabulü ile hesaplamalar yapılmıştır. EMME ve SHARE fay verileri ayrı ayrı göz

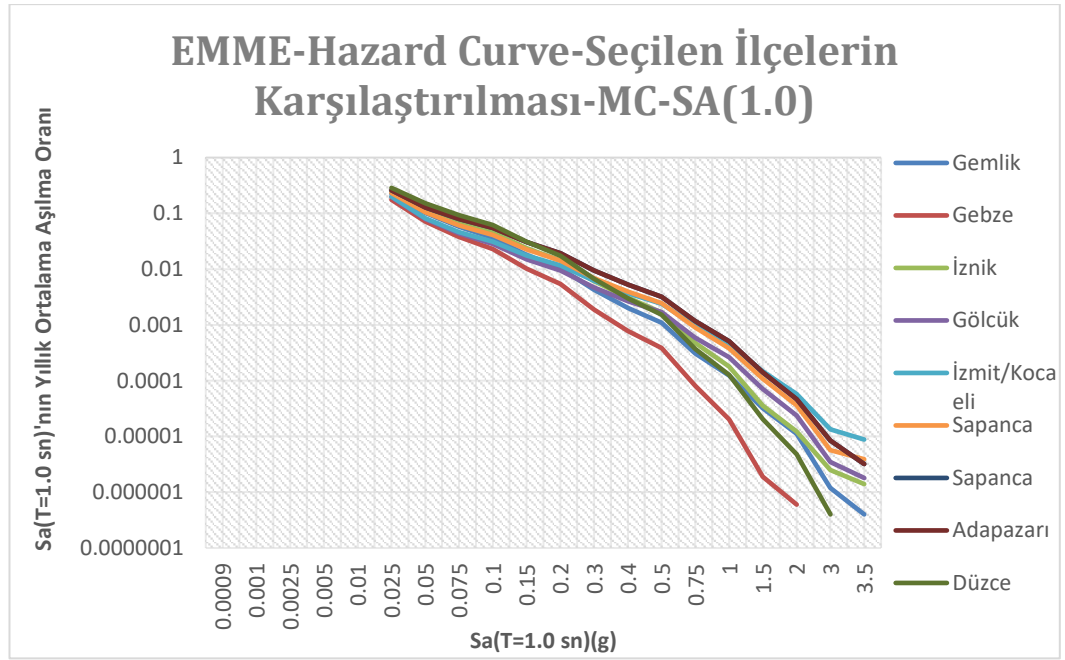
önüne alınarak yapılan analizlerde tehlike eğrileri şekil 5.41 ve 5.46 arasında gösterilmektedir.



Şekil 5.41: Monte Carlo yöntemine göre EMME verileri sekiz lokasyonun PGA (g) ve mean değeri için çizilmiş olan tehlike eğrisi.

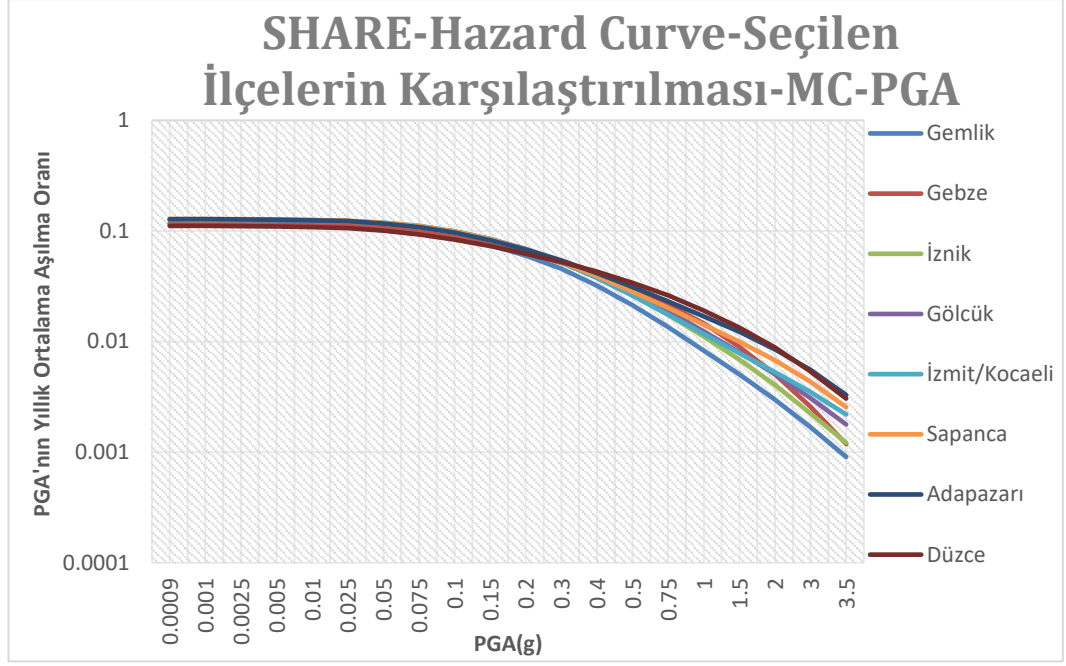


Şekil 5.42: Monte Carlo yöntemine göre EMME verileri kullanılarak sekiz lokasyonun Sa(0.2) (g) ve mean değeri için çizilmiş olan tehlike eğrisi.

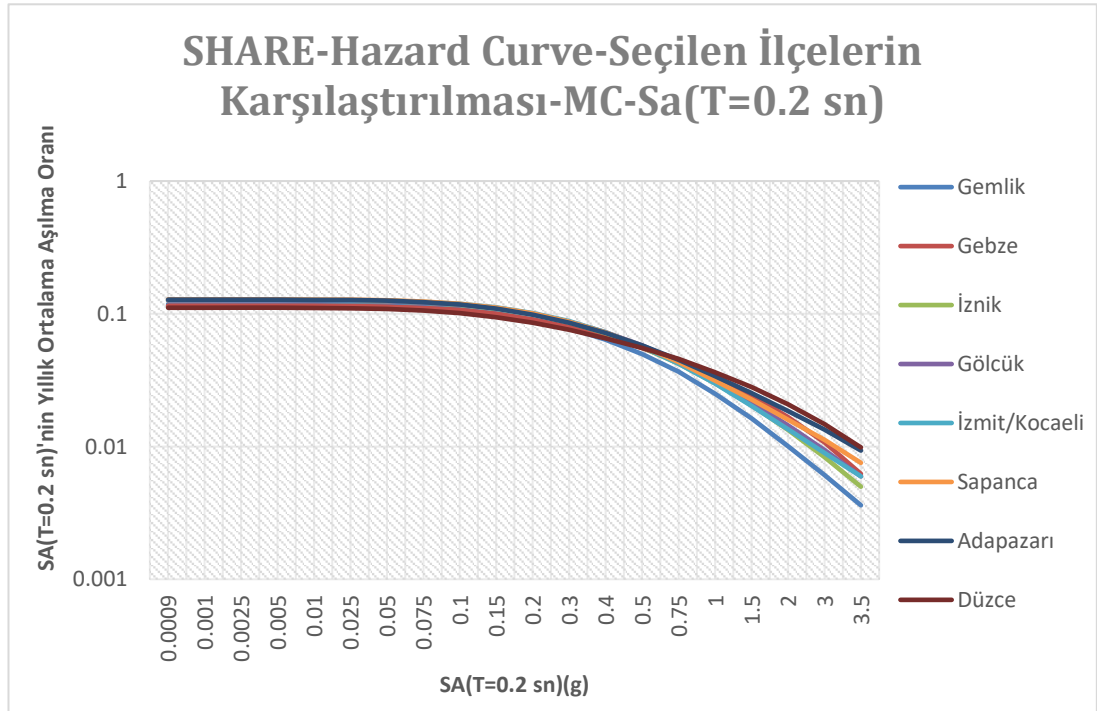


Şekil 5.43: Monte Carlo yöntemine göre EMME verileri sekiz lokasyonun $S_a(1.0)(g)$ ve mean değeri için çizilmiş olan tehlike eğrisi.

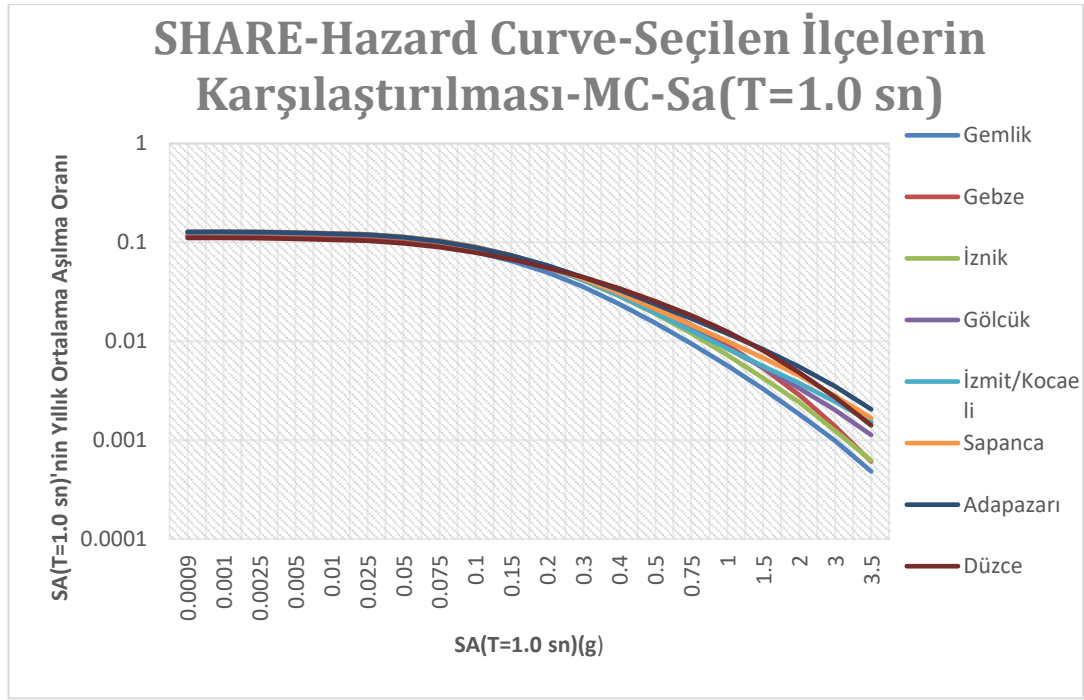
Monte Carlo yöntemiyle olasılık analizinde çıkan tehlike eğrileri şu şekilde yorumlanabilir; genel anlamda seçilen tüm lokasyonlar faylara yakın olduğundan tehlike değerleri birbirine oldukça yakın çıkmıştır. EMME verilerini göz önüne alınarak; şekil 5.41'de bulunan PGA yer hareketinde en düşük değer Gebze'de en yüksek değer ise Adapazarı'nda; şekil 5.42'de bulunan $S_a(0.2)$ yer hareketi için en düşük değer Gebze'de en yüksek değer Adapazarı, İzmit'te; şekil 5.43'te bulunan $S_a(1.0)$ yer hareketi için en düşük değer Gebze, Düzce'de en yüksek değer ise İzmit'te çıkmıştır.



Şekil 5.44: Monte Carlo yöntemine göre SHARE verileri kullanılarak sekiz lokasyonun PGA (g) ve mean değeri için çizilmiş olan tehlike eğrisi.



Şekil 5.45: Monte Carlo yöntemine göre SHARE verileri kullanılarak sekiz lokasyonun Sa(0.2) (g) ve mean değeri için çizilmiş olan tehlike eğrisi.



Şekil 5.46: Monte Carlo yöntemine göre SHARE verileri sekiz lokasyonun $Sa(1.0)(g)$ ve mean değeri için çizilmiş olan tehlike eğrisi.

Seçilen tüm lokasyonlar faylara yakın olduğundan tehlike değerleri birbirine oldukça yakın çıkmıştır. SHARE verilerini göz önüne alarak; şekil 5.44'te bulunan PGA yer hareketinde en düşük değer Gemlik'te en yüksek değer ise Adapazarı sonrasında Düzce'de; şekil 5.45'te bulunan $Sa(0.2)$ yer hareketi için en düşük değer Gemlik'te en yüksek değer Düzce sonrasında Adapazarı'nda; şekil 5.46'da bulunan $Sa(1.0)$ yer hareketi için en düşük değer Gemlik'te en yüksek değer ise Adapazarı'nda çıkmıştır.

Genel olarak fay üzerinde bulunan lokasyonlardaki tehlike eğrilerinde bulunan değerler diğerlerine nispeten büyük çıkmıştır. Faydan uzak olanlarda ise daha düşük tehlike değerleri gözlenmiştir.

5.3.2. Monte Carlo Yöntemine Göre Olasılıksal Deprem Tehlike Analizinin Tehlike Haritaları

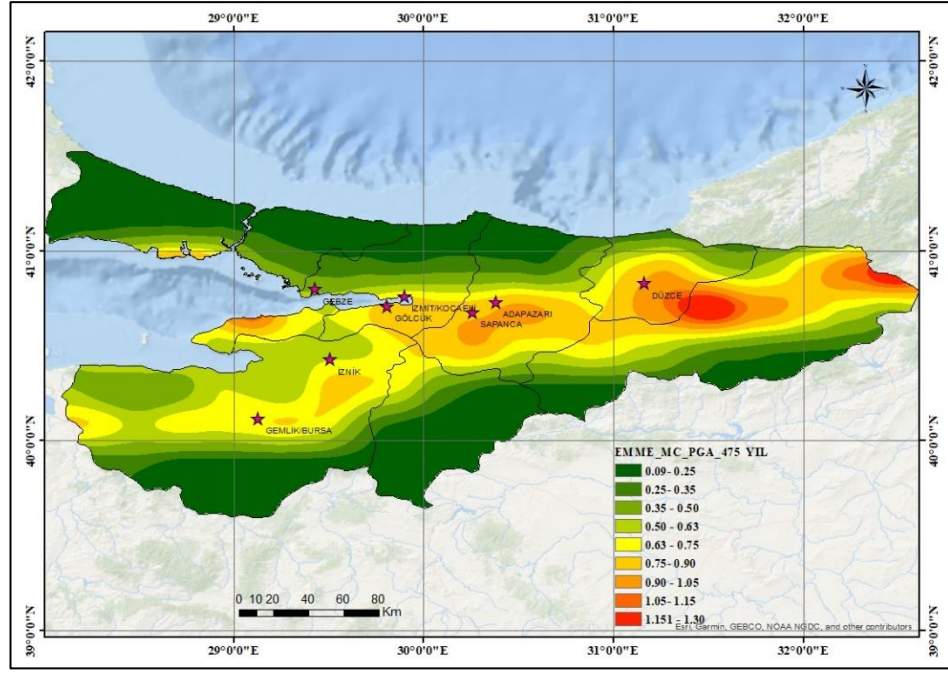
MC yöntemine göre olasılıksal deprem tehlike haritaları 50 yılda aşılma olasılığı %10 (475 yıllık dönüşüm periyodu) ve 50 yılda aşılma olasılığı %2 olan (2475 yıllık dönüşüm periyodu) için ana kayada ($V_{s30}=760$ m/sn) PGA, $Sa(T=0.2)$, $Sa(T=1.0)$ yer hareketleri için oluşturulmuştur. EMME ve SHARE verileri ile ayrı ayrı haritalar

oluşturulmuştur. Çalışma alanı 0.2° lik gridlere ayrılarak oluşturulan alanda yapılmıştır. Genellikle fayların olduğu çizgi üzerinde harita kırmızı renge doğru giderek değerlerinin yükseldiği gözlenmiştir.

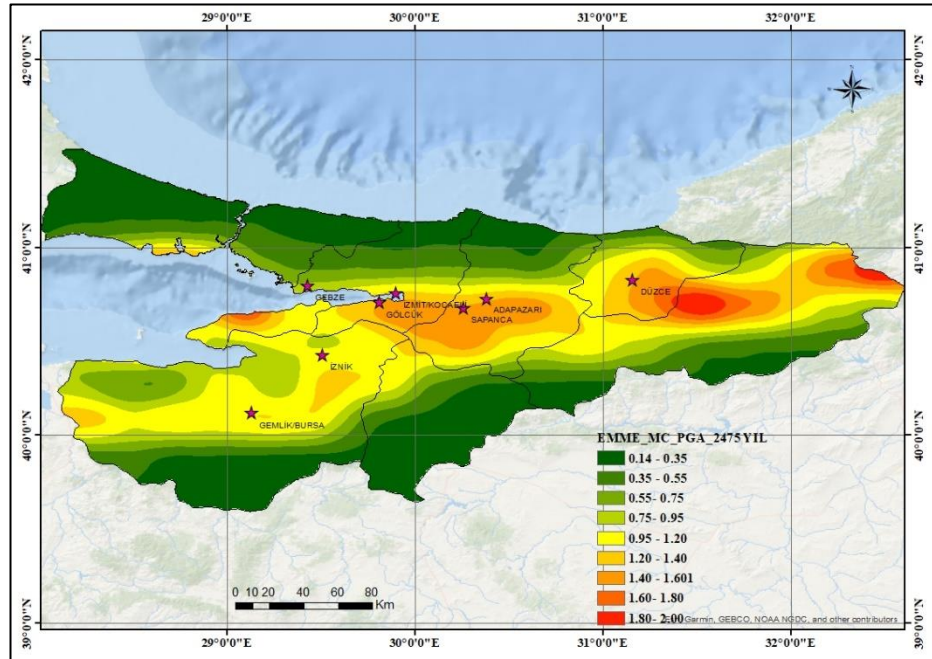
PGA için, 50 yılda aşılma olasılığı %10 (475 yıllık dönüşüm periyodu) ve 50 yılda aşılma olasılığı %2 olan (2475 yıllık dönüşüm periyodu) için ana kayada ($V_{s30}=760$ m/sn) hesaplanan tehlike haritaları EMME verileri ile yapılan analiz şekil 5.47-5.48 ve SHARE verileri ile yapılan analiz şekil 5.53-5.54'te gösterilmiştir. 475 yıllık dönüşüm periyodu için EMME haritasından PGA değeri en yüksek 1.0-1.30 (g) aralığında iken SHARE haritasından 0.88-0.95 (g) aralığındadır. 2475 yıllık dönüşüm periyodu içinse EMME verileriyle PGA değeri 1.80-2.0 (g) aralığında iken SHARE verileri ile de 2.0-2.4 (g) aralığındadır.

$S_a(T=0.2)$ için, 50 yılda aşılma olasılığı %10 (475 yıllık dönüşüm periyodu) ve 50 yılda aşılma olasılığı %2 olan (2475 yıllık dönüşüm periyodu) için ana kayada ($V_{s30}=760$ m/sn) hesaplanan tehlike haritaları EMME verileri ile yapılan analiz şekil 5.49-5.50 ve SHARE verileri ile yapılan analiz şekil 5.55-5.56'da gösterilmiştir. 475 yıllık dönüşüm periyodu için EMME haritasından $S_a(0.2)$ değeri en yüksek 2.85-3.10 (g) aralığında iken SHARE haritasından 1.90-2.12 (g) aralığındadır. 2475 yıllık dönüşüm periyodu içinse EMME verileriyle $S_a(0.2)$ değeri 3.30-3.75 (g) aralığında iken SHARE verileri ile de 3.35-3.71 (g) civarındadır.

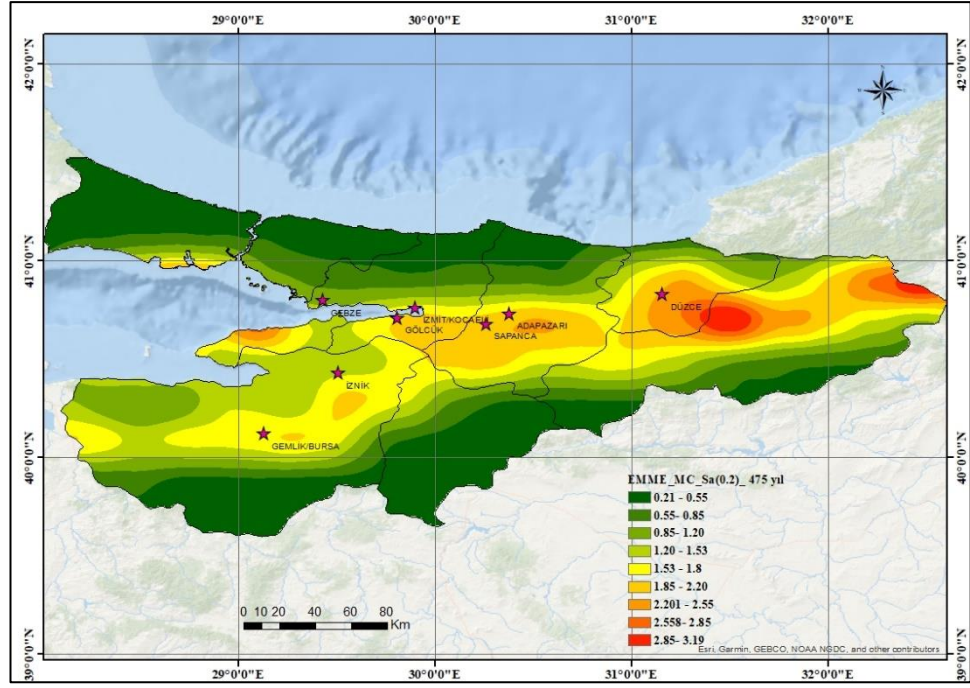
$S_a(T=1.0)$ için, 50 yılda aşılma olasılığı %10 (475 yıllık dönüşüm periyodu) ve 50 yılda aşılma olasılığı %2 olan (2475 yıllık dönüşüm periyodu) için ana kayada ($V_{s30}=760$ m/sn) hesaplanan tehlike haritaları EMME verileri ile yapılan analiz şekil 5.51-5.52 ve SHARE verileri ile yapılan analiz şekil 5.57-5.58'de gösterilmiştir. 475 yıllık dönüşüm periyodu için EMME haritasından $S_a(1.0)$ değeri en yüksek 0.78-0.85 (g) aralığında iken SHARE haritasından 0.64-0.71 (g) aralığındadır. 2475 yıllık dönüşüm periyodu içinse EMME verileriyle $S_a(1.0)$ değeri 1.33-1.47 (g) aralığında iken SHARE verileri ile de 1.63-1.81 (g) seviyelerindedir.



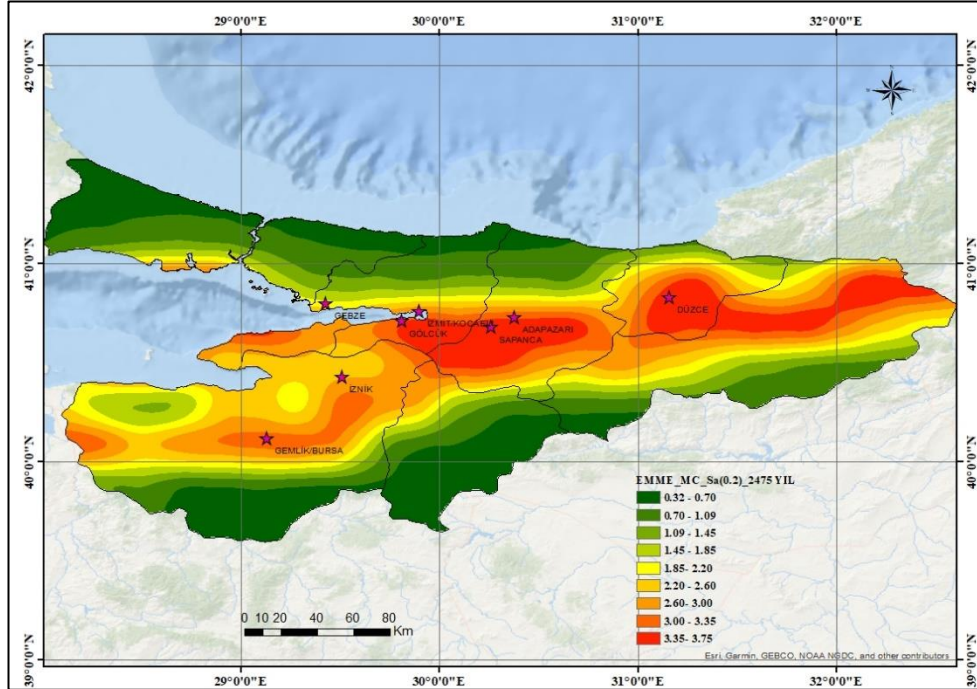
Şekil 5.47: Monte Carlo yöntemiyle EMME verileri kullanılarak oluşturulan olasılıksal deprem tehlike haritasının 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan tehlike seviyesinin PGA (g) değerleri.



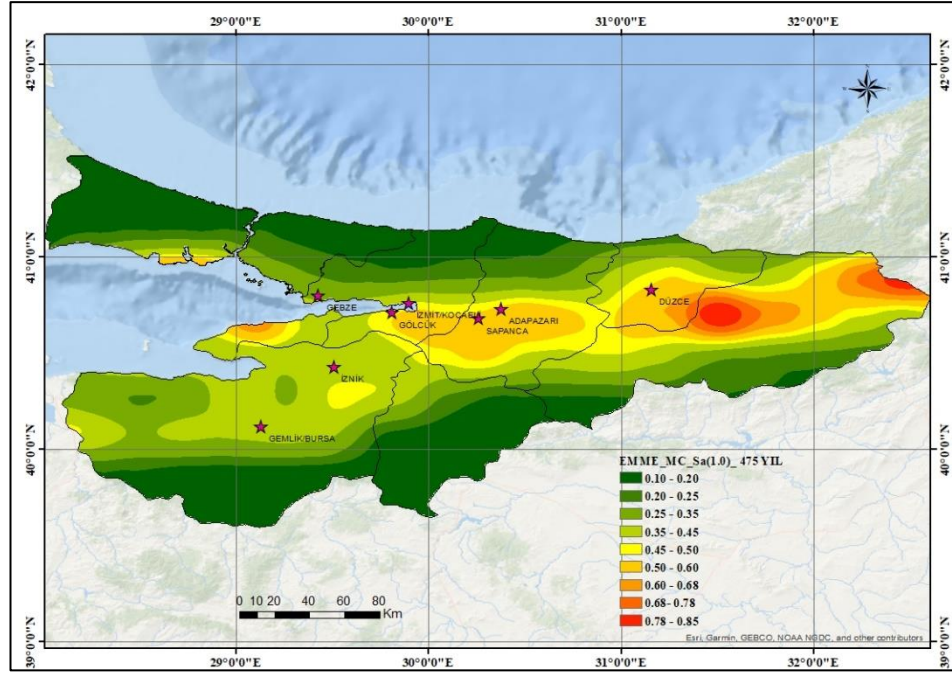
Şekil 5.48: Monte Carlo yöntemiyle EMME verileri kullanılarak oluşturulan olasılıksal deprem tehlike haritasının 50 yılda aşılma olasılığı %2 olan tehlike seviyesinin PGA (g) değerleri.



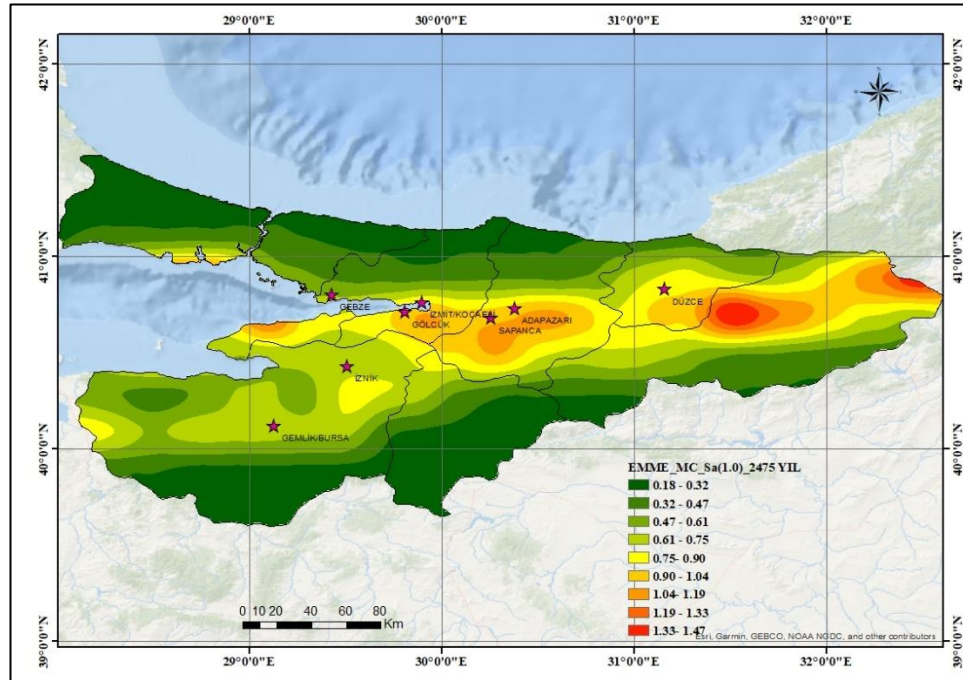
Şekil 5.49: Monte Carlo yöntemiyle EMME verileri kullanılarak oluşturulan olasılıksal deprem tehlike haritasının 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan tehlike seviyesinin Sa(0.2) (g) değerleri.



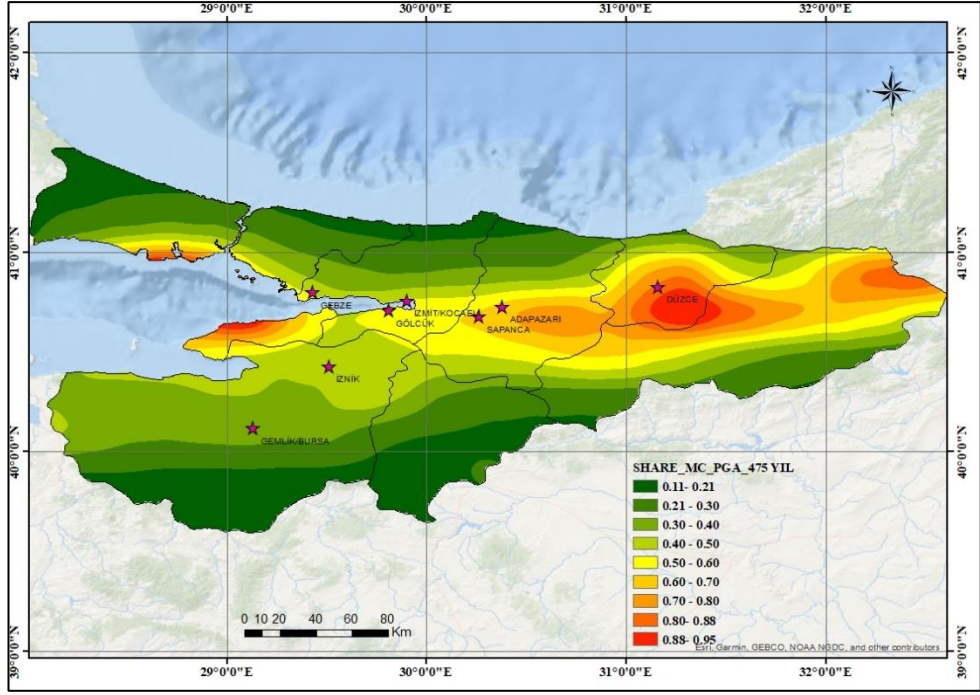
Şekil 5.50: Monte Carlo yöntemiyle EMME verileri kullanılarak oluşturulan olasılıksal deprem tehlike haritasının 50 yılda aşılma olasılığı %2 olan tehlike seviyesinin Sa(0.2) (g) değerleri.



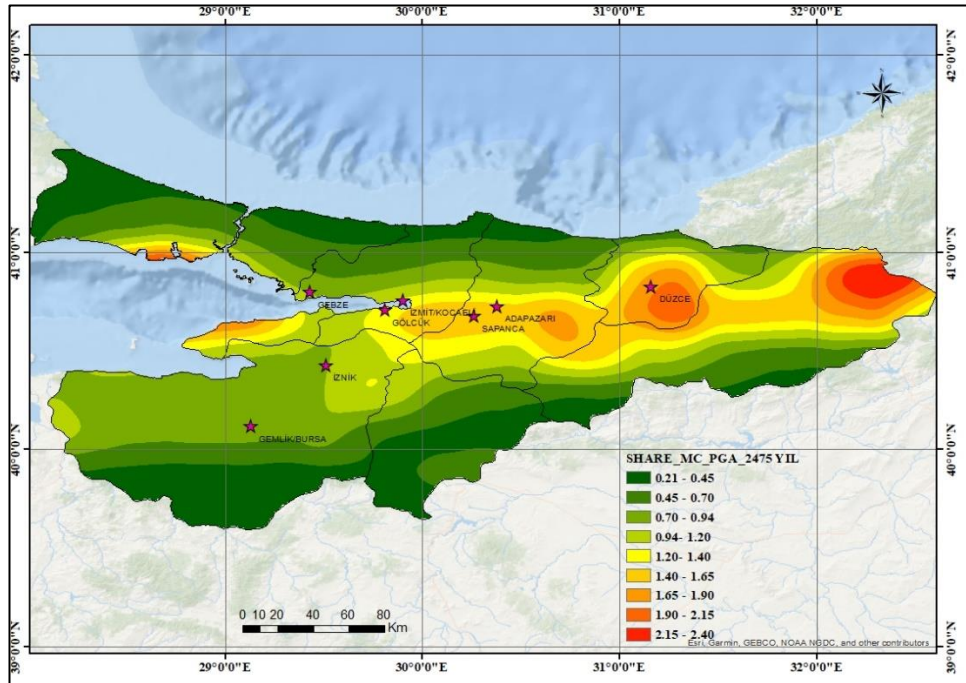
Şekil 5.51: Monte Carlo yöntemiyle EMME verileri kullanılarak oluşturulan olasılıksal deprem tehlike haritasının 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan tehlike seviyesinin $S_a(1.0)$ (g) değerleri.



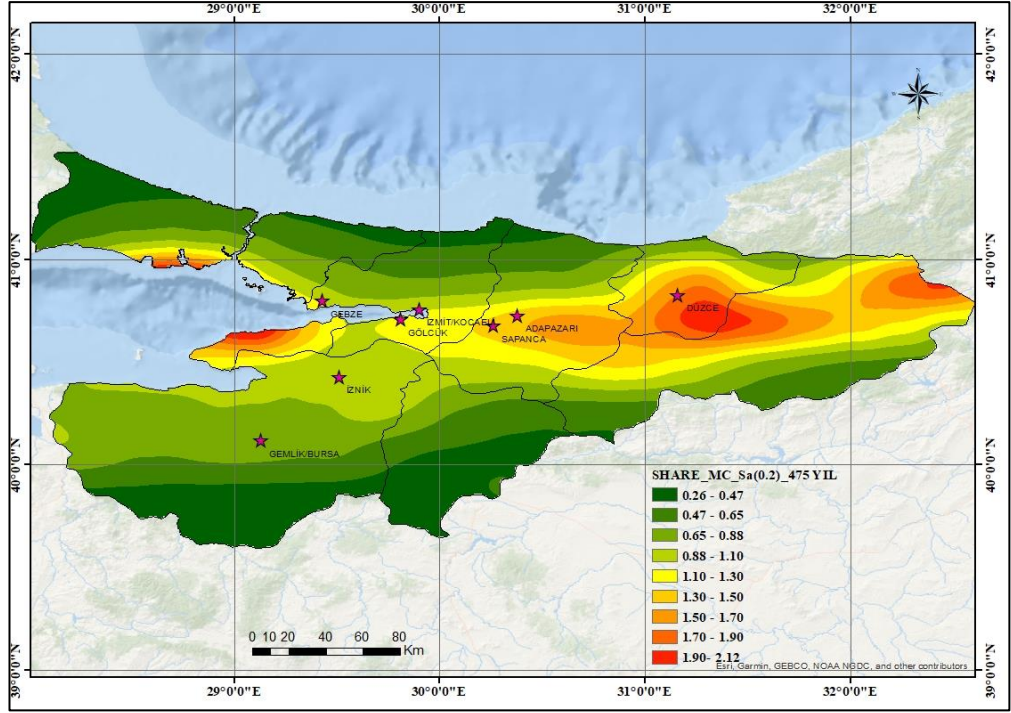
Şekil 5.52: Monte Carlo yöntemiyle EMME verileri kullanılarak oluşturulan olasılıksal deprem tehlike haritasının 50 yılda aşılma olasılığı %2 olan tehlike seviyesinin $S_a(1.0)$ (g) değerleri.



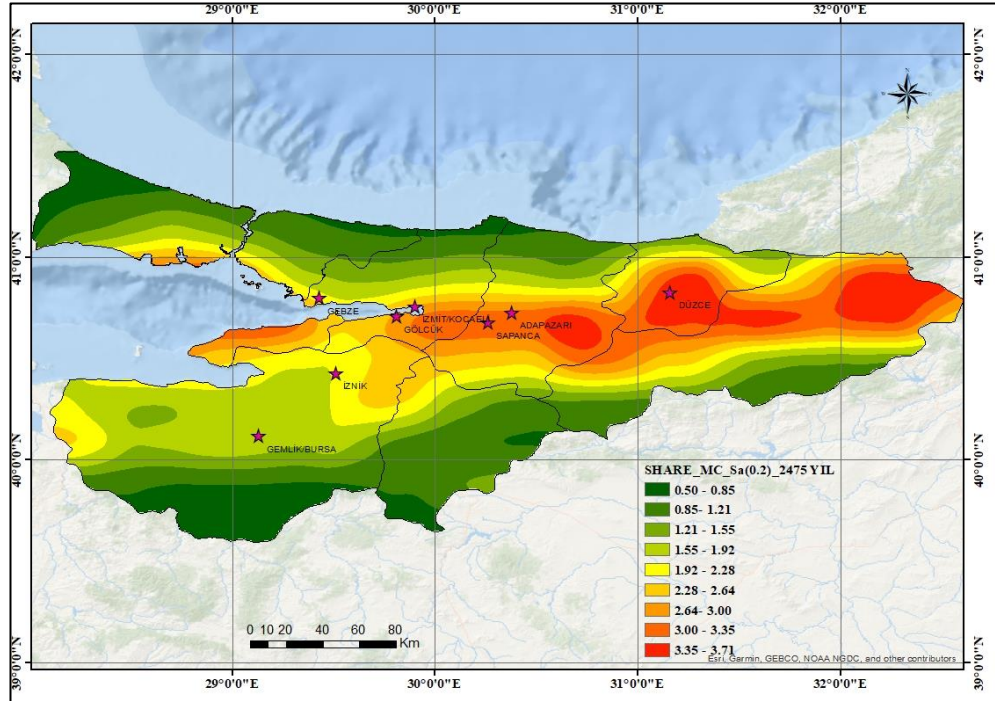
Şekil 5.53: Monte Carlo yöntemiyle SHARE verileri kullanılarak oluşturulan olasılıksal deprem tehlike haritasının 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan tehlike seviyesinin PGA (g) değerleri.



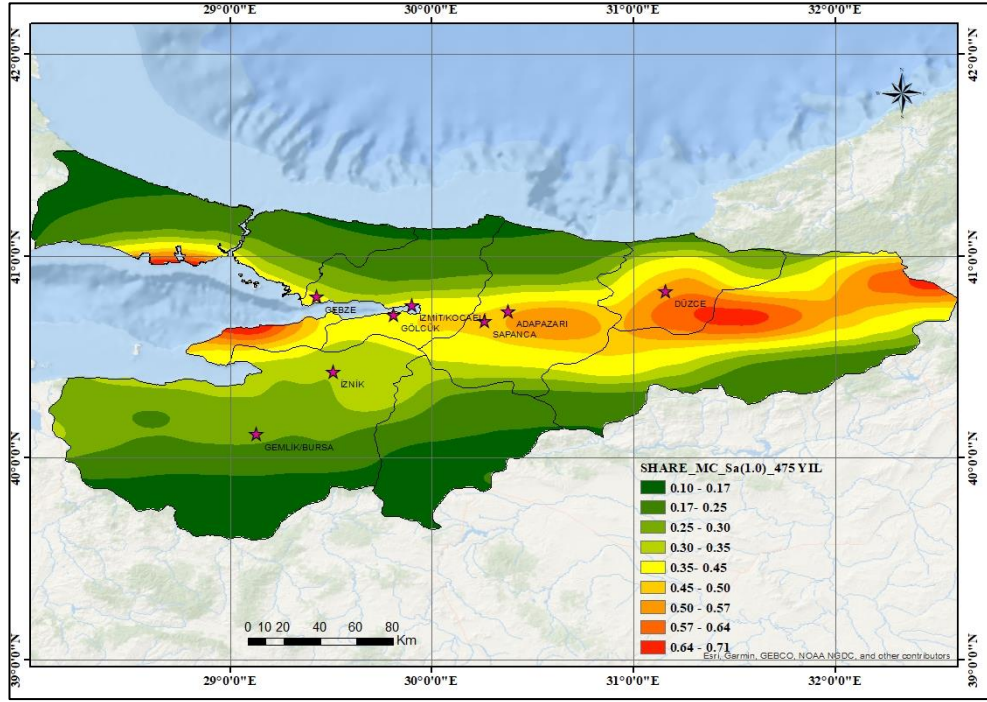
Şekil 5.54. Monte Carlo yöntemiyle SHARE verileri kullanılarak oluşturulan olasılıksal deprem tehlike haritasının 50 yılda aşılma olasılığı %2 olan tehlike seviyesinin PGA (g) değerleri.



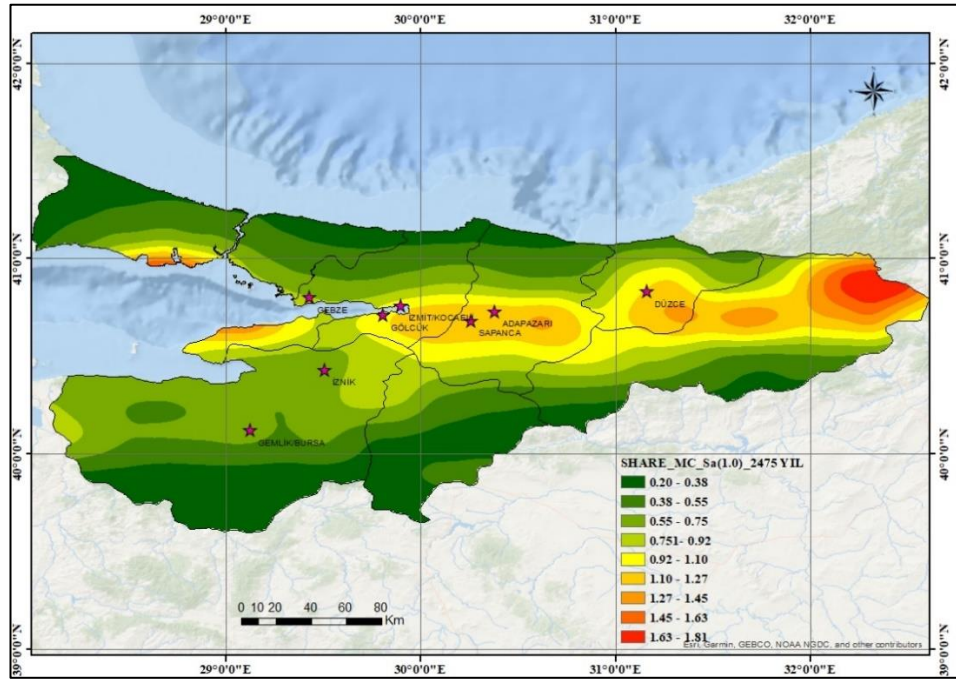
Şekil 5.55: Monte Carlo yöntemiyle SHARE verileri kullanılarak oluşturulan olasılıksal deprem tehlike haritasının 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan tehlike seviyesinin $S_a(0.2)$ (g) değerleri.



Şekil 5.56: Monte Carlo yöntemiyle SHARE verileri kullanılarak oluşturulan olasılıksal deprem tehlike haritasının 50 yılda aşılma olasılığı %2 olan tehlike seviyesinin $S_a(0.2)$ (g) değerleri.



Şekil 5.57: Monte Carlo yöntemiyle SHARE verileri kullanılarak oluşturulan olasılıksal deprem tehlike haritasının 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan tehlike seviyesinin $S_a(1.0)$ (g) değerleri.



Şekil 5.58: Monte Carlo yöntemiyle SHARE verileri kullanılarak oluşturulan olasılıksal deprem tehlike haritasının 50 yılda aşılma olasılığı %2 olan tehlike seviyesinin $S_a(1.0 \text{ sn})$ (g) değerleri.

6. ÖZET VE SONUÇLAR

Türkiye, Azor Adalarından başlayan ve Güneydoğu Asya'ya kadar uzanan önemli deprem kuşaklarından biri olan Alp-Himalaya deprem kuşağında bulunmaktadır. Yerkürenin en karmaşık yerlerinden biri olan ve yüksek depremselliği ile önem arz eden Türkiye güneyde, kuzey ve kuzey-batıya hareket eden Arap ve Afrika plakaları ile kuzeydeki Avrasya plakaları arasında bulunmaktadır [Özmen, 2000]. Plakaların sıkıştırması ile batıya doğru harekete zorlanan Anadolu plakası hareketi, batıda Ege plakası tarafından doldurulunca bölgede Kuzey-Güney yönlü genişleme, Ege Grabenleri, oluşmuştur. Türkiye'de meydana gelen depremlerin büyük çoğunluğu Anadolu plakasının çevresindeki plakalara sınır bölgelerde oluşmuştur. Bu zonlar Doğu Anadolu Fayı, Kuzey Anadolu Fayı, Ege Grabenleri, Güneydoğu Anadolu Bindirme Kuşağı şeklindedir bulunmaktadır [Özmen, 2000]. Sismik aktivitesi bu kadar yüksek olan Türkiye için insan yaşamı ve yapı güvenliği için deprem tehlikesi oldukça önemli bir yere oturmaktadır.

Bu tez kapsamında İzmit/Kocaeli'ni merkez almak üzere Doğu Marmara bölgesinde deprem tehlikesi analizi çalışması yürütüldü. Çalışmada Klasik olasılıksal tehlike analizi, deterministik analiz ve tezin ana konusu olan Monte Carlo yöntemiyle olasılıksal tehlike analizi yapılmıştır. Tüm analizler OpenQuake [Crowley et al., 2015] yazılımı kullanılarak yapılmıştır. Klasik olasılıksal yöntemle bir alternatif olan MC yöntemi, ilgili tüm bölgelerde yer hareketi üretmek için birden fazla deprem senaryosunun simülesine dayanır. Bir bölgenin deprem tehlikesinde simüle edilerek dikkate alınması belirsizliklerin belirlenmesinde daha iyi olabilir. Sismik tehlikenin ana bileşenleri kaynak karakterizasyonu ve yer hareketi denklem modelleridir. Bunların uygunluğu belirsizlikleri azaltıp daha hassas analiz sonuçlarının çıkmasına olanak tanıyacaktır.

Bu çalışmada kullanılan kaynak modelleri belirlenen bölge içerinden kalan SHARE ve EMME kaynak modelleridir. Bu iki uluslararası çalışmada belirlenen kaynak verilerinden çizgi kaynak göz önüne alınarak analizler yapılmıştır. Çalışma bölgesi içinden 46 EMME çizgi kaynağı mevcut iken, 42 de SHARE çizgi kaynağı mevcuttur. Kaynaklar için tekerrür modellerin Kesilmiş Üssel Model olan Gutenberg-Richter (G-R) (1944) modeli kullanılmıştır. Bu modelde kullanılan kaynakların M_{min} ve M_{max} değerleri için, EMME'de magnitüd büyükleri $M_{min}= 5.5$, $M_{max}=6.4- 7.6$

arasında; SHARE’de ise $M_{min}=6.4$, $M_{max}=6.8-7.8$ arasında değişmektedir. EMME ve SHARE projelerinden alınan, G-R parametleri olan a ve b değerleri de her bir kaynak için değişmektedir. SHARE ve EMME de bu değerlerin değişmesi kullanılan katalogların farklılık göstermesindendir. EMME için kullanılan azalım ilişkileri; Akkar vd.,2014 (0.35), Akkar ve Cagnan, 2010 (0.2), Chiou ve Youngs, 2008 (0.35), Zhao vd., 2006 (0.1) şeklindedir. SHARE için kullanılan azalım ilişkileri; Cauzzi ve Faccioli, 2008 (0.35), Akkar ve Bommer, 2010 (0.35),), Chiou ve Youngs, 2008 (0.2), Zhao vd., 2006 (0.1) şeklindedir. Mantık ağacında kullanılan ağırlıkları da parantez içinde verilmiştir. Klasik olasılıksal yöntem ve Monte Carlo yöntemiyle olasılıksal yöntemde aynı azalım ilişkileri ve ağırlıkları kullanılmıştır. Deterministik analiz için ise NGA WEST 2 azalım ilişkileri olan; Abrahamson vd., 2014, Boore vd., 2014, Chiou ve Youngs, 2014, Campbell ve Bozorgnia, 2014, Idriss, 2014 kullanılmıştır.

Tehlike eğrileri, seçilen sekiz lokasyonun (Gemlik, Gebze, İzmit, Gölcük, Sapanca, Adapazarı, Düzce) PGA, S_a (0.2) ve S_a (1.0) spektral periyotlar ve kaya zemin ($V_{s30}= 760$ m/sn) kabulü ile hesaplamalar yapılarak bulunmuştur. EMME ve SHARE fay verileri ayrı ayrı göz önüne alınmıştır. Deprem tehlike haritaları ise 50 yılda aşılma olasılığı %10 (475 yıllık dönüşüm periyodu) ve 50 yılda aşılma olasılığı %2 olan (2475 yıllık dönüşüm periyodu) için ana kayada ($V_{s30}=760$ m/sn) PGA, $S_a(T=0.2)$, $S_a(T=1.0)$ yer hareketleri için oluşturulmuştur. EMME ve SHARE verileri ile ayrı ayrı haritalar oluşturulmuştur.

Tez kapsamında EMME ve SHARE verileri yapılmış olan Klasik olasılıksal tehlike analizi ile Monte Carlo yöntemiyle olasılıksal tehlike analizleri belirlenmiş olan lokasyonlarda (Gemlik, Gebze, İzmit, Gölcük, Sapanca, Adapazarı, Düzce) TBDY 2018 deprem tehlike haritası ile karşılaştırılmıştır. Karşılaşmada alınan değerler 50 yılda aşılma olasılığı %10 (475 yıllık dönüşüm periyodu), kaya zemin ($V_{s30}=760$ m/sn) içindir. Bu karşılaştırma tablo 6.1’de verilmiştir. SHARE verileri ile yapılan analiz değerleri ile TBDY 2018 değerleri birbiriyle oldukça uyumlu olduğu gözlenmiştir. EMME verileri ile yapılan analiz değerlerinde ise TBDY 2018’e göre Gemlik, İzmit, Düzce’nin daha büyük çıktığı görülmüştür. Bu farklılığın nedenleri, bölgedeki kaynağın daha fazla olması, kullanılan azalım ilişkisi farklılığı, katalog farklılığı gibi nedenlerden olabileceği düşünülmüştür.

Tablo 6.1: a), b), c) Tez kapsamında yapılan analizlerle TBDY 2018 verilerinin PGA, Sa(0.2),Sa(1.0) değerlerinin karşılaştırılması.

İlçe	lon	lat	TEZ_EMME_PSHA_DEGERLERİ			TEZ_EMME_MC_DEGERLERİ		
			PGA(g)	SA(0.2)(g)	SA(1.0)(g)	PGA(g)	SA(0.2)(g)	SA(1.0)(g)
GEMLİK	29.1	40.1	0.716	1.762	0.394	0.722	1.772	0.394
GEBZE	29.3	40.9	0.362	0.852	0.283	0.363	0.860	0.287
İZNİK	29.5	40.3	0.786	1.852	0.457	0.778	1.866	0.459
GÖLCÜK	29.7	40.7	0.728	1.675	0.440	0.728	1.680	0.448
İZMİT	29.9	40.7	0.861	2.004	0.528	0.866	1.988	0.529
SAPANCA	30.3	40.7	0.838	1.974	0.525	0.843	2.021	0.531
ADAPAZARI	30.5	40.7	0.939	2.219	0.584	0.945	2.212	0.589
DÜZCE	31.1	40.9	0.777	1.884	0.448	0.774	1.893	0.448

a)

İlçe	lon	lat	TEZ_SHARE_PSHA_DEGERLERİ			TEZ_SHARE_MC_DEGERLERİ		
			PGA(g)	SA(0.2)(g)	SA(1.0)(g)	PGA(g)	SA(0.2)(g)	SA(1.0)(g)
GEMLİK	29.1	40.1	0.350	0.776	0.265	0.348	0.778	0.262
GEBZE	29.3	40.9	0.433	0.952	0.326	0.432	0.959	0.326
İZNİK	29.5	40.3	0.412	0.894	0.301	0.411	0.905	0.303
GÖLCÜK	29.7	40.7	0.513	1.105	0.394	0.501	1.095	0.385
İZMİT	29.9	40.7	0.575	1.212	0.442	0.569	1.200	0.442
SAPANCA	30.3	40.7	0.628	1.344	0.477	0.620	1.365	0.478
ADAPAZARI	30.5	40.7	0.710	1.525	0.537	0.714	1.543	0.547
DÜZCE	31.1	40.9	0.683	1.454	0.455	0.684	1.449	0.453

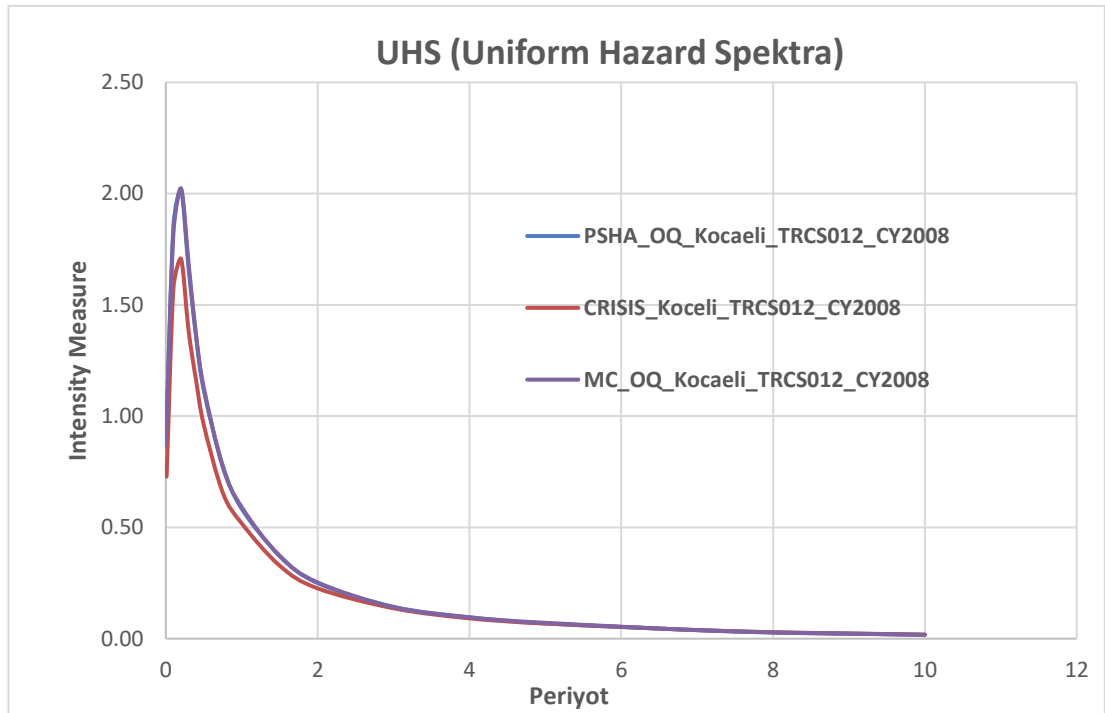
b)

İlçe	lon	lat	TBDY2018_DEGERLERİ		
			PGA(g)	SA (0.2)(g)	SA (1.0)(g)
GEMLİK	29.1	40.1	0.33	0.716	0.173
GEBZE	29.3	40.9	0.409	0.897	0.224
İZNİK	29.5	40.3	0.337	0.725	0.181
GÖLCÜK	29.7	40.7	0.668	1.468	0.356
İZMİT	29.9	40.7	0.72	1.589	0.381
SAPANCA	30.3	40.7	0.698	1.543	0.376
ADAPAZARI	30.5	40.7	0.718	1.587	0.383
DÜZCE	31.1	40.9	0.489	1.068	0.261

c)

Verilerin doğruluğu tekrar kontrol etmek ve programları karşılaştırmak adına CRISIS 2015 [Ordaz, Mario (II-UNAM, 2015)] ve OpenQuake [Crowley et al., 2015] yazılımlarında analizler yapılmıştır. OpenQuake ve CRISIS 2015 yapılan analizde tek bir kaynak ve tek azalım ilişkisi kullanılmış olup mantık ağacı kullanılmamıştır. Kaynak olarak 1999-İzmit Depremi kaynağı, azalım ilişkisi olarak da Chiou ve Youngs, 2008 modeli kullanılmıştır. OpenQuake yazılımında Klasik ve Monte Carlo

yöntemine göre analizler yapılmış olup, CRISIS 2015’de Klasik olasılıksal yöntem yapılmıştır. Tekerrür modeli olarak Kesilmiş Üssel Model olan Gutenberg-Richter (G-R) (1944) kullanılmıştır. $M_{min}=5.5$ $M_{max}=7.5$ olarak alınmıştır. G_R parametleri olan $b=0.750384$, $a=2.93401$ olarak alınmıştır. (Bu değerler EMME’de tanımlanan İzmit deprem kaynağının değerleridir). Bunların ışığında yapılan analizlerde uniform tehlike spektrumu çizilmiştir (şekil 6.1). Spektrumda da görüleceği gibi iki yazılımda da yapılan analizler birbiriyle oldukça uyumlu olduğu görülmektedir.

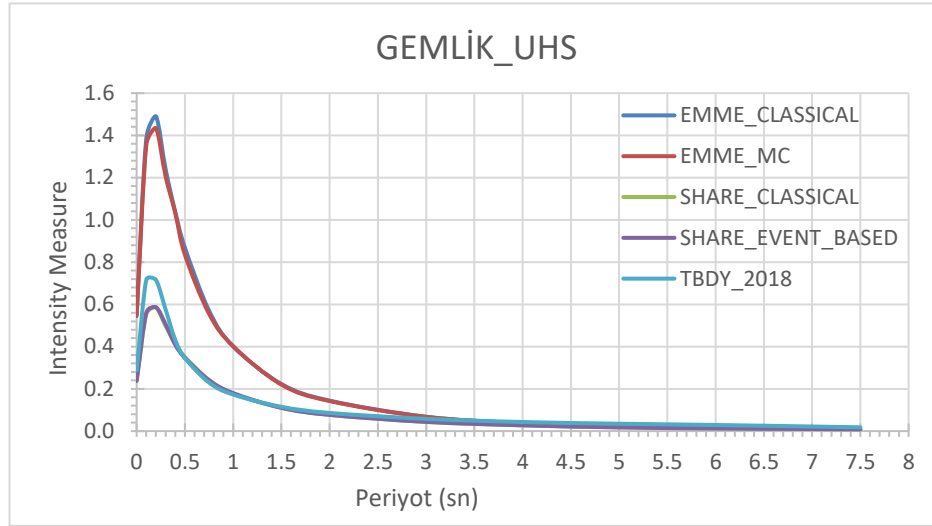


Şekil 6.1: Kocaeli için OpenQuake ve Crisis 2015’te yapılan analizler sonucu çizilen uniform tehlike spektrumu.

Çalışmada sekiz lokasyon için EMME Klasik ODTA, EMME Monte Carlo deprem tehlike analizi, SHARE Klasik ODTA, SHARE Monte Carlo deprem tehlike analizi ve TBDY 2018’den alınan veriler ile spektrumları çizilerek karşılaştırılmaya çalışılmıştır. Bu spektrumlar için CY14 Chiou ve Youngs, (2014) azalım ilişkisi kullanılmış ve analizler V_{s30} (760 m/sn) kaya zeminde kabulü ile OpenQuake yazılımı kullanılarak yapılmıştır. Oluşturulan spektrumlar aşağıda şekil 6.2-6.9 ‘da gösterilmiştir.

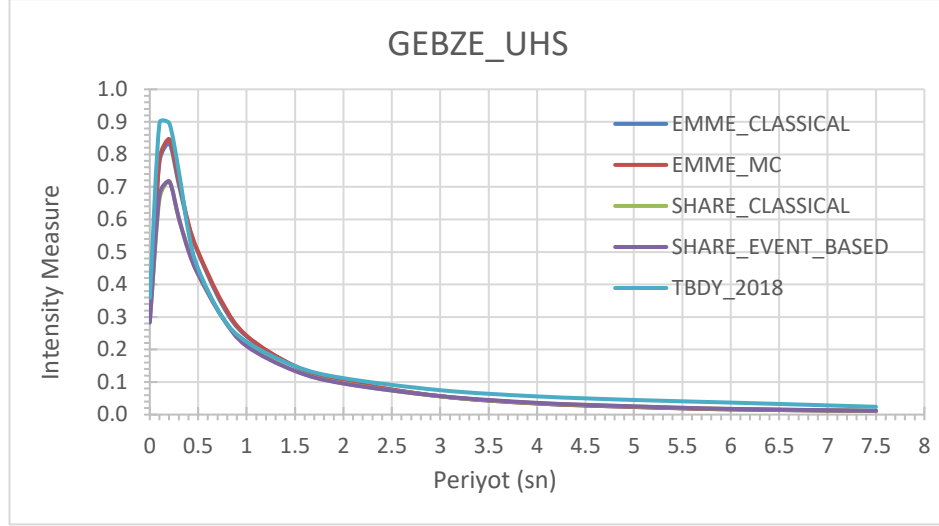
Gemlik bölgesinde en büyük değer, EMME analizleri sonucunda görülmüştür ayrıca EMME Klasik ODTA ve EMME Monte Carlo yönteminde ki analiz sonuçları

birbiriyle örtüşmektedir. En büyük değerin EMME analizlerinde görülmesinin nedeni o bölgede EMME kaynaklarının daha fazla olduğu düşünülmektedir. TBDY 2018, SHARE analizlerine daha yakın çıkmıştır. Bu analizler içinde en küçük değer SHARE analizinde görülmüştür ve aynı şekilde SHARE Klasik ODTA ile SHARE Monte Carlo yönteminde ki analiz sonuçları birbiriyle örtüşmektedir.



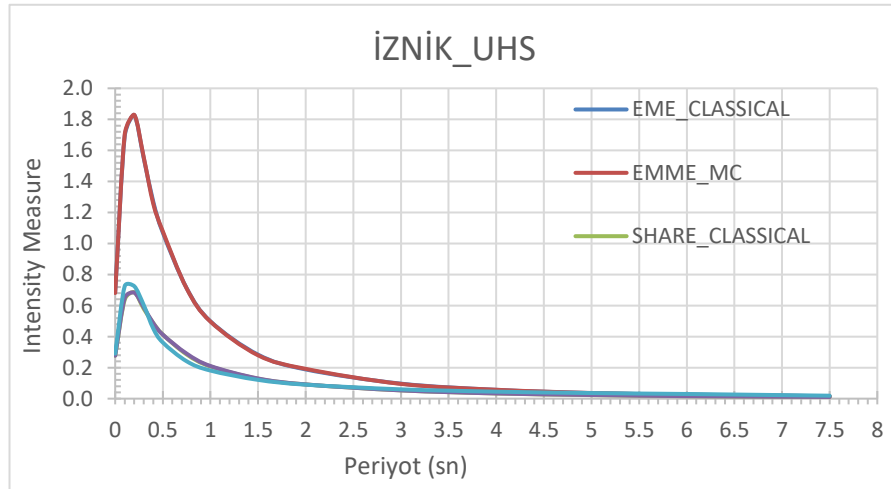
Şekil 6.2: EMME Klasik ODTA, EMME Monte Carlo Yöntemi, SHARE Klasik ODTA, SHARE Monte Carlo Yöntemi ve TBDY 2018' de verileri ile yapılan analizler sonucu Gemlik için oluşturulan karşılaştırma spektrumu.

Gebze bölgesinde en büyük değer, TBDY 2018 sonucunda görülmüştür. EMME Klasik ODTA ve EMME Monte Carlo yönteminde ki analiz sonuçları birbiriyle örtüşmektedir. Bu analizler içinde en küçük değer SHARE analizinde görülmüştür ve aynı şekilde SHARE Klasik ODTA ile SHARE Monte Carlo yönteminde ki analiz sonuçları birbiriyle örtüşmektedir.



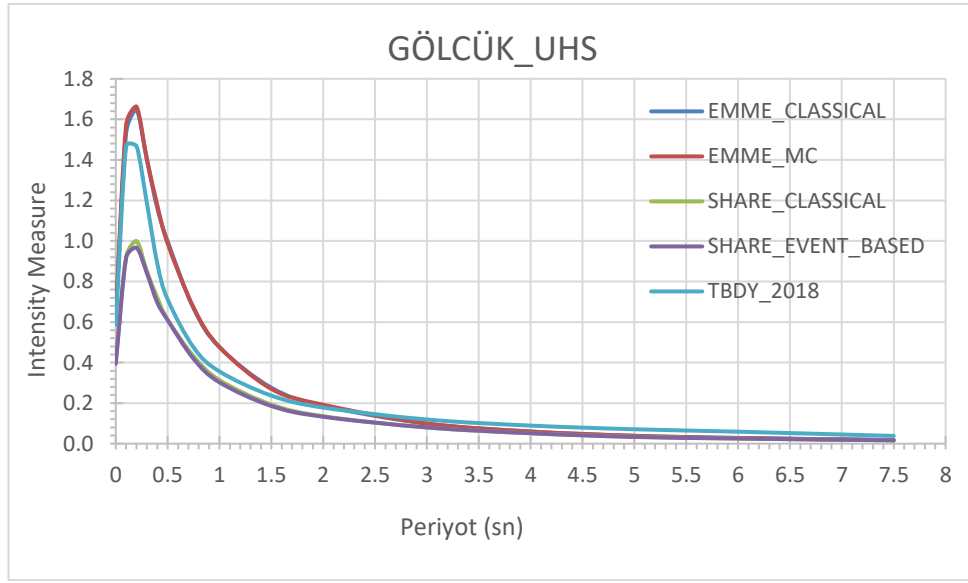
Şekil 6.3: EMME Klasik ODTA, EMME Monte Carlo Yöntemi, SHARE Klasik ODTA, SHARE Monte Carlo Yöntemi ve TBDY 2018' de verileri ile yapılan analizler sonucu Gebze için oluşturulan karşılaştırma spektrumu.

İznik bölgesinde en büyük değer, EMME analizleri sonucunda görülmüştür. Ayrıca EMME Klasik ODTA ve EMME Monte Carlo yönteminde ki analiz sonuçları birbirleriyle örtüşmektedir. En büyük değer EMME analizlerinde görülmesinin nedeni o bölgede EMME kaynaklarından birinin üzerinde olduğundan dolayı olduğu düşünülmektedir. TBDY 2018, SHARE analizleri neredeyse aynı çıkmıştır. Aynı şekilde SHARE Klasik ODTA ile SHARE Monte Carlo yönteminde ki analiz sonuçları birbirleriyle örtüşmektedir.



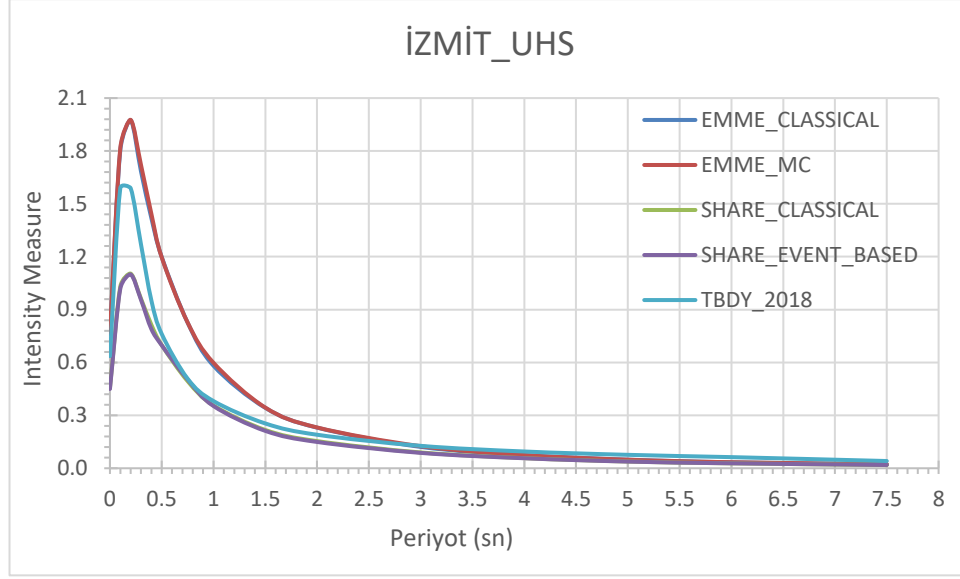
Şekil 6.4: EMME Klasik ODTA, EMME Monte Carlo Yöntemi, SHARE Klasik ODTA, SHARE Monte Carlo Yöntemi ve TBDY 2018' de verileri ile yapılan analizler sonucu İznik için oluşturulan karşılaştırma spektrumu.

Gölcük bölgesinde en büyük değer, EMME analizleri sonucunda görülmüştür ayrıca EMME Klasik ODTA ve EMME Monte Carlo yönteminde ki analiz sonuçları birbiriyle örtüşmektedir. TBDY 2018, EMME analizlerine daha yakın çıkmıştır. Bu analizler içinde en küçük değer SHARE analizinde görülmüştür ve aynı şekilde SHARE Klasik ODTA ile SHARE Monte Carlo yönteminde ki analiz sonuçları birbiriyle örtüşmektedir.



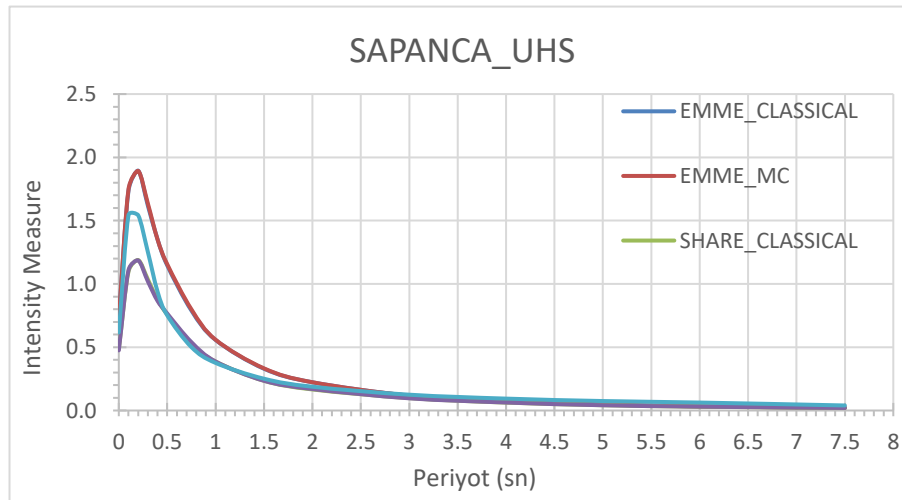
Şekil 6.5: EMME Klasik ODTA, EMME Monte Carlo Yöntemi, SHARE Klasik ODTA, SHARE Monte Carlo Yöntemi ve TBDY 2018' de verileri ile yapılan analizler sonucu Gölcük için oluşturulan karşılaştırma spektrumu.

İzmit bölgesinde en büyük değer, EMME analizleri sonucunda görülmüştür ayrıca EMME Klasik ODTA ve EMME Monte Carlo yönteminde ki analiz sonuçları birbiriyle örtüşmektedir. TBDY 2018, EMME analizlerine daha yakın çıkmıştır. Bu analizler içinde en küçük değer SHARE analizinde görülmüştür ve aynı şekilde SHARE Klasik ODTA ile SHARE Monte Carlo yönteminde ki analiz sonuçları birbiriyle örtüşmektedir.



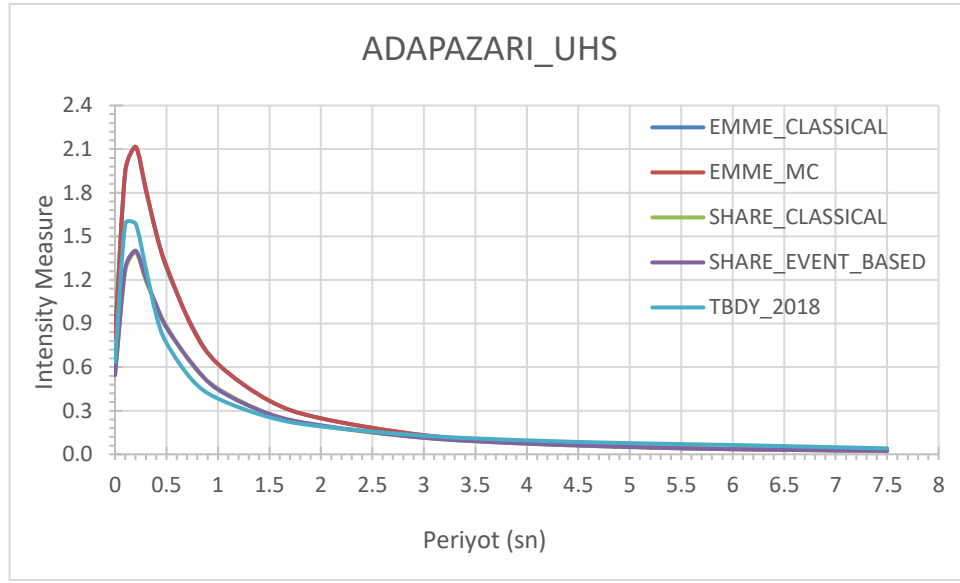
Şekil 6.6: EMME Klasik ODTA, EMME Monte Carlo Yöntemi, SHARE Klasik ODTA, SHARE Monte Carlo Yöntemi ve TBDY 2018' de verileri ile yapılan analizler sonucu İzmit için oluşturulan karşılaştırma spektrumu.

Sapanca bölgesinde en büyük değer, EMME analizleri sonucunda görülmüştür ayrıca EMME Klasik ODTA ve EMME Monte Carlo yönteminde ki analiz sonuçları birbiriyle örtüşmektedir. TBDY 2018, EMME analizlerine daha yakın çıkmıştır. Bu analizler içinde en küçük değer SHARE analizinde görülmüştür ve aynı şekilde SHARE Klasik ODTA ile SHARE Monte Carlo yönteminde ki analiz sonuçları birbiriyle örtüşmektedir.



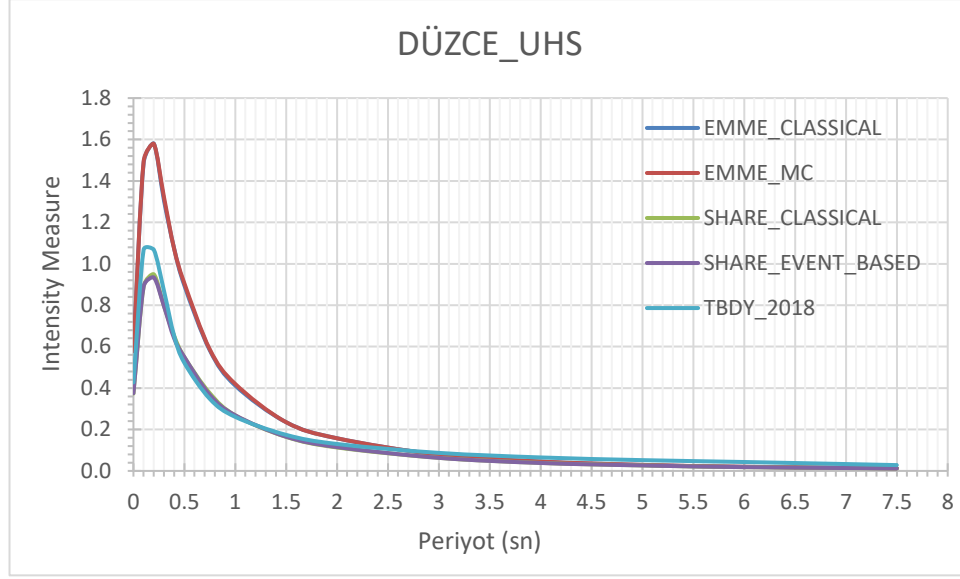
Şekil 6.7: EMME Klasik ODTA, EMME Monte Carlo Yöntemi, SHARE Klasik ODTA, SHARE Monte Carlo Yöntemi ve TBDY 2018' de verileri ile yapılan analizler sonucu Sapanca için oluşturulan karşılaştırma spektrumu.

Adapazarı bölgesinde en büyük değer, EMME analizleri sonucunda görülmüştür ayrıca EMME Klasik ODTA ve EMME Monte Carlo yönteminde ki analiz sonuçları birbiriyle örtüşmektedir. TBDY 2018, SHARE analizlerine daha yakın çıkmıştır. Bu analizler içinde en küçük değer SHARE analizinde görülmüştür ve aynı şekilde SHARE Klasik ODTA ile SHARE Monte Carlo yönteminde ki analiz sonuçları birbiriyle örtüşmektedir.



Şekil 6.8: EMME Klasik ODTA, EMME Monte Carlo Yöntemi, SHARE Klasik ODTA, SHARE Monte Carlo Yöntemi ve TBDY 2018' de verileri ile yapılan analizler sonucu Adapazarı için oluşturulan karşılaştırma spektrumu.

Düzce bölgesinde en büyük değer, EMME analizleri sonucunda görülmüştür ayrıca EMME Klasik ODTA ve EMME Monte Carlo yönteminde ki analiz sonuçları birbiriyle örtüşmektedir. TBDY 2018, SHARE analizlerine daha yakın çıkmıştır. Bu analizler içinde en küçük değer SHARE analizinde görülmüştür ve aynı şekilde SHARE Klasik ODTA ile SHARE Monte Carlo yönteminde ki analiz sonuçları birbiriyle örtüşmektedir. Düzce faylardan daha uzak olduğundan Adapazarı gibi yakın olan bölgelere göre daha küçük değerler çıkmıştır.



Şekil 6.9: EMME Klasik ODTA, EMME Monte Carlo Yöntemi, SHARE Klasik ODTA, SHARE Monte Carlo Yöntemi ve TBDY 2018' de verileri ile yapılan analizler sonucu Düzce için oluşturulan karşılaştırma spektrumu.

Tez kapsamında yapılan çalışma ile Kocaeli ve Doğu Marmara bölgesinin deprem tehlike değerlendirmesi ortaya konmuştur. Özellikle bölgede olasılıksal yaklaşımın farklı bir alternatifi olan Monte Carlo yönteminin simülasyonu yardımı ile belirsizliklerin azaltılması hedeflenmiştir. Bu çalışmada en güncel yazılımlardan biri olan OpenQuake ve bölge için geliştirilmiş en güncel veriler (EMME, SHARE, TBDY 2018) göz önüne alınmıştır. Ayrıca yapılan bu tehlike çalışması ileride bölgede yapılacak risk çalışmalarına bir altlık oluşturmuştur.

KAYNAKLAR

Abrahamson N., (2006), "Seismic hazard assessment: problems with current practice and future developments", First European Conference on Earthquake Engineering and Seismology, K2, Geneva, Switzerland, 3–8 September 2006.

Abrahamson N., Silva W., Kamai R., (2014), "Summary of the ASK14 ground motion relation for active crustal regions", *Earthquake Spectra*, 30(3), 1025–1055.

Ambraseys N., Simpson K., Bommer J., (1996), "Prediction of horizontal response spectra in Europe", *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 25, 371–400.

Anderson J., Luco J., (1983), "Consequences of slip rate constants on earthquake recurrence relations", *Bulletin of the Seismological Society of America*, 73, 471–496.

Akkar S., Azak T., Çan T., Çeken U., Demircioğlu M., Duman T., Erdik M., Ergintav, S., Kadirioğlu, F., Kalafat D., Kale Ö., Kartal R., Kekovalı K., Kılıç T., Özalp S., Altuncu S., Şeşetyan K., Tekin S., Yakut, A., Zülfikar C., (2018), " Evolution of seismic hazard maps in Turkey", *Bulletin of Earthquake Engineering*, 16(8), 3197–3228.

Akkar S., Bommer J., (2010), "Empirical Equations for the Prediction of PGA, PGV, and Spectral Accelerations in Europe, the Mediterranean Region, and the Middle East", *Seismological Research Letters*, 81(2), 195–206.

Akkar S., Sandikkaya M., Bommer J., (2014), "Erratum to: Empirical ground-motion models for point- and extended-source crustal earthquake scenarios in Europe and the Middle East", *Bulletin of Earthquake Engineering*, 12, 389–390

Ambraseys N., Jackson J., (1998), "Faulting associated with historical and recent earthquakes in the Eastern Mediterranean region", *Geophysical Journal International*, 133(2), 390–406.

Atkinson G., Boore, D., (2011), "Modifications to existing ground-motion prediction equations in light of new data", *Bulletin of the Seismological Society of America*, 101(3), 1121–1135.

Ayhan M., Demirkol Ö., Gündoğdu O., (1999), "Ulusal Deprem Programı", Türkiye Ulusal Jeodezi Ve Jeofizik Birliği (Tujjb) Yayını.

Barka A., Akyüz H., Altunel E., Sunal G., Çakır Z., Dikbas, A., Yerli B., Armijo R., Meyer B., Bernard de Chabaliér J., Rockwell T., Dolan J., Hartleb R., Dawson T., Christofferson S., Tucker A., Fumal T., Langridge R., Stenner H., Lettis W., Bachhuber J., Page W., (2002), "The surface rupture and slip distribution of the 17 August 1999 Izmit earthquake (M 7.4), North Anatolian fault", *Bulletin of the Seismological Society of America*, 92(1), 43–60.

Bazzurro P., Cornell C., (1999), " Disaggregation of seismic hazard", *Bulletin of the*

Seismological Society of America, 89(2), 501–520.

Bommer J., Spence R., Erdik M., Tabuchi S., Aydinoglu N., Booth E., Re D., Peterken O., (2002), "Development of an earthquake loss model for Turkish catastrophe insurance", *Journal Seismological*, 6, 431–466.

Boore D., Joyner W., Fumal T. (1997), "Equations for estimating horizontal response spectra and peak acceleration from Western North American earthquakes: a summary of recent work", *Seismological Research Letters*, 68(1), 128–153.

Boore D., Atkinson G., (2008), "Ground-motion prediction equations for the average horizontal component of PGA, PGV, and 5%-damped PSA at spectral periods between 0.01 s and 10.0 s", *Earthquake Spectra*, 24(1), 99–138.

Boore D., Stewart J., Seyhan E., Atkinson G., (2014), "NGA-West2 equations for predicting PGA, PGV, and 5% damped PSA for shallow crustal earthquakes", *Earthquake Spectra*, 30(3), 1057–1085.

Bradley B., (2013), "A New Zealand-Specific Pseudospectral Acceleration Ground-Motion Prediction Equation for Active Shallow Crustal Earthquakes Based on Foreign Models", *The Bulletin of the Seismological Society of America*, 103, 1801–1822.

Cagnan Z., Akkar S., (2010), "A Local Ground-Motion Predictive Model for Turkey, and Its Comparison with Other Regional and Global Ground-Motion Models", *Bulletin of the Seismological Society of America*, 100, 2978–2995,

Campbell K., (1981), "Near-source attenuation of peak horizontal acceleration", *Bulletin of the Seismological Society of America*, 71(6), 2039–2070.

Campbell K., (1997), "Empirical near-source attenuation relationships for horizontal and vertical components of peak ground acceleration, peak ground velocity, and pseudo-absolute acceleration response spectra", *Seismological Research Letters*, 68(1), 154–179.

Campbell K., (2011), "Ground Motion Simulation Using the Hybrid Empirical Method, Issues and Insights, In *Earthquake Data in Engineering Seismology*", *Geotechnical, Geological and Earthquake Engineering* 14(7), 81–95.

Campbell K., Bozorgnia, Y. (2014), "Campbell-bozorgnia NGA-West2 horizontal ground motion model for active tectonic domains", *NCEE 2014 - 10th U.S. National Conference on Earthquake Engineering: Frontiers of Earthquake Engineering*, Anchorage, 10-20, Alaska, ABD, 21-25 January 2014.

Cauzzi C., Faccioli E., (2008), "Broadband (0.05 to 20 s) prediction of displacement response spectra based on worldwide digital records", *Journal of Seismology*, 12(4), 453–475.

CEN (2004), *Eurocode 8, design of structures for earthquake resistance-part 1: general rules, seismic actions and rules for buildings*, EN 1998-1:2004. Comité Européen de Normalisation, Brussels.

Chiou B., Youngs R., (2008), "An NGA model for the average horizontal component of peak ground motion and response spectra", *Earthquake Spectra*, 24(1), 173–215.

Chiou B., Youngs R., (2014), "Update of the Chiou and Youngs NGA model for the average horizontal component of peak ground motion and response spectra", *Earthquake Spectra*, 30(3), 1117–1153.

Chiou B., Youngs R., Abrahamson, N., Addo K., (2010), "Ground-Motion Attenuation Model for Small-To-Moderate Shallow Crustal Earthquakes in California and Its Implications on Regionalization of Ground-Motion Prediction Models", *Earthquake Spectra*, 26, 907–926.

Cotton F., Scherbaum F., Bommer J., Bungum H., (2006), "Criteria for selecting and adjusting ground-motion models for specific target regions: Application to central Europe and rock sites", *Journal of Seismology*, 10(2), 137–156.

Crowley H., Monelli D., Pagani M., Silva V., Weatherill G., (2015), "OpenQuake Engine User Instruction Manual", *Global Earthquake Model (GEM) Technical Report 2015-05*, Technical Report No: Version 1.4.0, GEM,

Danciu L., Kale Ö., Akkar S., (2018), "The 2014 Earthquake Model of the Middle East: ground motion model and uncertainties", *Bulletin of Earthquake Engineering*, 16(8), 3497–3533.

Danciu L., Şeşetyan K., Demircioğlu M., Gülen L., Zare M., Basili R., Elias A., Adamia S., Tsereteli N., Yalçın H., Utkucu M., Khan M., Sayab M., Hessami K., Rovida A., Stucchi M., Burg J., Karakhanian A., Babayan H., Giardini D., (2018), "The 2014 Earthquake Model of the Middle East: seismogenic sources", *Bulletin of Earthquake Engineering*, 16(8), 3465–3496.

Demircioğlu M., (2010), "Earthquake Hazard and Risk In Earthquake Hazard And Risk Assessment For Turkey", *EGU General Assembly Conference Abstracts*, 9883, Vienna, Austria, May 2010.

Demircioğlu M., Sesetyan K., Durukal E., Erdik M., (2007), "Assessment of earthquake hazard in Turkey", In *Proceedings of the 4th international conference on earthquake geotechnical engineering*, 1427, Thessaloniki, Greece, June 2007.

Erdik M., Biro Y., Onur T., Şeşetyan K., Birgören G., (1999), "Assessment of earthquake hazard in Turkey and neighboring regions—GSHAP", *Ann Geofis*, 42(6), 1125–1138.

Erdik M., Doyuran V., Gülkan P., Akçora G., (1983), "Probabilistic assessment of the seismic intensity in Turkey for the siting of nuclear power plants", In: *Proceedings of 2nd CSNI specialist meeting on probabilistic methods in seismic risk assessment for nuclear power plants*, Lawrence Livermore National Laboratory, Livermore, CA, USA, 1983.

Erdik M., Öner S., (1982), "A rational approach for the probabilistic assessment of the seismic risk associated with the North Anatolian Fault", In: Işıkara A., Vogel (eds) Multi-disciplinary approach to earthquake prediction, Vieweg, Braunschweig-Wiesbaden, 115.

Erdik M., Doyuran V., Akkas N., Gülkan P., (1985a), "A probabilistic assessment of the seismic hazard in Turkey", Tectonophysics, 117, 195–344.

Erdik M., Doyuran V., Akkas N., Gülkan P., (1985b), "A probabilistic assessment of the seismic hazard Turkey", Tectonophysics, 117, 295–344.

Eyidoğan H., Güçlü U., (1993), "Türkiye deprem bölgeleri haritasının evrimi ve yeni bir harita için öneri", Jeofizik, 7, 95-108.

Erdik, M., Şeşetyan, K., Demircioglu, M. B., Tüzün, C., Giardini, D., Gülen, L., Akkar, S., Zare, M., (2012), "Assessment of Seismic Hazard in the Middle East EMME (Earthquake Model of Middle East) Project", 15th World Conference on Earthquake Engineering (15WCEE), 1-10, Lisbon, Portugal, January 2012.

Frans, J., Dyck M., (1985), "Statistical Analysis of Earthquake Catalogs", Degree of Doctor of Philosophy, Massachusetts Institute of Technology.

Gardner J., Knopoff L., (1974), "Is the sequence of earthquakes in Southern California, with aftershocks removed, Poissonian?", Bulletin of the Seismological Society of America, 64(5), 1363–1367.

Giardini, D., Basham P., and Bery M., (1992), "The Global Seismic Hazard Assessment Program (GSHAP)", Terra Nova, 4.6, 623-627.

Grünthal, G., Wahlström R., (2013), "The SHARE European Earthquake Catalogue (SHEEC) for the time period 1900-2006 and its comparison to the European-Mediterranean Earthquake Catalogue (EMEC)", Journal of Seismology (2013), 17, 1–7.

Gülerce, Z., Abrahamson, N. A. (2010), "Vector-Valued Probabilistic Seismic Hazard Assessment for the Effects of Vertical Ground Motions on the Seismic Response of Highway Bridges, Earthquake Spectra, 26(4), 999–1016.

Gülerce, Z., Kargioğlu, B., Abrahamson, N., (2015), "Turkey-adjusted NGA-W1 horizontal ground motion prediction models", Earthquake Spectra, 32(1), 75–100.

Gülkan P., Koçyiğit A., Yüçemen M., Doyuran V., Başöz N., (1993), "En son verilere göre hazırlanan Türkiye Haritası" Rapor No:METU/EERC 93-01, Ortadoğu Teknik Üniversitesi Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi, Ankara, Türkiye.

Gutenberg B., Richter C., (1944), "Frequency of earthquakes in California", Bulletin of the Seismological Society of America, 34(4), 185–188.

Holzer T., Barka A., Carver D., Çelebi M., Cranswick E., Dawson T., Dieterich J., Ellsworth W., Fumal T., Gross J., Langridge R., Lettis W., Meremonte M., Mueller

C., Olsen R., Özel O., Parsons T., Phan L., Rockwell T., Safak E., Stein R., Stenner H., Toda S., Toprak S., (2000), "Implications for earthquake risk reduction in the United States from the Kocaeli, Turkey, Earthquake of August 17, 1999", U.S. Geological Survey Circular 1193, 64 .

Idriss I., (2014), "An NGA-West2 Empirical Model for Estimating the Horizontal Spectral Values Generated by Shallow Crustal Earthquakes", Earthquake Spectra, 30(3), 1155–1177.

Jimenez M., Giardini D., Grünthal G., Erdik M., Garcia-Fernandez M., Lapajne J., Makropoulos K., Musson R., Papaioannou C., Rebez A., Riad S., Sellami S., Shapira A., Slejko D., van Eck T., El Sayed A., (2001), "Unified seismic hazard modeling throughout the Mediterranean region", Bulletin di Geofisica Teorica ed Applicata, 42, 3–18.

Joyner W., Boore, D., (1981), "Peak horizontal acceleration and velocity from strong-motion records including records from the 1979 imperial valley, California, earthquake", Bulletin of the Seismological Society of America, 71(6), 2011–2038.

Kagan Y., (2002), "Aftershock Zone Scaling", Bulletin of The Seismological Society of America - Bulletin of the Seismological Society of America, 92, 641–655.

Kalafat D., (2000), "17 Ağustos 1999 Marmara ve 12 Kasım 1999 Düzce Depremleri-Marmara Denizinin Genel Yapısı, Deprem ve İstanbul ", T.C. İstanbul Valiliği Yayını.

Kalafat D., (2003), "Marmara Depremi bir gerçek mi?", Ölçü Dergisi, TMMOB Yayın Organı.

Kalafat D., Tahaoğlu T., Işıkara A., (2001), "9 Ağustos 1912 Saros-Marmara Depremi", Türkiye 14. Jeofizik Kurultayı ve Sergisi, Genişletilmiş Sunu Özetleri Kitabı (Extended Abstracts Book), s. 103-106, MTA Kültür Merkezi yayını.

Kalafat D., (2011), "Marmara Bölgesi ' nin Depremselli ğ i ve Deprem A ğ ı n ı n Önemi", 1. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, 1-11, Ankara, Türkiye, 11-14 Ekim 2011.

Kale Ö., Akkar S., (2011), "Yerel Ve Global Yer Hareketi Tahmin Denklemlerinin Türkiye İçin Uygulanabilecek Sismik Tehlike Analizlerinde Kullanılabilirliklerinin Test Edilmesi", 1. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı ,1-10, Ankara, Türkiye, 11-14 Ekim 2011.

Kale Ö., Akkar S., (2013), "A new procedure for selecting and ranking ground-motion prediction equations (GMPEs): The Euclidean distance-based ranking (EDR) method", Bulletin of the Seismological Society of America, 103(2 A), 1069–1084.

Ketin İ., (1948), "Über die tektonik-mechanischen Folgerungen aus den grossen Anatolischen Erdbeben des letzten Dezenniums", Geologische Rundschau, 36, 77-83.

Ketin İ., (1966), "Tectonic units of Anatolia", Bulletin Mineral Research Exploration Institution Turkey, 66, 23-24.

Ketin İ., (1968), Türkiye'nin genel tektonik durumu ile başlıca deprem bölgeleri arasındaki ilişkiler, M.T.A.

Kramer S., (1996), "Geotechnical Earthquake Engineering", Environmental and Engineering Geoscience, 1th Edition, Prentice Hall.

Molchan G., Dmitrieva O., (1992), "Aftershock identification: methods and new approaches", Geophysical Journal International, 109(3), 501–516..

Monelli D., Pagani, M., Weatherill, G., Silva, V., Crowley, H., (2012), "The hazard component of OpenQuake: The calculation engine of the Global Earthquake Model", 15th World Conference on Earthquake Engineering, 1-8, Lisbon, Portugal, 9 September 2012.

Musson R., (2000), "The use of Monte Carlo simulations for seismic hazard assessment in the U.K", In Annali di Geofisica , 43(1), 1–9.

Ocak S., (2011), "Probabilistic seismic hazard assessment of Eastern Marmara Region", The Degree of the Master of Science, In METU.

Omote S., İpek M., (1959), "Türkiye'nin Sismisitesi", İTÜ Sismoloji Enstitüsü Yayını, 19.

Omori F., (1894), "On the aftershocks of earthquakes", Journal of College of Science, Imperial University, 7, 111-200.

Ordaz, Mario (II-UNAM, M. (2015). Crisis User ' S Manual. 1–154.

Özmen B., (2012), "Türkiye deprem bölgeleri haritalarının tarihsel gelişimi", Türkiye Jeoloji Bülteni, 55(1), 43–55.

Özmen B., (2000), "17 Ağustos 1999 İzmit Körfezi Depremi'nin Hasar Durumu (Rakamsal Verilerle)", In Türkiye Deprem Vakfı Yayını, Ağustos 1999.

Pagani M., Monelli D., Weatherill, G., Garcia J., (2014), "The OpenQuake-engine Book: Hazard", Global Earthquake Model(GEM) Seismological Research Letters, 67.

Pagani M., Monelli D., Weatherill G., Danciu L., Crowley H., Silva V., Henshaw P., Butler L., Nastasi M., Panzeri L., Simionato M., Vigano D., (2014), "OpenQuake Engine An Open Hazard (and Risk) Software for the Global Earthquake Model", Seismological Research Letters, 85(3), 692–702.

Pamir H., (1948), "Dinamik Jeoloji", İstanbul University Publications, 2, 348- 404.

Pınar N., Lahn E., (1952), "Türkiye depremleri izahlı kataloğu", Bayındırlık Bakanlığı Yapı ve İmar İşleri Reisliği Yayını, 6, 36, 153.

Power M., Chiou B., Abrahamson N., Bozorgnia Y., Shantz T., Roblee C., (2008), "An overview of the NGA project", Earthquake Spectra, 24(1), 3–21.

Prozorov A., Dziewonski A., (1982), "A method of studying variations in the clustering property of earthquakes: Application to the analysis of global seismicity", *Journal of Geophysical Research: Solid Earthquake*, 87(B4), 2829–2839.

Reasenber P., (1985), "Second-order moment of central California seismicity, 1969–1982", *Journal of Geophysical Research: Solid Earthquake* 90(B7), 5479–5495.

Richter C., (1958), "Elementary seismology by C. F. Richter. 768 pp., 205 illus. W. H. Freeman and Company, San Francisco, and Bailey Bros. and Swinfen Ltd., London, 1958", *Geological Journal*, 2(2), 11–13.

Richter G., (1954), "Seismicity of the earth and associated phenomena" 2th Edition, Princeton University Press.

Sadigh K., Chang C., Egan J., Makdisi F., Youngs R., (1997), "Attenuation relationships for shallow crustal earthquakes based on California strong motion data", *Seismological Research Letters*, 68, 180–189.

Savage M., Rupp S., (2000), "Foreshock probabilities in New Zealand", *New Zealand Journal of Geology and Geophysics*, 43(3), 461–469.

Şaroğlu F., Emre Ö., Kuşçu İ., (1992), "Türkiye Diri Fay Haritası", MTA Genel Müdürlüğü.

Şeşetyan K., Danciu L., Demircioğlu M., Giardini D., Erdik M., Akkar S., Gülen L., Zare M., Adamia S., Ansari A., Arakelian A., Gündoğan A., Avanessian M., Babayan H., Chelidze T., Durgaryan R., Elias A., Hamzehloo H., Hessami K., Kalafat D., Kale Ö., Karakhanian A., Khan A., Mamadli T., Al-Qaryouti M., Sayab M., Tsereteli N., Utkucu M., Yalçın H., Yılmaz M., (2018), "The 2014 seismic hazard model of the Middle East: overview and results", *Bulletin Earthquake Engineering*, 16, 3535-3566.

Scasserra G., Stewart J., Bazzurro P., Lanzo, G., Mollaioli, F., (2009), " A Comparison of NGA Ground-Motion Prediction Equations to Italian Data", *Bulletin of the Seismological Society of America*, 99(5),2961-2978.

Scherbaum F., Delavaud E., Riggelsen C., (2009), "Model selection in seismic hazard analysis: An information-theoretic perspective", *Bulletin of the Seismological Society of America*, 99(6), 3234–3247.

Schnabel P., Seed H., (1973), "Accelerations in rock for earthquakes in the western United States", *Bulletin of the Seismological Society of America* 63(2), 501–516.

Scordilis E., (2006), "Empirical Global Relations Converting MS and mb to Moment Magnitude", *Journal of Seismology*, 10(2), 225–236.

Sesetyan K., Demircioglu M., Rovida A., (2013), "SHARE-CET, the SHARE earthquake catalogue for Central and Eastern Turkey complementing the SHARE European Earthquake Catalogue (SHEEC)", *Emidius.Eu*, 1–4.

Shoja-Taheri J., Naserieh S., Hadi G., (2010), "A test of the applicability of NGA models to the strong ground-motion data in the Iranian plateau", *Journal of Earthquake Engineering*, 14(2), 278–292.

Sieberg A., (1932), "Erdbebengeographie", Band IV, Lieferung 3. Verlag von Gebrüder Borntraeger, Berlin.

Soysal H., Sipahioglu S., Kolcak D., Altinok Y., (1981), "Türkiye ve Çevresinin Tarihsel Deprem Katalogu", Proje no. TBAG 341, TUBITAK, İstanbul, Türkiye.

Stepp J., (1972), "Analysis of completeness of the earthquake sample in the Puget Sound area and its effects on statistical estimates of earthquake hazard", *Proc. Microzonation Conference*, 897- 909, Seattle, WA, 1972.

Stafford P., Strasser F., Bommer J., (2008), "An evaluation of the applicability of the NGA models to ground-motion prediction in the Euro-Mediterranean region", *Bulletin of Earthquake Engineering*, 6(2), 149–177.

Stucchi M., Rovida A., Gomez A., Alexandre P., Camelbeeck T., Demircioglu M., Gasperini P., Kouskouna V., Musson R., Radulian M., Sesetyan K., Vilanova S., Baumont D., Bungum H., Fäh D., Lenhardt W., Makropoulos K., Martinez, J., Scotti, O., Giardini D., (2013), "The SHARE European Earthquake Catalogue (SHEEC) 1000-1899", *Journal of Seismology*, 17(2), 523–544.

Tarı U., (2007), "İzmit Körfezi Ve Çevresinin Morfotektoniği", Doktora Tezi, Jeoloji, İTÜ.

Uhrhammer R., (1986), "Characteristics of northern and southern California seismicity", *Earthquake Notes*, 57, 21.

Ullah S., (2016), "Seismic hazard assessment in Central Asia : combining site effects investigations and probabilistic seismic hazard", *Doctoral Thesis, Seismic Hazard, Planen Bauen Umwelt der Technischen Universität Berlin*.

Utkucu M., (2011), "Marmara Bölgesinde (KB Türkiye) Depremsellik ve Deprem Tehlikesi Üzerine Bir Tartışma, A Discussion on the Seismicity and Seismic Hazard of the Marmara Region (NW Turkey)", *Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi Bülteni*, 32(3), 187–212.

Utsu T., Ogata Y., Matsu'ura R., (1995), "The Centenary of the Omori Formula for a Decay Law of Aftershock Activity", *Journal of Physics of the Earth*, 43(1), 1–33.

Weatherill G., Burton P., (2010), "An alternative approach to probabilistic seismic hazard analysis in the Aegean region using Monte Carlo simulation", *Tectonophysics*, v492(1–4), 253–278.

Web 1, (2020), <https://deprem.afad.gov.tr/tarihteBuAy?id=37> (Erişim Tarihi :17/04/2020).

Web 2, (2016), Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Deprem Bölgeleri Haritası, T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara, 1996. <http://www.deprem.gov.tr/tr/kategori/deprem-bolgeleri-haritasi-28841> (Erişim Tarihi: 24/08/2016).

Web 3, (2020,), <https://ngawest2.berkeley.edu/> (Erişim Tarihi : 07/08/2020).

Web 4,(2020), (<https://github.com/gem/oq-engine/#openquake-engine>) (Erişim Tarihi: 07/08/2020).

Web 5, (2020), (<https://www.globalquakemodel.org/openquake>) (Erişim Tarihi: 07/08/2020).

Weichert D., (1980), "Estimation Of The Earthquake Recurrence Parameters For Unequal Observation Periods For Different Magnitudes", Bulletin of the Seismological Society of America. 70(4), 1337–1346.

Wells D., Coppersmith K., (1994), "New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area, and surface displacement", Bulletin of the Seismological Society of America, 84(4), 974–1002.

Wiemer S., (2001), "A Software Package to Analyze Seismicity: ZMAP", Seismological Research Letters, 72(3), 373–382..

Woessner J., Laurentiu D., Giardini D., Crowley H., Cotton F., Grünthal G., Valensise, G., Arvidsson R., Basili R., Demircioglu M., Hiemer S., Meletti C., Musson R., Rovida A., Sesetyan K., Stucchi M., (2015), "The 2013 European Seismic Hazard Model: key components and results", Bulletin of Earthquake Engineering, 13(12), 3553–3596.

Yalçın H., Gülen L., Utkucu M., (2013), "Türkiye ve Yakın Çevresinin Aktif Fayları Veri Bankası ve Deprem Tehlikesinin Araştırılması Active Fault Data Base and Assesment of Earthquake Hazard for Turkey and Surrounding Regions", Yerbilimleri Dergisi, 34(3), 133–160.

Yaltırak C., (2014), "Kuzey Anadolu fayının Marmara kolları ve bölgenin tektonik yapısı",TMMOB Jeofizik Mühendisleri Odası Güney Marmara Depremleri ve Jeofizik Toplantısı, Bursa,Türkiye, 22 January 2000.

Yarar R., Ergünay O., Erdik M., Gülkan P., (1980), "A preliminary probabilistic assessment of the seismic hazard in Turkey", Proc Seventh World Conference Earthquake Eng, 1:309–316, Istanbul, Turkey, September 1980.

Youngs R., Coppersmith K., (1985), "Implications of fault slip rates and earthquake recurrence models to probabilistic seismic hazard estimates", Bulletin of the Seismological Society of America 75(4), 939–964.

Yüçemen M., (2011), "Olasılıksal Sismik Tehlike Analizi: Genel Bakış ve İstatiksel Modellemede Dikkat Edilmesi Gerekli Hususlar", 1. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, 1–20, Ankara,Türkiye, 11-14 Ekim 2011.

Zare M., Amini H., Yazdi P., Sesetyan K., Demircioglu M., Kalafat D., Erdik M., Giardini D., Khan M., Tsereteli N. (2014), "Recent developments of the Middle East catalog", *Journal of Seismology*, 18(4), 749–772.

Zhao J., (2006), "Attenuation Relations of Strong Ground Motion in Japan Using Site Classification Based on Predominant Period", *Bulletin of The Seismological Society of America - Bulletin of the Seismological Society of America*, 96, 898–913.

ÖZGEÇMİŞ

Methiye GÜNDÖĞDU GÖK 1989 yılında Gebze’de doğdu. 2009 yılında başladığı Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünü başarı ile 3 yılda 3.55 ortalama ile tamamladıktan sonra 2017 yılında Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Deprem ve Yapı Mühendisliği Programına başladı. 2014 yılında Epsilon A.Ş.’de Saha Mühendisi ve Hakediş Mühendisi olarak çalıştı.