

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

**SAKARYA ŞEHİRİ İÇİN OLASILIĞA DAYALI SİSMİK
TEHLİKE ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Engin HARMAN

Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
Enstitü Bilim Dalı : YAPI
Tez Danışmanı : Y.Doç.Dr. Hüseyin Serdar KÜYÜK

Mayıs 2015

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SAKARYA ŞEHİRİ İÇİN OLASILIĞA DAYALI SİSMİK
TEHLİKE ANALİZİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Engin HARMAN

Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Enstitü Bilim Dalı : YAPI

Bu tez 16 / 06 /2015 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği/oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Prof.Dr.
Erkan ÇELEBİ

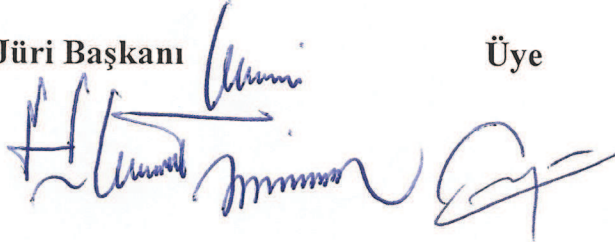
Yrd. Doç. Dr.
H.Serdar KÜYÜK

Dr.
Ebru HARMANDAR

Jüri Başkanı

Üye

Üye





BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Engin HARMAN

15.05.2015

TEŞEKKÜR

Çalıőmalarım boyunca her konuda yardımını esirgemeyen, bilgi ve birikimlerini aktaran, çalıőmama yön veren ve her zaman destek olan sayın hocam Yrd.Doç.Dr. Serdar KÜYÜK'e teőekkürü bir borç bilirim. Ayrıca gerek eğitim hayatı gerekse tüm yaőamımda yanımda olan ve desteklerini hiç bir zaman esirgemeyen değerli annem Nevin HARMAN, babam İbrahim HARMAN ve kardeőim H.Erdem HARMAN'a minnet ve őükranlarımı sunarım.

Ayrıca bu çalışmanın maddi açıdan desteklenmesine olanak sağlayan Sakarya Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Komisyon Baőkanlıđına (Proje No: 2014-50-01-039) teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	iv
ŞEKİLLER LİSTESİ	vi
TABLolar LİSTESİ	viii
ÖZET	ix
SUMMARY	x
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ	1
1.1. Amaç	2
1.2. Kapsam	2
BÖLÜM 2.	
OLASILIKSAL SİSMİK TEHLİKE ANALİZİ (OSTA)	3
2.1. Olasılıksal Sismik Tehlike Analizine Giriş	3
2.2. Sakarya Bölgesi ve Depremselliği	4
2.3. Sakarya Şehri İçin Deprem Kaynaklarının Belirlenmesi ve Karakterize Edilmesi	6
2.4. Deprem Yinelenme İlişkilerinin Belirlenmesi	10
2.5. Azalım İlişkilerinin Belirlenmesi	12
2.5.1. Abrahamson & Silva (1997)	13
2.5.2. Boore ve ark. (1997)	14
2.5.3. Campbell & Bozorgnia (2008)	15
2.5.4. Idriss (2008)	17

2.6. Olasılıksal Sismik Tehlike Analiz Yöntemi	18
BÖLÜM 3.	
SAKARYA ŞEHİRİ İÇİN OSTA'NIN DEĞERLENDİRİLMESİ.....	20
3.1. Sismik Tehlike Eğrilerinin Hesaplanması	20
3.1.1. Sakarya şehir merkezi için hesaplanan sismik tehlike eğrileri....	20
3.1.2. Sakarya ilçeleri için hesaplanan sismik tehlike eğrileri.....	22
3.2. Deprem Ayrıklaştırma Sonuçları	24
3.3. Elde Edilen Tehlike Spektrumları.....	38
3.4. Sakarya Şehri İçin Elde Edilen Sismik Tehlike Haritaları	45
BÖLÜM 4.	
SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	50
KAYNAKLAR	53
EKLER	58
ÖZGEÇMİŞ.....	67

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

a	: Depremsellik düzeyini gösteren regresyon katsayısı
a_n	: Regresyon katsayıları
A_o	: Etkin yer ivmesi katsayısı
$A(T)$: Spektral ivme katsayısı
A_{1100}	: Kaya zeminde $V_{s30} = 1100$ m/s olduğundaki pik yer ivmesi (g)
b	: Sismo-tektonik yapı ile ilgili regresyon katsayısı
b_n	: Regresyon katsayıları
C_n	: Regresyon katsayıları
DBYBHY	: Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik
DSTA	: Deterministik sismik tehlike analizi
$f(\text{kaynak})$: Kaynak oluş mekanizması
$f(\text{zemin})$: Yerel zemin karakterisiği
F_i	: Olasılıksal yoğunluk fonksiyonu
F_{NM}	: Normal faylanma faktörü
F_{RV}	: Ters faylanma faktörü
g	: Yerçekimi ivmesi
I	: Bina önem katsayısı
KAF	: Kuzey Anadolu Fay sistemi
k_n	: V_{s30} 'a bağlı katsayı
M	: Deprem büyüklüğü
M_w	: Moment manyetüdü
N	: Belirli bir depremin oluş sayısı
OSTA	: Olasılıksal sismik tehlike analizi
P	: Poisson dağılım
P	: Argümanın olasılığı
PGA_{rock}	: Kaya zeminde pik yer ivmesi

$PYİ$: Pik yer ivmesi
R	: Deprem kaynağının incelenen yere olan uzaklığı
R_{jb}	: Kırılmanın düşey izdüşümüne en yakın mesafe (km)
R_{rup}	: Kırılma düzlemine olan en yakın mesafe (km)
S	: Saha türü değişkeni
$S_{ae}(T)$: Elastik spektral ivme
$Sİ$: Spektral ivmeler
$S(T)$: Spektrum katsayısı
T	: Periyot
T_A	: Spektrum karakteristik periyotları
T_B	: Spektrum karakteristik periyotları
t	: zaman aralığı
v_i	: i'inci kaynağın yıllık ortalama oranı
V_{s30}	: 30 m'deki ortalama kayma dalgası hızı (m/s cinsinden)
Y	: Yer hareketi parametresi
x	: Belirli bir konumdaki sarsıntı seviyesi
λ	: Başlangıç okuma değeri
λ_m	: Farklı büyüklüklerdeki depremlerin yıllık ortalaması

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Olasılıksal Sismik Tehlike Analizi İşlem Şeması.	4
Şekil 2.2. Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası.	5
Şekil 2.3. MTA Yenilenmiş Diri Fay Haritası.	6
Şekil 2.4. Bölgede meydana gelen tarihsel ve aletsel depremler.	7
Şekil 2.5. Sismik Kaynak Modeli.	9
Şekil 3.1. Sakarya şehir merkezi için sismik tehlike eğrisi.	21
Şekil 3.2. Sismik tehlike eğrilerinin karşılaştırılması.	23
Şekil 3.3. Adapazarı için deprem ayırıklaştırma grafikleri.	29
Şekil 3.4. Akyazı için deprem ayırıklaştırma grafikleri.	30
Şekil 3.5. Arifiye için deprem ayırıklaştırma grafikleri.	31
Şekil 3.6. Camili için deprem ayırıklaştırma grafikleri.	32
Şekil 3.7. Geyve için deprem ayırıklaştırma grafikleri.	33
Şekil 3.8. Hendek için deprem ayırıklaştırma grafikleri.	34
Şekil 3.9. Karasu için deprem ayırıklaştırma grafikleri.	35
Şekil 3.10. Pamukova için deprem ayırıklaştırma grafikleri.	36
Şekil 3.11. Sapanca için deprem ayırıklaştırma grafikleri.	37
Şekil 3.12. Adapazarı için tehlike spektrumu.	41
Şekil 3.13. Akyazı için tehlike spektrumu.	41
Şekil 3.14. Arifiye için tehlike spektrumu.	42
Şekil 3.15. Camili için tehlike spektrumu.	42
Şekil 3.16. Geyve için tehlike spektrumu.	43
Şekil 3.17. Hendek için tehlike spektrumu.	43
Şekil 3.18. Karasu için tehlike spektrumu.	44
Şekil 3.19. Pamukova için tehlike spektrumu.	44
Şekil 3.20. Sapanca için tehlike spektrumu.	45

- Şekil 3.21. Sakarya için yapılan olasılıksal sismik tehlike analizi sonucu elde edilen, sert zeminde 50 yılda %10 ve %2 aşılma ihtimaline göre PYİ için bölgeye özel sismik tehlike haritası.....47
- Şekil 3.22. Sakarya için yapılan olasılıksal sismik tehlike analizi sonucu elde edilen, sert zeminde 50 yılda %10 ve %2 aşılma ihtimaline göre $T=0.2s$ için bölgeye özel sismik tehlike haritası.....48
- Şekil 3.23. Sakarya için yapılan olasılıksal sismik tehlike analizi sonucu elde edilen, sert zeminde 50 yılda %10 ve %2 aşılma ihtimaline göre $T=1.0s$ için bölgeye özel sismik tehlike haritası.....49

TABLULAR LİSTESİ

Tablo 2.1. Sakarya ili çevresinde meydana gelen $M \geq 6$ 'dan büyük depremler.	5
Tablo 2.2. Sismik kaynak modeli segmentleri.	8
Tablo 2.3. Sismik kaynak modeli karakteristikleri.	10
Tablo 2.4. DBYBHY 2007'ye göre deprem düzeyleri.	19
Tablo 3.1. Sakarya için farklı aşılma olasılığı oranlarına göre en büyük pik yatay yer ivmeleri.	20
Tablo 3.2. Sakarya ili önemli yerleşim merkezleri için pik yatay yer ivmeleri.	22
Tablo 3.3. Etkin yer ivmesi katsayısı (A_0).....	38
Tablo 3.4. Spektrum karakteristik periyotları.	39
Tablo 4.1. Bölge için geçmişte yapılmış olan çalışma sonuçları ile bu çalışmanın karşılaştırılması.....	50

ÖZET

Anahtar kelimeler: Olasılıksal sismik tehlike analizi, Sakarya, sismik tehlike haritası

Sakarya ili depremsellik açısından çok riskli bir konuma sahip olup, il sınırlarının neredeyse tümü 1. derece deprem bölgesinde yer almaktadır. Yapılacak binalar ve yerleşim yerlerinin planlanması için yakın gelecekte şehrin maruz kalabileceği olası şiddetli yer hareketine ait parametreler hesaplanmalıdır. Sakarya ili için henüz ayrıntılı olasılıksal sismik tehlike analizi (OSTA) yapılmamıştır. Bu çalışmada, Sakarya ilini etkileyen en güncel aktif deprem kaynakları etkisinde, pik yer ivmesine ait 50 yılda %10 ve %2 aşılma oranları, sismik tehlike eğrisi aracılığıyla hesaplanmıştır. Ayrıca ayrıklaştırma analizi yapılarak, şehir merkezinde ve ilçelerinde en çok etki oluşturabilecek olası fay uzaklıkları ve deprem büyüklükleri bulunmuştur. OSTA sonucu elde edilen tepki ivme spektrumu, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelikte verilen spektrum ile kıyaslanmıştır. Tepki ivme spektrumundaki ivme değerleri, yönetmelik ile kıyaslandığında ortalama her periyot için şehir merkezi ve Kuzey Anadolu Fay Hattı Boyunca uzanan ilçelerde 1.5-2 katı daha yüksek ivme değerleri elde edildiği, faydan uzaklaştıkça bu değerlerin azaldığı görülmüştür. Bununla birlikte, bölgeye ait pik yer ivmesi, periyotu 0.2s ve 1.0s olan spektrum ivmelerinin, aşılma ihtimaline göre sismik tehlike haritaları elde edilmiştir. Çalışma sonucunda şehir merkezinde aşılması muhtemel pik yer ivme değerleri sırasıyla, 0.95g ve 0.68g olarak bulunmuştur. Sismik tehlike haritaları incelendiğinde Sakarya il sınırları içerisinde en çok sismik tehlikeye Akyazı ilçesinin maruz kalacağı ve tehlikenin ilin kuzeyine doğru azalacağı belirlenmiştir.

PROBABILISTIC SEISMIC HAZARD ANALYSIS FOR THE CITY OF SAKARYA

SUMMARY

Keywords: Probabilistic of seismic Hazard Analysis, Sakarya city, seismic hazard maps

The city of Sakarya is located in a region with a high seismic risk and almost all its territory is in the earthquake zone; degree one. In order to design structures and plan settlements, expected strong ground motion that city would exposure in near future should be calculated. For the city of Sakarya, a detailed probabilistic seismic hazard analysis (PSHA) have not been conducted yet. In this study, the probability of exceedance of peak ground acceleration are calculated by seismic hazard curves after compiling active faults around Sakarya province. Possible fault distances and earthquake magnitudes that affect the city center most, are determined by deaggregation analysis. Acceleration response spectrum which are computed by PSHA are compared with the design response spectrum given by regulations on buildings to be constructed in earthquake zones. Compared the design spectrum, calculated acceleration response spectrum gave 1.5 to 2 times higher in average for all periods for city center and towns along with North Anatolian Fault. Seismic hazard maps are derived for PGA and spectral accelerations at period of 0.2s and 1.0s in terms of exceedance of 10% and 2% in 50 years. For the city center, PGA will exceed 0.95g and 0.68g in next 50 years for % 2 and 10% exceedance. Seismic hazard maps shows Akyazi town is exposure to highest risk and expected hazard decrease towards north of the province.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Deprem kuşağında bulunan ülkemizde, özellikle de Marmara Bölgesi'nde tarih boyunca şiddetli ve hasarlara yol açan depremler meydana gelmiştir. Gelecekte meydana gelebilecek depremlerin oluşturacağı tehlikeleri, hasarları ve etkilerini tahmin etmek için son yıllarda sismik tehlike analizi çalışmaları hız kazanmıştır.

Deprem tehlikesi belirleme çalışmalarında sismik tehlike analizleri; tasarım yer hareketi geliştirilmesinin önemli bir kısmını oluşturmaktadır. Sismik tehlike analizi iki şekilde yapılabilir. Bunlardan birincisi deterministik sismik tehlike analizidir (DSTA). Bu analiz, belirli bir deprem senaryosu kapsamında belirli bir yerde, belirli bir boyuttaki depremin oluşacağını varsayan sismik senaryoların geliştirilmesini kapsar. Diğer yöntem ise olasılıksal sismik tehlike analizidir (OSTA). OSTA'da incelenen bölgede etkili olabilecek tüm depremlerin boyutu, yerleri ve tekrar süreleri ile ilgili belirsizlikler de değerlendirilir.

Olasılık esaslı sismik tehlike analizi, sismik kaynakların geometrileri, ilgilenilen sahaya uzaklıkları, azalım ilişkileri ve beklenen depremlerin büyüklüklerindeki belirsizlik durumları hesaba katılarak, belirli bir aşılma olasılığına sahip yer hareketi parametrelerinin tahmin edilebilmesini sağlamak amacıyla geliştirilmiştir. Ülkemizde de özellikle son yıllarda sismik tehlikenin araştırılması konusunda İstanbul başta olmak üzere farklı bölgeler veya şehirler için birçok çalışma yapılmıştır (Atakan ve ark., 2002, Erdik ve ark., 2004, , Crowley ve Boomer, 2006, Kalkan ve ark., 2009, Ocak, 2011, Seyrek ve Tosun., 2013, Levendoğlu, 2013).

1.1. Amaç

Sismik tehlike analizi, tarihte meydana gelen deprem olaylarına ait tarihsel, aletsel verileri, sismolojik, jeolojik parametreleri, istatistiksel ve matematiksel bilgilerle birleştirilerek, belirli bir alanda gelecekte oluşabilecek sismik etkinliklerin tahmini için beklenen yer hareketi parametrelerini hesaplar. Hesaplanan parametreler, bölgenin sismik tehlikesi hakkında bilgi edinilmesine ve bu tehlikeler göz önüne alınarak mühendislik yapılarının projelendirilmesine katkı sağlar. Depreme dayanıklı yapı tasarımında öncelikli hedef, yapıların istenen performans düzeyinden daha büyük hasarlar görmeden belirli bir yer hareketi seviyesine dayanabilecek şekilde yapılar inşa etmektir. Bu kapsamda, yapılan çalışmanın amacı Sakarya çevresinde 50 yıl içinde aşılma ihtimali %2 ve %10 olan depremlere karşılık gelen, en büyük pik yer ivmelerinin ve tasarım spektrumlarının hesaplanıp değerlendirilmesidir. Bu amaç için üretilen sismik tehlike haritalarının özellikle Belediyeler, Valilik ve Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı gibi kurumlar için Sakarya şehri ve çevresindeki sismik tehlikenin azaltılması, değerlendirilmesi ve oluşabilecek hasarın yönetilebilmesi açısından yararlı olacaktır.

1.2. Kapsam

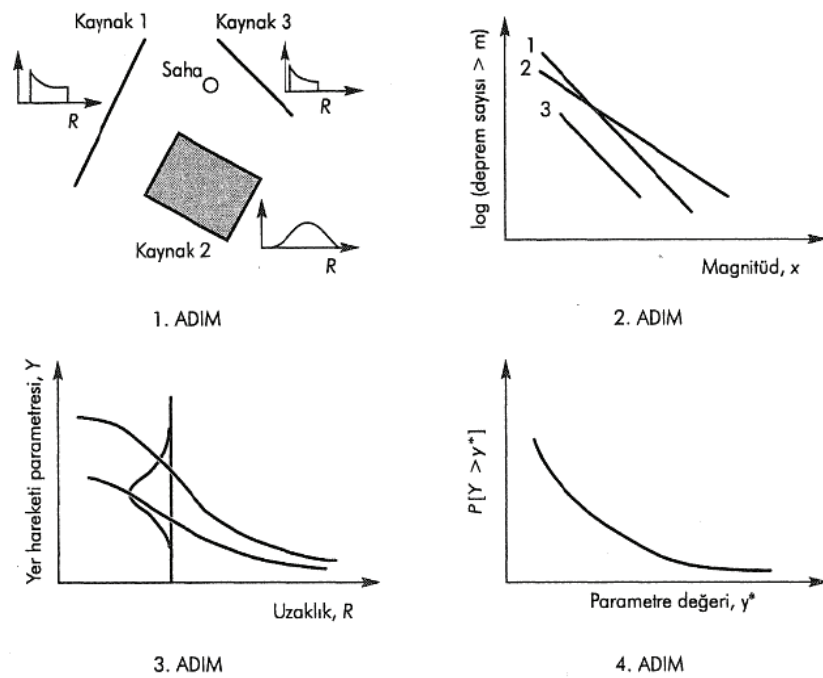
Bu çalışma kapsamında, Sakarya şehrinin olasılığa dayalı sismik tehlike analizi yapılması için, Bölüm 1’de genel bilgiler verilmiş ve açıklamalar yapılmıştır. Bölüm 2’de bölgenin depremselliği literatür çalışmaları ile incelendikten sonra, deprem kaynakları belirlenmiş ve karakterize edilmiştir. Deprem yinelenme ilişkilerinin belirlenmesinin ardından analizde kullanılacak azalım ilişkileri seçilmiştir. Yer hareketi parametreleri ve aşılma olasılıkları DBYBHY 2007’de yer alan %2 ve %10 aşılma olasılıklarına göre belirlenmiştir. Bölüm 3’te Sakarya şehir merkezi ve ilçeler için ayrı ayrı sismik tehlike eğrileri hesaplanmış, deprem ayırıklaştırma grafikleri ve tehlike spektrumları oluşturulmuş DBYBHY 2007 ile karşılaştırılmış ve Sakarya için sismik tehlike haritaları çizdirilmiştir. Son bölüm olan 4. bölümde bulunan sonuçlar değerlendirilmiş, sonuçlar literatürde yapılmış olan benzer çalışmalar ile karşılaştırılarak öneriler sunulmuştur.

BÖLÜM 2. OLASILIKSAL SİSMİK TEHLİKE ANALİZİ

2.1. Olasılıksal Sismik Tehlike Analizine Giriş

Bir deprem ülkesi olan ülkemizde son yıllarda sismik tehlike analizi ilgili önemli çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmada da ilk bölümde bahsedildiği gibi böylesine büyük deprem riski olan, tarihte yıkıcı depremler ve sonuçlarında hasarlara, kayıplara maruz kalmış Sakarya bölgesi için gelecekte oluşabilecek depremlerin meydana getireceği olumsuz etkileri tahmin edebilmek amacıyla olasılıksal sismik tehlike analizi yapılmıştır.

Olasılıksal sismik tehlike analizi dört aşamalı olarak hesaplanmıştır. Sakarya şehri ve tarihte bölgede oluşan büyük depremler ile ilgili kısa bir bilgi verildikten sonra, birinci aşamada Sakarya şehrini etkileyen deprem kaynakları belirlenmiş ve karakterize edilmiştir. İkinci aşamada her bir kaynak bölgesindeki depremlerin büyüklüğüne ait belirsizlikler, deprem yinelenme ilişkileri ile tanımlanmıştır. Üçüncü aşamada her bir kaynak bölgesindeki olası odak noktalarında ve boyutlardaki depremler tarafından üretilen yer hareketi genlikleri azalım ilişkileri kullanılarak hesaplanmıştır. Dördüncü aşamada depremin yeri, boyutu ve azalım ilişkilerindeki belirsizlikler birleştirilerek, belirli bir zaman aralığındaki aşılma olasılıkları cinsinden yer hareketi parametreleri elde edilen sismik tehlike eğrileri ile hesaplanmıştır. İşlem basamaklarının şematik sıralaması Şekil 2.1'de gösterilmiştir (Kramer, 1996).



Şekil 2.1. Olasılıksal Sismik Tehlike Analizi İşlem Şeması (Kramer, 1996)

2.2. Sakarya Bölgesi ve Depremselliği

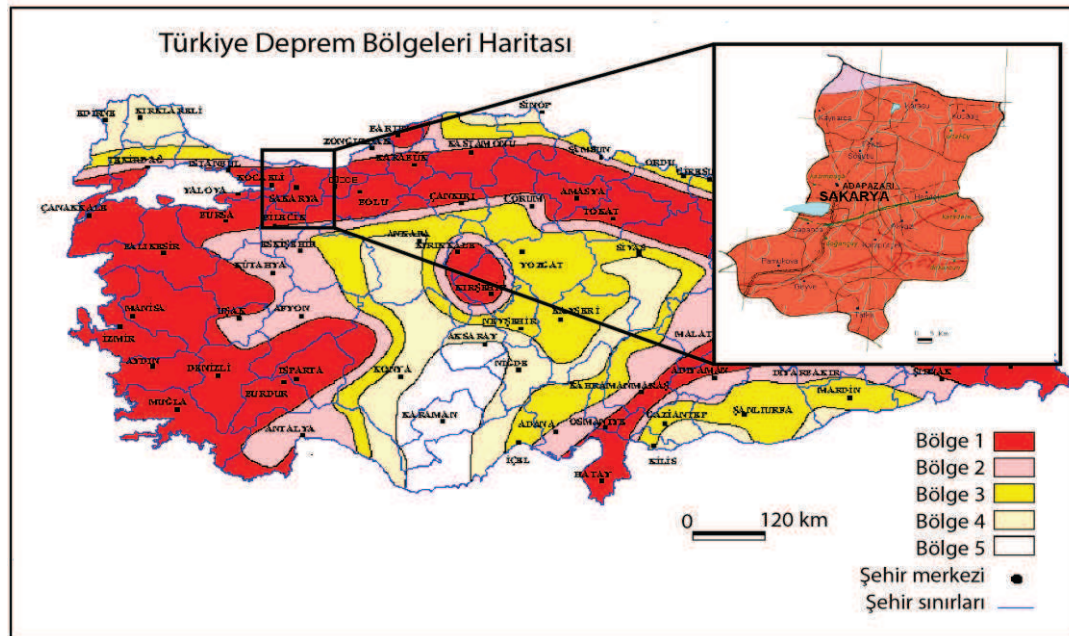
Marmara Bölgesinin doğusunda yer alan Sakarya ili her geçen gün gelişen sanayisi, verimli tarım arazileri, ülkemizin iki büyük metropolü olan İstanbul ve Ankara arasında bulunun konumu ile bir çekim bölgesidir. Nitekim 1999 depreminden sonra yapılan 2000 yılı nüfus sayımına göre 756.168 kişi olan nüfus, 2014 yılı verilerine göre 932.706 kişi olmuştur.

Sakarya ili, dünyadaki en aktif fay sistemlerinden biri olan Kuzey Anadolu Fayı üzerinde konumlanmaktadır. Sakarya çevresinde, son yüzyılda Adapazarı-Hendek 1943, Bolu-Abant 1957, Adapazarı 1967, Kocaeli 1999, Düzce 1999 gibi büyük yıkıcı depremler meydana gelmiştir. Şehir, son üç asırda meydana gelen 9 adet önemli depremler ile sarsılmıştır (Tablo 2.1). Özellikle şehri derinden yaralayan 1999 depreminde 4000'e yakın can kaybı olurken, 30.000 civarında yapı yıkılmış ya da ağır hasar görmüştür.

Tablo 2.1. Sakarya ili çevresinde meydana gelen $M \geq 6$ 'dan büyük depremler.

Sıra No.	Tarih	Odak Noktası		Manyetüd (M)	Kaynak
		Enlem	Boylam		
1	25.05.1719	40.70	29.80	6.8	Ambraseys (2006)
2	22.05.1766	40.80	29.00	6.6	Ambraseys (2006)
3	10.07.1894	40.70	29.60	6.8	Ambraseys (2006)
4	20.06.1943	40.84	30.73	6.4	KOERI Katalog
5	26.05.1957	40.67	31.00	6.7	Ambraseys (2006)
6	18.09.1963	40.77	29.12	6.3	KOERI Katalog
7	22.07.1967	40.70	30.70	6.7	Ambraseys (2006)
8	17.08.1999	40.76	29.97	7.4	Gülkan & Kalkan (2002)
9	12.11.1999	40.74	31.21	7.2	Gülkan & Kalkan (2002)

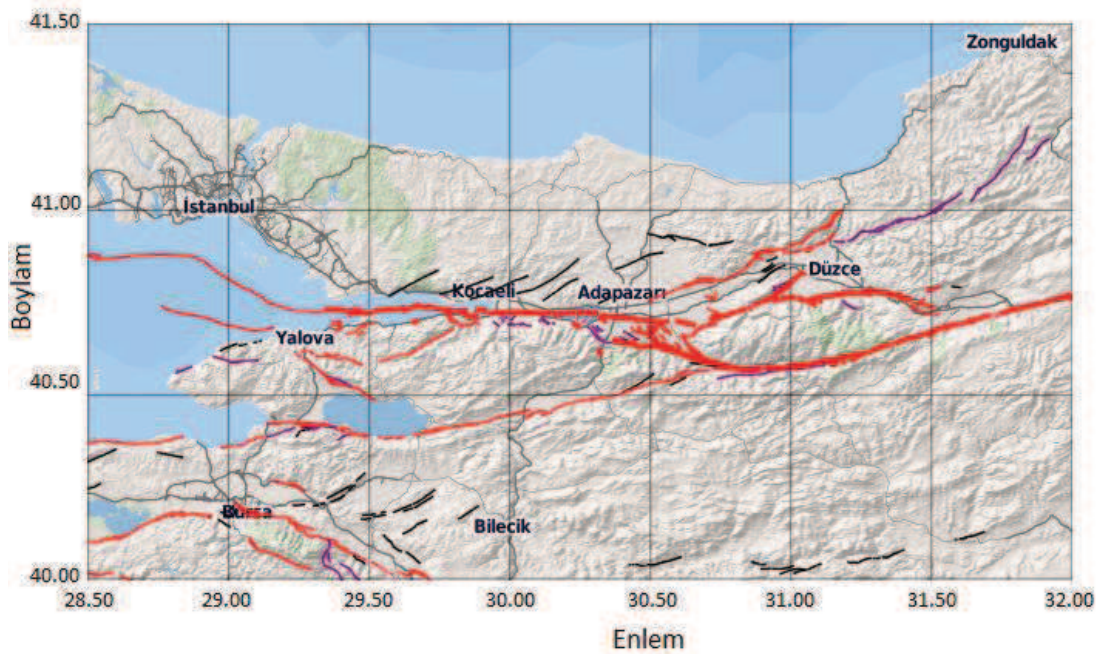
Sismik olarak hareketli olan Sakarya ilinin tümüne yakını halen kullanımda olan Türkiye Deprem Bölgeleri haritasında 1. derece deprem bölgesi olarak tanımlanmıştır (Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, 1996), (Şekil 2.2).



Şekil 2.2. Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası, 1996 (Referanstan değiştirilmiştir).

2.3. Sakarya Şehri İçin Deprem Kaynaklarının Belirlenmesi ve Karakterize Edilmesi

Deprem kaynaklarının belirlenmesinde Sakarya bölgesinin jeolojik ve tektonik durumu, daha önce meydana gelen tarihi ve aletsel kayıtları olan depremler referans alınarak incelenmiştir. Ülkemizde 2012 yılında güncellenmiş olan MTA Yenilenmiş Diri Fay Haritası Şekil 2.3'de gösterilmektedir. Bu haritada kırmızı çizgiler ile gösterilen faylar diri (aktif) fayları ifade etmektedir (Emre ve ark., 2012).

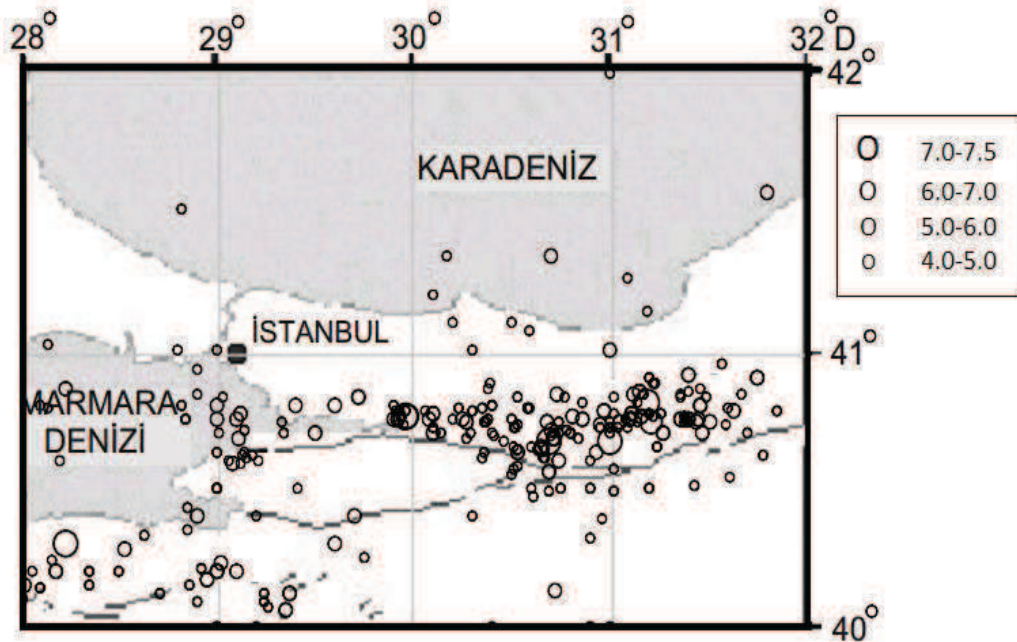


Şekil 2.4. MTA Yenilenmiş Diri Fay Haritası (Emre ve ark., 2012)

Kuzey Anadolu Fay (KAF) Sistemi, dünyanın en önemli yanal-atımlı fay sistemlerinden biridir (McKenzie, 1972, Barka ve Kandinsky-Cade, Barka, 1992, 1988, Barka, 1996). KAF son yüzyılda 1939 Erzincan depremi ile başlayan, batıya doğru yayılan bir eğilim göstermektedir, fay zonu üzerindeki yıkıcı depremlerde 1939, 1942, 1943, 1944, 1957, 1967 ve son olarak Ağustos ve Kasım 1999 tarihleri depremler meydana gelmiştir (Barka ve ark., 2002, Akyüz ve ark., 2002, Reilinger ve ark., 2006). Son yıkıcı depremler olan, 1999 Kocaeli ve 1999 Düzce depremleri sonucunda, sırasıyla 145 km ve 40 km uzunluğunda km toplam 185 km yüzey kırığı(yırtılmasına) oluşmasına neden olmuştur (Barka ve ark., 2002, Akyüz ve ark.

2002). İncelenen bölgede KAF doğudan batıya Gerede-Bolu-Mudurnu, Düzce, Hendek, Akyazı-Sapanca-İzmit-Karamürsel, Geyve-İzmit-Gemlik, İzmit körfezi-Marmara Denizi, Yalova-Çınarcık boyunca uzanmaktadır. Marmara Bölgesi'nde içinde KAF sistemini 22 ± 3 mm / yıl sağ yanal atımlı olarak tanımlayabiliriz (Straub ve ark., 1997, McClusky, 2000). Le Pichon ve ark. (2001) tarafından Marmara Denizi'nin altındaki ana fayların 23 mm / yıl olarak kayma oranı esas alınmıştır. Diğer fay segmentleri için Straub ve ark. (1997) tarafından yapılan GPS ölçümleri kullanılmıştır.

Bu çalışmada kullanılan depremler, AFAD, Deprem Araştırma Bölümü, Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, Uluslararası Sismoloji Merkezi ve ABD Jeoloji Araştırmaları kurumlarının veri tabanlarından derlenmiştir. Büyüklüğü 4'ten büyük 1901 ile 2004 yılları arasında meydana gelen depremlerden öncül ve artçı depremler temizlenmiştir. 103 yıllık deprem kataloğu Marmara bölgesindeki depremleri (40° - 42° K enlemleri, 28° - 32° D boylamları) kapsamaktadır. Sakarya çevresinde deprem tehlikesi oluşturacak faylar literatürdeki haritalarından faydalanılarak tekrar değerlendirilmiştir ve Şekil 2.3'te gösterilmiştir (Sayıl ve Osmaşahin, 2005).



Şekil 2.4. Bölgede meydana gelen tarihsel ve aletsel depremler(Sayıl ve Osmaşahin, 2005)

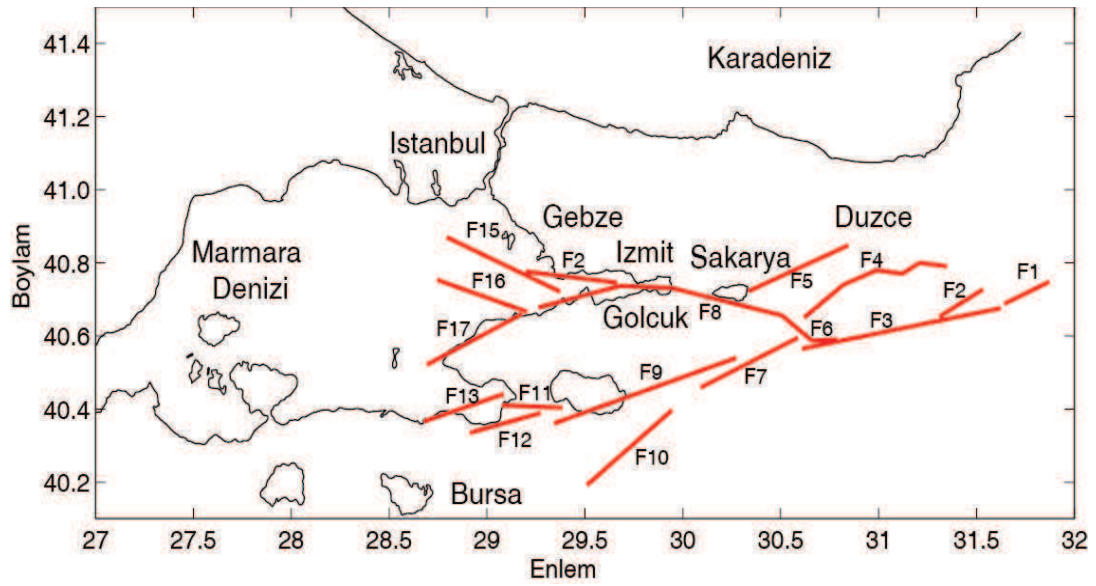
Tespit edilen kaynaklar çizgisel olarak tanımlanmıştır ve bu kaynaklar üzerinde sismik tehlike oluşturabilecek en küçük deprem moment büyüklüğü dört kabul edilmiştir (Gülkan ve Kalkan, 2002, Ambraseys 2006.). Sakarya çevresinde aletsel kaydı veya tarihsel bilgileri olan deprem kayıtları derlenerek, sismik kaynak modelleri oluşturulmuştur ve 17 fay segmenti ile Tablo 2.2'de tanımlanmıştır.

Tablo 2.2. Sismik kaynak modeli segmentleri

Fay Bölüm Adı	Segment Adı
F1,F2,F3	Bolu-Gerede
F4	Düzce ve Karadere
F5	Hendek
F6	Dokurcun
F7	Geyve
F8,F14	KAF(Akyazı-Sapanca-İzmit-Karamürsel, İzmit-Hersek)
F9	İznik-Mekece
F10	Yenişehir
F11	Gemlik
F12	Gençali
F13	Zeytinbağ
F15	Adalar
F16	Çınarcık
F17	Armutlu-Esenköy

Değerlendirilen fayların kayma oranları 10 mm/yıl'a eşit ve büyük olanları çalışmaya dahil edilmiştir. Marmara Denizi'ndeki faylar için Le Pichon ve ark. (2003) ile Armijo ve ark. (2005) diğer faylar için Saroğlu ve ark. (1992) ile Hendek fayı (F5) MTA'nın güncel aktif fay verilerinden ve bölgedeki çalışmalardan yararlanılmıştır. (Emre ve ark., 2012, Le Pichon, 2001, Armijo ve ark., 2005, Saroğlu ve ark., 1992, Cambazoğlu, 2012). Bu 17 fay segmenti ile tanımlanmış karmaşık fay sisteminde her fayın birbirinden bağımsız kırılacağı kabul edilmiştir. Yanal atımlı olmayan faylarda dip

açısı fayın ortalama derinliği ve incelenecek konuma uzaklığın hesaplanması için önemlidir, çünkü faya uzaklık deprem azalım ilişkilerinde en önemli parametrelerden bir tanesidir. Literatürden derlenen kaynaklarda dip genişliği ve fay derinlikleri gibi bilgiler kesin olarak belirlenemediği için düzlemsel kaynaklar yaklaşık çizgisel kaynak olarak değerlendirilmiştir. Kaynaklarda derinliği belirtilmeyen faylar için 10 km derinlik kabul edilmiştir. Böylece sismik kaynak modeli oluşturulmuş ve harita üzerinde Şekil 2.5'te gösterilmiştir (Harman ve Küyük, 2014).



Şekil 2.5. Sismik kaynak modeli (Harman ve Küyük, 2014)

Tümü yatay atımlı faylardan oluşan Tablo 2.2'de tanımlanan kaynakların fay uzunlukları, karakteristik deprem büyüklükleri, yıllık kayma miktarları ve yıllık deprem aktivite oranları özellikleri Tablo 2.3'de detaylı olarak verilmiştir.

Tablo 2.3. Sismik kaynak modeli karakteristikleri(Kalkan ve ark., 2009'dan alınarak güncellenmiştir.)

Fay Bölüm Adı	Fay uzunluğu (km)	Karakteristik Deprem Büyüklüğü (M _w)	Kayma miktarı (mm/yıl)	Aktivite Oranı (deprem/yıl)
F1	21	6,6	20	0.0124
F2	21	6,6	20	0.0122
F3	90	7,3	20	0.0124
F4	66	7,2	20	0.0056
F5*	44	6,4	13	-
F6	26	6,7	20	0.0107
F7	48	7,0	20	0.0070
F8	112	7,5	23	0.0045
F9	82	7,3	20	0.0049
F10	45	7,0	20	0.0073
F11	30	6,8	20	0.0097
F12	31	6,8	20	0.0094
F13	36	6,9	20	0.0085
F14	20	6,6	23	0.0148
F15	51	7,1	23	0.0077
F16	36	6,9	20	0.0085
F17	41	7,0	20	0.0077

* 2012 yılında güncel fay haritasına eklenmiş aktif fay(Emre ve ark., 2012, Cambazoğlu, 2012).

2.4. Deprem Yinelenme İlişkilerinin Belirlenmesi

Belirlenen deprem kaynaklarının, incelenmiş olan zaman aralığında, deprem büyüklükleri ile meydana gelme olasılığı arasındaki ilişkileri hesaplanmalıdır. Bu yinelenme ilişkileri, depremlerin büyüklüğü ile oluş sayıları arasındaki ilişkiyi ifade eden Gutenberg ve Richter (1944) ilişkisi ile tanımlanmıştır, (Denklem 2.1).

$$\log(\lambda_m) = a - bM \quad (2.1)$$

burada;

λ_m : Farklı büyüklüklerdeki depremlerin yıllık ortalaması

M : Deprem büyüklüğü

a : Depremsellik düzeyini gösteren regresyon katsayısı

b : Sismo-tektonik yapı ile ilgili regresyon katsayısı

Denklemdaki a parametresi depremsellik düzeyini verir ve büyüklüğü incelenen bölgedeki deprem sayısının büyüklüğü ile doğru orantılıdır. Diğer parametre olan b değeri ise bölgenin sismo-tektonik yapısı ile ilgilidir ve gelecekteki deprem tehlikesi hakkında fikir verir. Literatürde Sakarya ve Marmara Bölgesinde çeşitli çalışmalar yapılmıştır.

Bu çalışmalarda, Crowley ve Bommer (2006) incelenilen bölgede oluşan 100 yıllık $M \geq 5$ depremleri için b katsayısını 0.69 olarak kullanmıştır. Sayıl ve Osmanşahin (2005), Marmara Bölgesinin Depremselliğinin İncelenmesi Makalesinde, Adapazarı için b değerini 0.65 hesaplamışlardır. Weichert (1980) maksimum olabilirlik yöntemi ile Marmara bölgesi için b değerini 0.72 olarak hesaplamıştır. Ulaştırma Bakanlığı Kıyı Yapıları, Demiryolları ve Hava Meydanları İnşaatları Deprem Teknik Yönetmeliği için Deprem Tehlikesi Belirlenmesi çalışmasında Marmara Denizi ve kolu Kocaeli, Sakarya boyunca uzanan bölge için b değeri 0.90 olarak hesaplanmıştır (Erdik ve ark., 2006). Ayrıca Marmara bölgesi için b değerinin 0.84 ila 2.04 değerleri arasında ve güney Marmara bölgesi için 0.5 ile 0.7 aralığında değiştiğine dair literatürde çalışmalar mevcuttur (Utkucu ve ark., 2011, Yalçın ve ark., 2013). Derlenen deprem katalogları incelenerek, Kalkan ve ark. (2009) ile paralel olarak a ve b regresyon katsayıları sırasıyla 3.6 ve 0.72 olarak alınmıştır.

M_{max} (maksimum karakteristik manyetüd) her fay segmenti için Wells ve Coppersmith (1994) ampirik bağıntısıyla hesaplanmıştır ve bölgesel tarihi depremlerle kontrol edilerek belirlenmiştir.

2.5. Azalım İlişkilerinin Belirlenmesi

OSTA'nın önemli işlem basamaklarından biri de yer hareketinin mekana göre değişiminin modellenmesidir. Deprem esnasında oluşan yer hareketleri ve dalgaları depremin odak noktasından uzaklaştıkça zemin koşullarına bağlı olarak değişecek ve incelenen yerleşim yerindeki etkisi genellikle azalacaktır. Deprem odak noktası ile incelenen bölge arasında oluşabilecek bu değişim azalım ilişkileri kullanarak tahmin edilmektedir. Azalım ilişkileri deprem büyüklüğü, kaynağa uzaklık, kaynak mekanizması ve yerel zemin koşullarına bağlı olarak kuvvetli yer hareketinin yer değiştirme, hız ve ivme gibi farklı parametrelerinin medyan ve standart sapmalarını veren ampirik ilişkilerdir.

Üçüncü aşamada, azalım ilişkileri kullanılarak, deprem büyüklüğü, kaynağa uzaklık ve kaynak mekanizması bağlı olarak kuvvetli yer hareketinin pik ve spektral ivme dağılımı hesaplanmıştır. Bu parametreler logaritmik dağılım gösterdiği için bulunması istenen yer hareketi parametresinin logaritması, $\ln(Y)$, depremin büyüklüğü (M) ve mesafeye (R) bağlı olarak dalga genlikleri, yırtılma alanı, malzeme sönümü, yer hareketi parametreleri ve zemin özellikleri gibi parametreler ile birlikte göz önüne alınarak hesaplanmıştır. Tipik bir azalım ilişkisi denklemi aşağıdaki gibi tanımlanabilir, (Denklem 2.2);

$$\ln(Y) = c_1 + c_2 M + c_3 (M - c_4)^2 + c_5 \ln(R + c_6 \exp(c_7 M)) + c_8 R + f(kaynak) + f(zemin) \quad (2.2)$$

Burada $f(kaynak)$, kaynak oluş mekanizması, $f(zemin)$ yerel zemin karakteristiği ve c_n 'ler regresyon katsayılarıdır. Bu çalışmada kaya zemin koşullarında oluşacak pik ve spektral ivmeleri bulmak için dört farklı yer hareketi tahmin modeli kullanılmıştır. Kullanılan azalım ilişkilerinin ikisi klasik, Abrahamson & Silva (1997), Boore ve ark. (1997), diğer iki tanesi ise son yıllarda geliştirilmiş olan yeni nesil azalım ilişkileri olan Campbell & Bozorgnia (2008) ve Idriss'dir (2008). Azalım ilişkileri ile ilgili formüller ve parametreler detaylı bir şekilde verilmiştir.

2.5.1. Abrahamson & Silva (1997)

N.A. Abrahamson ve W.J. Silva (1997) tarafından önerilen azalım ilişkisinin hesaplanmasında kullanılan formüller ve parametreler aşağıda verilmiştir, (Denklem 2.3).

$$\ln Sa(g) = f_1(M, r_{rup}) + Ff_3(M) + HWf_4(M, r_{rup}) + Sf_5(PGA_{rock}) \quad (2.3)$$

burada;

Sa(g) : spektral ivme (g cinsinden)

M : moment büyüklüğü

r_{rup} : Kırılma düzlemine olan en yakın mesafe (km cinsinden)

F : Fay türü (1 ters faylanma, 0.5 ters/oblik, ve 0 diğer durumlarda)

HW : Sarkma tarafı değişkeni (1 sarkma duvarı tarafı için, 0 diğer durumlarda)

S : Saha türü değişkeni (0 kaya veya sıg toprak, 1 derin toprak)

$$f_1(M, r_{rup}) = \begin{cases} a_1 + a_2 \cdot (M - c_1) + a_{12} \cdot (8.5 - M)^n + dd & M \leq c_1 \text{ ise} \\ a_1 + a_4 \cdot (M - c_1) + a_{12} \cdot (8.5 - M)^n + dd & \text{if } M > c_1 \text{ ise} \end{cases} \quad (2.4)$$

$$dd = [a_3 + a_{13} \cdot (M - c_1)] \cdot \ln R$$

burada,

a_n : Periyoda bağlı regresyon katsayıları

c_n : Manyetüde bağlı regresyon katsayıları

$$R = \sqrt{r_{rup}^2 + c_4^2} \quad (2.5)$$

$$f_3(M) = \begin{cases} a_5 & M \leq 5.8 \\ a_5 + (a_6 - a_5)/(c_1 - 5.8) & 5.8 < M < c_1 \\ a_6 & M \geq c_1 \end{cases} \quad (2.6)$$

$$f_4(M, r_{rup}) = f_{HW}(M) \cdot f_{HW}(r_{rup}) \quad (2.7)$$

$$f_{HW}(M) = \begin{cases} 0 & M \leq 5.5 \\ M - 5.5 & 5.5 < M < 6.5 \\ 1 & M \geq 6.5 \end{cases} \quad (2.8)$$

$$f_{HW}(r_{rup}) = \begin{cases} 0 & r_{rup} < 4 \\ a_9 \cdot (r_{rup} - 4)/4 & 4 < r_{rup} < 8 \\ a_9 & 8 < r_{rup} < 18 \\ a_9 \cdot [1 - (r_{rup} - 18)/7] & 18 < r_{rup} < 24 \\ 0 & r_{rup} > 25 \end{cases} \quad (2.9)$$

$$f_5(PGA_{rock}) = a_{10} + a_{11} \cdot \ln(PGA_{rock} + c_5) \quad (2.10)$$

burada;

PGA_{rock} : Kaya zeminde pik yer ivmesi (g cinsinden) (azalım ilişkisinde $S=0$ kullanılarak hesaplanır).

2.5.2. Boore ve ark. (1997)

David M. Boore, William B. Joyner ve Thomas E. Fumal (1997) tarafından önerilen azalım ilişkisinin hesaplanmasında kullanılan formüller ve parametreler aşağıda verilmiştir, (Denklem 2.11).

$$\ln Y = b_1 + b_2(M_w - 6) + b_3(M_w - 6)^2 + b_5 \ln r + b_v \ln(V_s / V_A) \quad (2.11)$$

burada,

Y : Yer hareketi parametresi (P_{YI}, SI) g cinsinden

M_w : Moment büyüklüğü

r_{jb} : Kırılmanın düşey izdüşümüne en yakın mesafe (km cinsinden)

V_s : 30 m'deki ortalama kayma (makaslama) dalgası hızı (m/s cinsinden)

b_n : Regresyon katsayıları

$$r = \sqrt{r_{jb}^2 + h^2} \quad (2.12)$$

$$b_1 = \begin{cases} b_{ISS} & \text{yanal - atimli depremeler} \\ b_{IRS} & \text{ters - atimli depremler} \\ b_{IALL} & \text{mekanizma bilinmiyorsa} \end{cases} \quad (2.13)$$

2.5.3. Campbell&Bozorgnia (2008)

K.W. Campbell ve Y. Bozorgnia (2008) tarafından önerilen azalım ilişkisin hesaplanmasında kullanılan formüller ve parametreler aşağıda verilmiştir, (Denklem 2.14).

$$\ln Y = f_{mag} + f_{dis} + f_{flt} + f_{hng} + f_{site} + f_{sed} \quad (2.14)$$

burada;

Y : Yer hareketi parametresi (PVI, SI) g cinsinden

M_w : Moment büyüklüğü

r_{rup} : Kırılma düzlemine olan en yakın mesafe (km cinsinden)

r_{jb} : Kırılmanın düşey izdüşümüne en yakın mesafe (km cinsinden)

V_s : 30 m'deki ortalama kayma (makaslama) dalgası hızı (m/s cinsinden)

$$f_{mag} = \begin{cases} c_0 + c_1 & M \leq 5.5 \\ c_0 + c_1 M + c_2 (M - 5.5) & 5.5 < M < 6.5 \\ c_0 + c_1 M + c_2 (M - 5.5) + c_3 (M - 6.5) & M \geq 6.5 \end{cases} \quad (2.15)$$

burada;

c_n : Periyoda bağlı regresyon katsayıları

$$f_{dis} = (c_4 + c_5 M) \ln \sqrt{r_{rup}^2 + c_6^2} \quad (2.16)$$

$$f_{ft} = c_7 F_{RV} f_F(H) + c_8 F_N \quad (2.17)$$

$$f_{hng} = c_9 F_{RV} f_{HW}(R) f_{HW}(M) f_{HW}(H) \quad (2.18)$$

burada;

F_{RV} : Ters faylanma faktörü

F_{NM} : Normal faylanma faktörü

$$f_{site} = \begin{cases} c_{10} \ln(V_{S30}/k_1) + k_2 [\ln(A_{1100} + c \ln(V_{S30}/k_1)^n)] & V_{S30} \leq k_1 \\ -\ln(A_{1100} + c) & k_1 < V_{S30} < 1100 \\ c_{10} + k_2 n + \ln(V_{S30}/k_1) & V_{S30} \geq 1100 \\ c_{10} + k_2 n + \ln(1100/k_1) & \end{cases} \quad (2.19)$$

burada;

A_{1100} : Kaya zeminde $V_{S30}=1100$ m/s olduğundaki pik yer ivmesi (g cinsinden)

k_n : V_{S30} 'a bağlı katsayı

$$f_{sed} = \begin{cases} c_{11}(Z_{2.5} - 1) & Z_{2.5} \leq 1 \\ 0 & 1 \leq Z_{2.5} \leq 3 \\ c_{12} k_3 e^{-0.75} [1 - e^{0.25(Z_{2.5}-3)}] & Z_{2.5} \geq 3 \end{cases} \quad (2.20)$$

burada;

$Z_{2.5}$: 2.5km/s kayma dalga hızı olan tabakanın kalınlığı

2.5.4. Idriss (2008)

Idriss I. M. (2008) tarafından önerilen azalım ilişkisin hesaplanmasında kullanılan formüller ve parametreler aşağıda verilmiştir (Denklem 2.21).

$$\ln[\text{PSA}(T)] = \alpha_1(T) + \alpha_2(T)M - [\beta_1(T) + \alpha\beta_2(T)M] \ln(r_{rup} + 10) + \gamma(T)r_{rup} + \phi(T)F \quad (2.21)$$

burada;

PSA : Yer hareketi parametresi (PYİ, Sİ) g cinsinden

M : Moment büyüklüğü

r_{rup} : Kırılma düzlemine olan en yakın mesafe (km cinsinden)

α_n : M'ye bağlı regresyon katsayıları

β_n : M'ye bağlı regresyon katsayıları

γ : Regresyon katsayıları

Φ : Regresyon katsayıları

F : Faylanma türü değişkeni

T= Periyot (s)

$$F = \begin{cases} 0 & \Rightarrow \text{dogrultu - atimli depremeler} \\ 1 & \Rightarrow \text{ters - atimli depremler} \end{cases} \quad (2.22)$$

$$\sigma = 1.28 + 0.05 \ln(T) - 0.08M \quad (2.23)$$

burada;

σ : Standart sapma

$$T = \begin{cases} 0.05 & T < 0.05 \\ T & T > 0.05 \end{cases} \quad (2.24)$$

2.6. Olasılıksal Sismik Tehlike Analiz Yöntemi

Olasılıksal sismik analizini mevcut ücretsiz CRISIS-2007 veya ücretli EZ-FRISK gibi programlar ile gerçekleştirmek mümkündür (McGuire, 1976, Ordaz, 1991, McGuire, 2007). Hali hazırda kullanılan ondan fazla program Payton, Fortran, C, Java dilleri gibi çeşitli dillerde yazılmıştır. Bu çalışmada açık kaynaklı kullanımı daha kolay Visual Basic tabanlı EXCEL programı kullanılmıştır (Wang ve ark. 2012, Wang ve ark. 2013). Yazılım çekirdeğinde Cornell-McGuire metodunu kullanmaktadır (Cornell, 1968, McGuire, 1978, Cornell ve ark., 1979).

Yer hareketi parametrelerinin aşılma olasılıkları bu kısımda belirlenmiştir. Toplam olasılık teoremine göre, bir yerleşim yerinde, belirli bir yer hareketi genliğinin aşılma olasılığı, tehlikeye katkıda bulunan parametrelerin bütün deprem kaynakları, büyüklükleri ve mesafelerine göre integralleri alınarak bulunur. Dolayısıyla, belirli bir konumdaki sarsıntı seviyesinin (x), ortalama yıllık aşılma olasılığı aşağıdaki formülle hesaplanmıştır (Reiter, 1990), (Denklem 2.25).

$$\zeta(x \geq X) = \sum_{i=1}^l v_i \iint f_i(M) f_i(R | M) P(x \geq X | M, R) dR dM \quad (2.25)$$

burada;

v_i : i'nci kaynağın yıllık ortalama oranı.

f_i : olasılıksal yoğunluk fonksiyonu.

P : argümanın olasılığıdır.

Farklı büyüklükteki depremlerin belirli bir zaman periyotundaki görülme veya aşılma olasılıkları Poisson dağılımı (P) ile tahmin edilebilmektedir, (Denklem 2.26 ve 2.27).

$$P(N \geq 1) = 1 - e^{-\lambda t} \quad (2.26)$$

$$\lambda = -\frac{\ln(1-P)}{t} \quad (2.27)$$

burada;

N : Belirli bir depremin oluş sayısını temsil eden değişken

t : zaman aralığı

λ : Olayın ortalama oluşma oranı

P : argümanın olasılığını ifade eder.

Yeni yapılacak binalar için DBYBHY 2007' de tanımlanan ivme spektrumu, 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan depremi esas almaktadır. Bu deprem düzeyine ek olarak, mevcut binaların değerlendirilmesinde ve güçlendirme tasarımında kullanılmak üzere 50 yılda aşılma olasılığı %50 olan depremin ivme spektrumu ve 50 yılda aşılma olasılığı %2 olan depremin ivme spektrumu olarak iki farklı deprem düzeyi tanımlanmıştır. Bu çalışmada tasarım spektrumu olan 50 yılda %10 aşılma olasılığı ve Deprem Sonrası Kullanımı Gereken Binalar, İnsanların Kısa Süreli ve Yoğun Olarak Bulunduğu Binalar, Tehlikeli Madde İçeren Binaların bulunduğu sınıfların tasarım ya da güçlendirilmesinde kullanılan 50 yılda %2 aşılma olasılığı değerleri bulunacaktır. Yönetmelikte tanımlanan ve yukarıda verilen Denklem 2.27 ile hesaplanan dönüş periyotları Tablo 2.4'te gösterilmiştir.

Tablo 2.4. DBYBHY 2007'ye göre deprem düzeyleri

50 Yılda Aşılma Olasılığı	Dönüş Periyodu	λ
%2	2475 yıl	0.0004
%10	475 yıl	0.0021
%50	72 yıl	0.0139

Sakarya şehir merkezi ve ilçeleri için belirlenen depremlerin yeri, boyutu ve azalım ilişkilerindeki belirsizlikler çözümlenerek PYİ, spektral periyotlar 0.2s ve 1.0s için 50 yılda %2 ve %10 aşılma olasılıkları cinsinden yer hareketi parametreleri, bu yöntemler kullanılarak hesaplanmıştır.

BÖLÜM 3. SAKARYA ŞEHİRİ İÇİN OLASILIKSAL SİSMİK TEHLİKE ANALİZİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

3.1. Sismik Tehlike Eğrilerinin Hesaplanması

Sismik tehlike eğrileri, belirli bir yer hareketi parametresinin ortalama yıllık aşılma olasılığını gösterir. Bu çalışmada öncelikli olarak nüfusun en yoğun olduğu Sakarya şehir merkezinin sismik tehlike eğrileri hesaplanmıştır ve hesap yöntemleri detaylı olarak anlatılmıştır. Aynı işlem basamakları ve yöntemler izlenerek Sakarya ilinin diğer önemli yerleşim yerleri için sonuçlar elde edilmiştir.

3.1.1. Sakarya şehir merkezinin sismik tehlike eğrilerinin hesaplanması

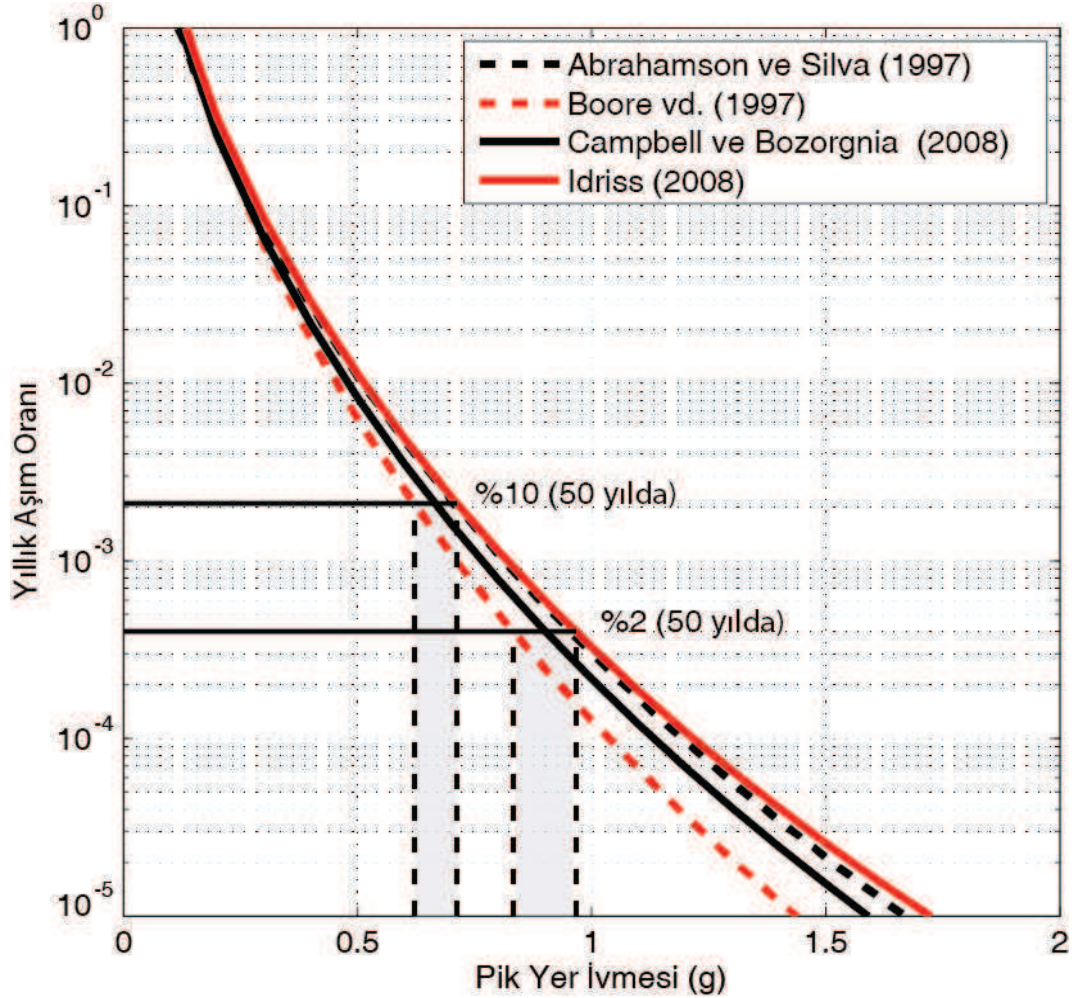
İlk adımda, hedef olarak seçilen, 40.77 K, 30.40 D, koordinatlarında bulunan Sakarya şehri merkezi için yıllık aşılma oranları, dört farklı azalım ilişkisi kullanılarak, pik yatay yer ivmesi için hesaplanmıştır, (Tablo 3.1.).

Tablo 3.1. Sakarya için farklı aşılma olasılığı oranlarına göre en büyük pik yatay yer ivmeleri

Azalım İlişkisi	50 yılda %2 aşılma olasılığı(g)	50 yılda %10 aşılma olasılığı(g)
Abrahamson ve Silva, (1997)	0.96	0.71
Boore ve ark., (1997)	0.84	0.63
Campbell ve Bozorgnia, (2008)*	0.90	0.67
Idriss, (2008)*	1.00	0.72
<i>Azalım İlişkileri Ortalaması</i>	<i>0.95</i>	<i>0.68</i>

Azalım ilişkisine göre elde edilen sonuçlar farklılık göstermektedir. 50 yılda %2 ve %10 aşılma olasılıkları incelendiğinde, %2 aşılma olasılığındaki sonuçların daha geniş

bir bantta olduğu okunmaktadır (Şekil 3.1, gri alanlar). En yüksek değerleri Idriss (2008) azalım ilişkisi verirken en küçük değerleri Boore ve ark. (1997) azalım ilişkisi vermektedir (Tablo 3.1). Ortalama olarak incelenen konum için, önümüzdeki 50 yıl içinde %2 aşılma olasılığı 0.95g, %10 aşılma olasılığı ise 0.68g olarak bulunmuştur.



Şekil 3.1. Sakarya için sismik tehlike eğrisi (Harman, Küyük, 2014)

3.1.2. Sakarya ilçelerini sismik tehlike eğrilerinin hesaplanması

Nüfusu bir milyona yaklaşan Sakarya ilinde yaşayanların yarım milyonu şehir merkezinde, diğer yarım milyona yakın kısımda çevre ilçelerinde yaşamaktadır. Dolayısıyla, Sakarya iline bağlı önemli yerleşim birimleri ve ilçelerin deprem tehlikelerinin bulunması önem arz eden bir konudur. Aynı işlem basamakları izlenerek ilin önemli yerleşim alanları olan Akyazı, Arifiye, Geyve, Hendek, Karasu ve

Pamukova gibi büyük ilçelerin ve 1999 depreminden sonra şehrin yeni yerleşim merkezi olan Camili bölgesi için pik yatay yer ivme değeri hesaplanmıştır (Tablo 3.2).

Tablo 3.2. Sakarya ili önemli yerleşim merkezleri için pik yatay yer ivmeleri

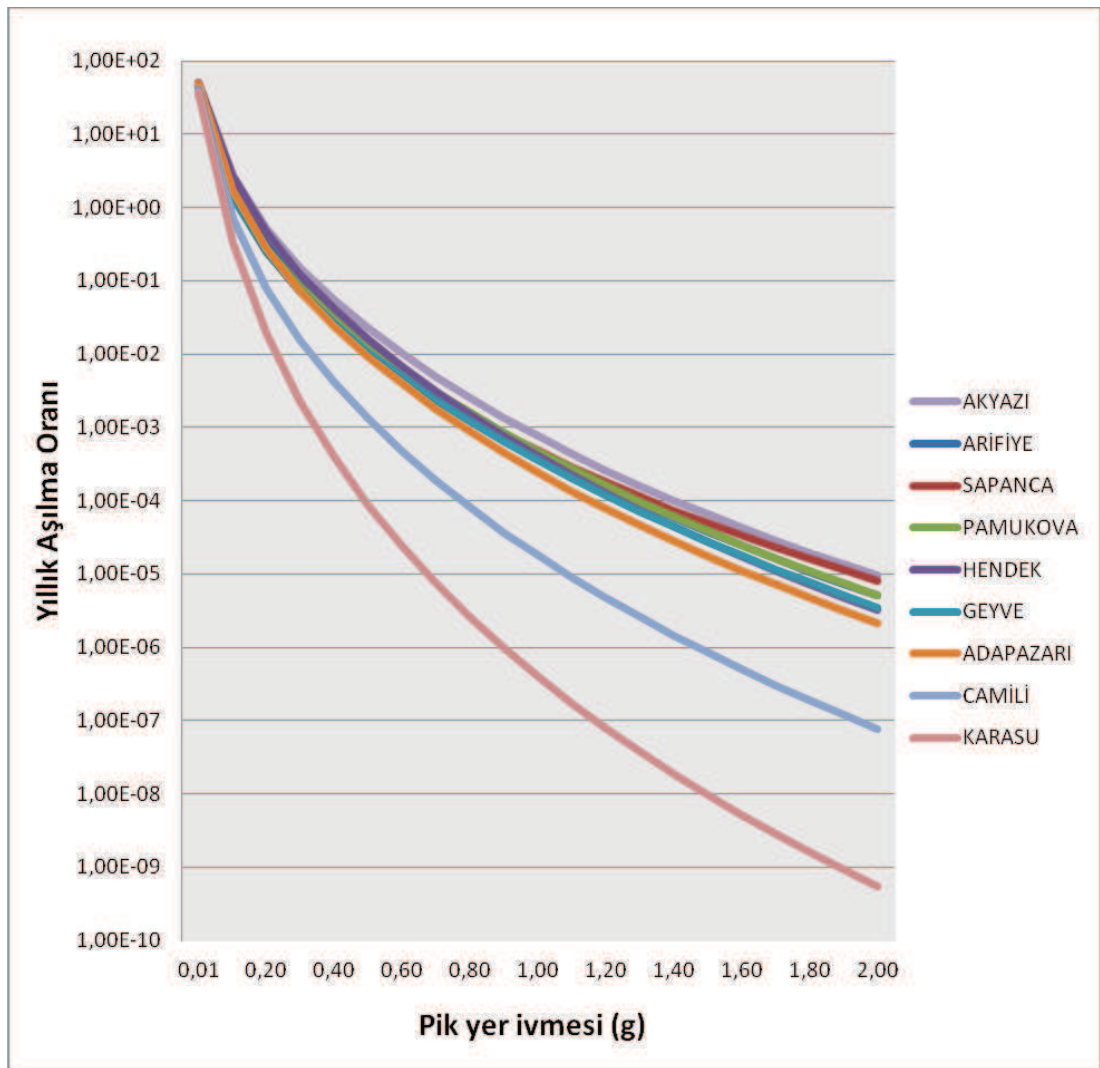
Yerleşim Yeri Adı	Koordinatları		50 yılda %2 aşılma olasılığı (g)	50 yılda %10 aşılma olasılığı (g)
	Enlem	Boylam		
Adapazarı	40.77	30.40	0.95	0.68
Akyazı	40.68	30.62	1.16	0.88
Arifiye	40.71	30.36	1.03	0.76
Camili	40.86	30.31	0.63	0.47
Geyve	40.50	30.29	0.98	0.72
Hendek	40.80	30.74	1.00	0.75
Karasu	41.10	30.69	0.41	0.30
Pamukova	40.51	30.17	1.03	0.76
Sapanca	40.69	30.26	1.01	0.74

PYİ için 50 yıl için %2 aşılma olasılığına göre hesaplanan en yüksek pik yer ivmesi Akyazı için olan 1.16g'dir. Akyazı'dan sonra sırasıyla 1.0g değeri ve üzerinde hesaplanan Arifiye 1.03g, Pamukova 1.03, Sapanca 1.01g, Hendek 1.01g'dir. Geyve ilçesi 0.98g, Adapazarı ise 0.95g olarak hesaplanmıştır. Yeni yerleşim merkezi olan Camili için 0.63g ve en kuzeyde bulunan Karasu ilçesi için 0.41g olarak en küçük değer hesaplanmıştır.

PYİ için 50 yıl için %10 aşılma olasılığına göre hesaplanan yine en yüksek pik yer ivmesi Akyazı için olan 0.88g 'dir. Akyazı'dan sonra sırasıyla hesaplanan değerler Arifiye 0.76g, Pamukova 0.76g, Sapanca 0.74g, Hendek 0.75g'dir. Geyve ilçesi 0.72g,

Adapazarı ise 0.68g olarak hesaplanmıştır. Yeni yerleşim merkezi olan Camili için 0.47g ve en kuzeyde bulunan Karasu ilçesi için 0.30g olarak en küçük değer hesaplanmıştır.

Hesaplanan sismik tehlike eğrileri en yüksek değerleri veren yerleşim bölgesi Akyazı'dan başlayarak sırasıyla Arifiye, Sapanca, Pamukova, Hendek, Geyve, Adapazarı, Camili ve en düşük değerlere sahip yerleşim bölgesi Karasu'ya kadar sıralanarak Şekil 3.2' de karşılaştırılmıştır.



Şekil 3.2. Sismik tehlike eğrileri karşılaştırması

3.2. Deprem Ayırıklaştırma Sonuçları

Sismik tehlike eğrisi sonucunda verilerin daha iyi algılanabilmesi ve yorumlanabilmesi açısından deprem ayırıklaştırma grafikleri üretilmiştir. Bu grafikler OSTA çalışmalarının önemli bir parçasıdır ve olası deprem senaryoları oluşturulurken faydalı olacaktır. Deprem ayırıklaştırma grafikleri tüm deprem büyüklüklerini ve mesafelerini hesaba katarak, incelenen bölgede meydana gelme ihtimali en yüksek olan hasar verecek depremlerin, meydana gelme olasılıklarını oransal olarak gösteren grafiklerdir.

Tehlike oluşturacak depremlerin hangi manyetüd büyüklüğü arasında, ne kadar uzaklıkta, hangi oranlarda meydana gelme olasılığının daha iyi anlaşılabilmesi için grafik belirli aralıklara bölünmüştür. Grafiklerde yatay eksenler deprem manyetüdüleri ve depremlerin meydana gelme olasılığı olan uzaklıklarını ifade etmektedir. Deprem büyüklükleri M_w ile ifade edilmekte olup, 0-5.0, 5.0-5.5, 5.5-6.0, 6.0-6.5, 6.5-7.0, 7.0-9.0 manyetüd aralıkları olarak altı dereceye bölünmüştür. Uzaklık seviyeleri ise 0-5, 5-10, 10-15, 15-30, 30-50, 50-75, 75-150 km olarak yedi seviyeye bölünmüştür. Düşey eksen ise tehlike olasılık oranını yüzdesel olarak ifade etmektedir.

Sakarya merkezi olan Adapazarı ilçesi, Akyazı, Arifiye, Geyve, Hendek, Karasu ve Pamukova gibi büyük ilçelerin ve 1999 depreminden sonra şehrin yeni yerleşim merkezi olan Camili bölgesi için hesaplanan sismik tehlike eğrilerinden üretilen ayırıklaştırma eğrileri 50 yılda %10 ve %2 aşılma olasılığında PYİ, $T=0.2s$, $T=1.0s$ periyotlar için bölgede tehlike oluşturabilecek depremlerin hangi büyüklük aralığında, hangi oranla ne kadar mesafede oluşacağı ihtimali ayrı ayrı hesaplanmıştır.

Adapazarı için elde edilen deprem ayırıklaştırma grafiği Şekil 3.3'te gösterilmiştir. Adapazarı merkezinde PYİ için tehlike oluşturma ihtimali en yüksek olan depremlerin toplamda %80 oranda 10-15km uzaklıkta olduğu görülmektedir. 6-6.5 büyüklüğündeki depremler %30 civarında, 6.5-7 depremlerin %10, 7'den büyük depremlerin oranı da %7 olarak hesaplanmıştır. $T=0.2s$ ise tehlike oluşturabilecek depremler 10-15km uzaklıkta 6-6.5 büyüklüğündeki depremler %35, 6.5-7

depremlerin %15, 7'den büyük depremlerin oranı da %5 olarak hesaplanmıştır. $T=1.0s$ ise tehlike oluşturabilecek depremler 10-15km uzaklıkta 6-6.5 büyüklüğündeki depremlerin oranı %20 , 6.5-7 depremlerin %20, 7'den büyük depremlerin oranı da %15 olarak, 15-30 km arası gibi biraz daha uzak kaynaklarda meydana gelecek depremlerin tehlike oranları ise 6.5-7 büyüklüğü arasında %17, 7'den büyük depremlerin tehlike oranı ise %10 civarlarına ulaştığı hesaplanmıştır.

Akyazı için elde edilen deprem ayırıklaştırma grafiği Şekil 3.4'te gösterilmiştir. Akyazı ilçesinde PYİ için tehlike oluşturma ihtimali en yüksek olan depremlerin toplamda %90 oranda 10-15km uzaklıkta olduğu görülmektedir. 6-6.5 büyüklüğündeki depremler %35 civarında, 6.5-7 depremlerin %20, 7'den büyük depremlerin oranı da %10 olarak hesaplanmıştır. $T=0.2s$ ise tehlike oluşturabilecek depremler 10-15km uzaklıkta 6-6.5 büyüklüğündeki depremler %35 civarında, 6.5-7 depremlerin %30, 7'den büyük depremlerin oranı da %15 olarak hesaplanmıştır. $T=1.0s$ ise tehlike oluşturabilecek depremler 10-15km uzaklıkta 6-6.5 büyüklüğündeki depremler %20 civarında, 6.5-7 depremlerin %30, 7'den büyük depremlerin oranı da %20 olarak, 15-30 km arası gibi biraz daha uzak kaynaklarda meydana gelecek depremlerin tehlike oranları ise 6.5-7 büyüklüğü arasında %10, 7'den büyük depremlerin tehlike oranı ise yine %10 civarlarında kaldığı hesaplanmıştır.

Arifiye için elde edilen deprem ayırıklaştırma grafiği Şekil 3.5'te gösterilmiştir. Arifiye ilçesinde PYİ için tehlike oluşturma ihtimali en yüksek olan depremlerin toplamda %90 oranda 5-10km uzaklıkta olduğu görülmektedir. 6-6.5 büyüklüğündeki depremlerin oranı %25, 6.5-7 depremlerin %20, 7'den büyük depremlerin oranı da %15 olarak hesaplanmıştır. $T=0.2s$ ise tehlike oluşturabilecek depremler 5-10km uzaklıkta 6-6.5 büyüklüğündeki depremler %25 civarında, 6.5-7 depremlerin %25, 7'den büyük depremlerin oranı da %20 olarak hesaplanmıştır. $T=1.0s$ ise tehlike oluşturabilecek depremler 5-10km uzaklıkta 6-6.5 büyüklüğündeki depremlerin oranı %10, 6.5-7 depremlerin %35 , 7'den büyük depremlerin oranı da %30 olarak, 15-30 km arası gibi biraz daha uzak kaynaklarda meydana gelecek depremlerin tehlike oranları ise 6.5-7 büyüklüğü arasında %10, 7'den büyük depremlerin tehlike oranı ise yine %5 civarlarında kaldığı hesaplanmıştır.

Camili için elde edilen deprem ayırıklaştırma grafiği Şekil 3.6'da gösterilmiştir. Camili yerleşim bölgesinde PYİ için tehlike oluşturma ihtimali en yüksek olan depremlerin toplamda %80 oranda 15-30km uzaklıkta olduğu görülmektedir. 6-6.5 büyüklüğündeki depremler %25 civarında, 6.5-7 depremlerin %25, 7'den büyük depremlerin oranı da %15 olarak hesaplanmıştır. $T=0.2s$ ise tehlike oluşturabilecek depremler 15-30km uzaklıkta 6-6.5 büyüklüğündeki depremler %25, 6.5-7 depremlerin %25, 7'den büyük depremlerin oranı da %15 olarak hesaplanmıştır. $T=1.0s$ ise tehlike oluşturabilecek depremler 15-30km uzaklıkta 6-6.5 büyüklüğündeki depremlerin oranı %10, 6.5-7 depremlerin %25, 7'den büyük depremlerin oranı da %25 olarak, 30-50 km arası gibi biraz daha uzak kaynaklarda meydana gelecek depremlerin tehlike oranları ise 6.5-7 büyüklüğü arasında %17, 7'den büyük depremlerin tehlike oranı ise yine %15 civarlarına ulaştığı hesaplanmıştır.

Geyve için elde edilen deprem ayırıklaştırma grafiği Şekil 3.7'de gösterilmiştir. Geyve ilçesinde PYİ için tehlike oluşturma ihtimali en yüksek olan depremlerin toplamda %80 oranda 10-15km uzaklıkta olduğu görülmektedir. 6-6.5 büyüklüğündeki depremler %20 civarında, 6.5-7 depremlerin %30, 7'den büyük depremlerin oranı da %2 olarak hesaplanmıştır. $T=0.2s$ ise tehlike oluşturabilecek depremler 10-15km uzaklıkta 6-6.5 büyüklüğündeki depremler %20, 6.5-7 depremlerin %40, 7'den büyük depremlerin oranı da %3 olarak hesaplanmıştır. $T=1.0s$ ise tehlike oluşturabilecek depremler 10-15km uzaklıkta 6-6.5 büyüklüğündeki depremlerin oranı %10, 6.5-7 depremlerin %45, 7'den büyük depremlerin oranı da %3 olarak, 15-30 km arası gibi biraz daha uzak kaynaklarda meydana gelecek depremlerin tehlike oranları ise 6.5-7 büyüklüğü arasında %15, 7'den büyük depremlerin tehlike oranı ise yine %10 civarlarında kaldığı hesaplanmıştır.

Hendek için elde edilen deprem ayırıklaştırma grafiği Şekil 3.8'de gösterilmiştir. Hendek ilçesinde PYİ için tehlike oluşturma ihtimali en yüksek olan depremlerin toplamda %80 oranda 10-15km uzaklıkta olduğu görülmektedir. 6-6.5 büyüklüğündeki depremler %30 civarında, 6.5-7 depremlerin %10, 7'den büyük depremlerin oranı da %10 olarak hesaplanmıştır. $T=0.2s$ ise tehlike oluşturabilecek depremler 10-15km uzaklıkta 6-6.5 büyüklüğündeki depremler %30, 6.5-7

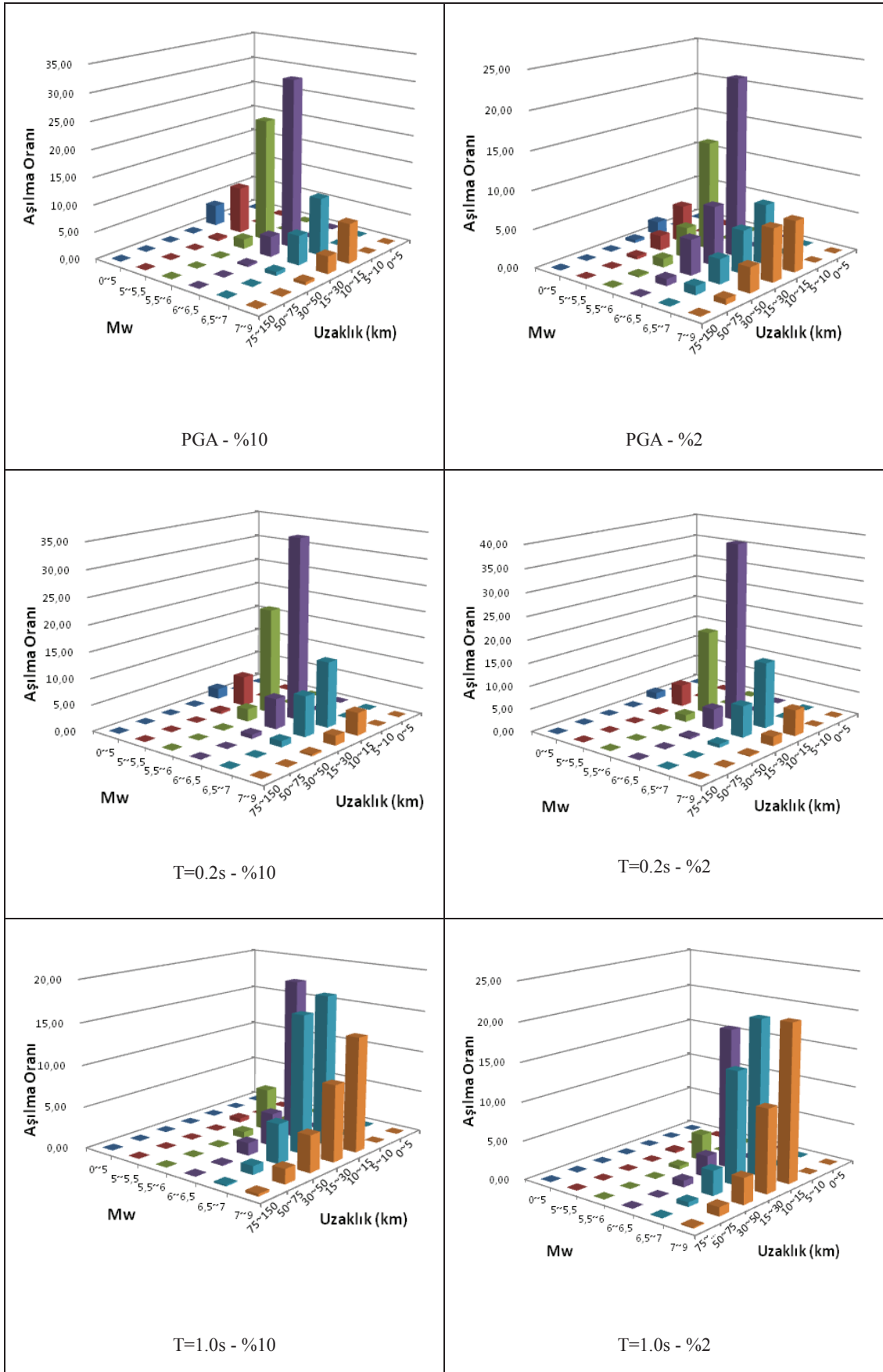
depremlerin %15, 7'den büyük depremlerin oranı da %15 olarak hesaplanmıştır. $T=1.0s$ ise tehlike oluşturabilecek depremler 10-15km uzaklıkta 6-6.5 büyüklüğündeki depremlerin oranı %20, 6.5-7 depremlerin %15, 7'den büyük depremlerin oranı da %25 olarak, 15-30 km arası gibi biraz daha uzak kaynaklarda meydana gelecek depremlerin tehlike oranları ise 6.5-7 büyüklüğü arasında %10, 7'den büyük depremlerin tehlike oranı ise yine %15 civarlarına ulaştığı hesaplanmıştır.

Karasu için elde edilen deprem ayrıklaştırma grafiği Şekil 3.9'da gösterilmiştir. Karasu ilçesinde PYİ için tehlike oluşturma ihtimali en yüksek olan depremlerin toplamda %70 oranda 30-50km uzaklıkta olduğu görülmektedir. 6-6.5 büyüklüğündeki depremler %20 civarında, 6.5-7 depremlerin %20, 7'den büyük depremlerin oranı da %20 olarak hesaplanmıştır. $T=0.2s$ ise tehlike oluşturabilecek depremler 30-50km uzaklıkta 6-6.5 büyüklüğündeki depremler %20, 6.5-7 depremlerin %25, 7'den büyük depremlerin oranı da %25 olarak hesaplanmıştır. $T=1.0s$ ise tehlike oluşturabilecek depremler 30-50km uzaklıkta 6-6.5 büyüklüğündeki depremlerin oranı %10, 6.5-7 depremlerin %20, 7'den büyük depremlerin oranı da %30 olarak, 50-75 km arası gibi biraz daha uzak kaynaklarda meydana gelecek depremlerin tehlike oranları ise 6.5-7 büyüklüğü arasında %10, 7'den büyük depremlerin tehlike oranı ise yine %15 civarlarına ulaştığı hesaplanmıştır.

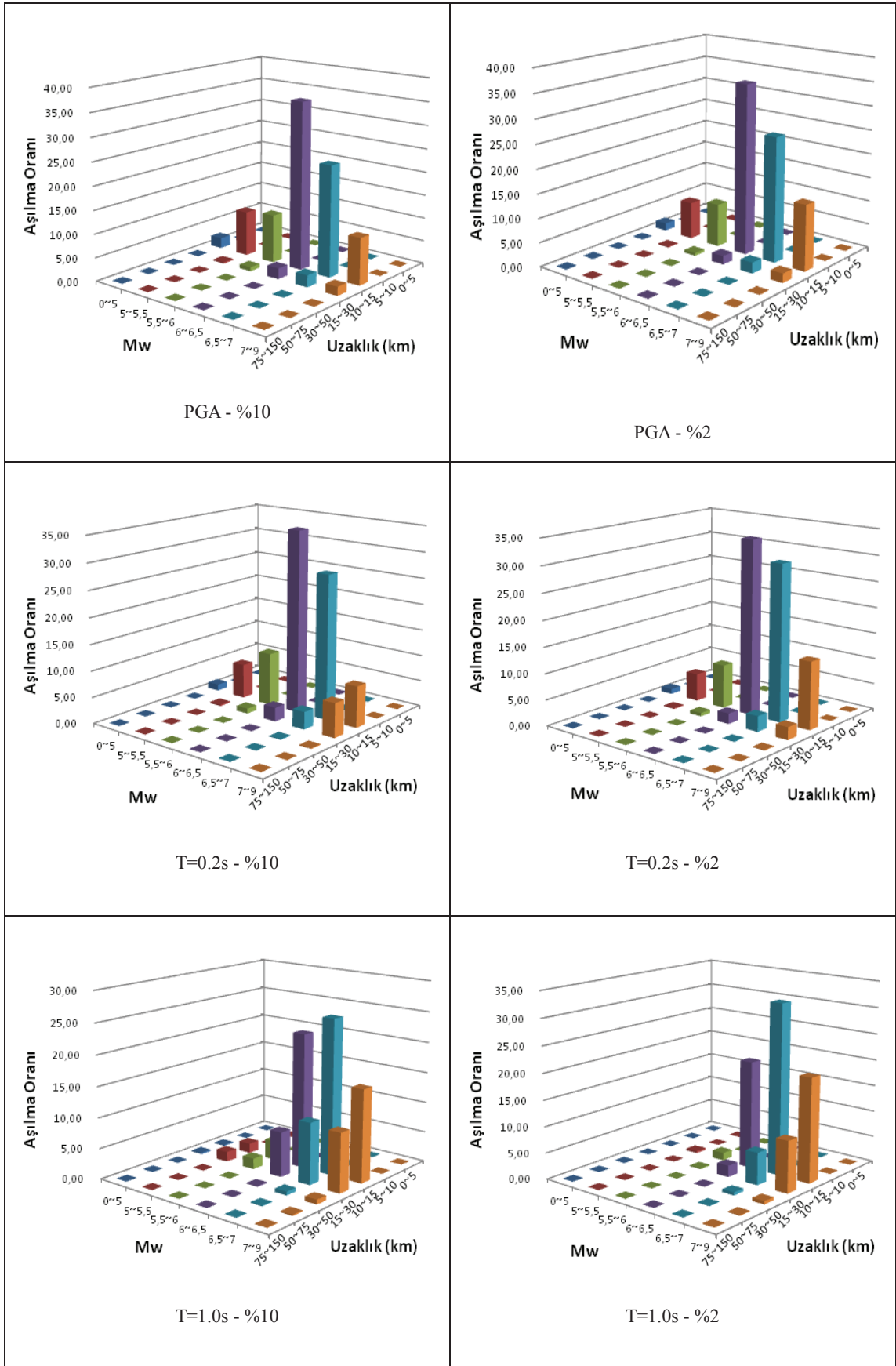
Pamukova için elde edilen deprem ayrıklaştırma grafiği Şekil 3.10'da gösterilmiştir. Pamukova ilçesinde PYİ için tehlike oluşturma ihtimali en yüksek olan depremlerin toplamda %95 oranda 10-15km uzaklıkta olduğu görülmektedir. 6-6.5 büyüklüğündeki depremler %25 civarında, 6.5-7 depremlerin %35, 7'den büyük depremlerin oranı da %10 olarak hesaplanmıştır. $T=0.2s$ ise tehlike oluşturabilecek depremler 10-15km uzaklıkta 6-6.5 büyüklüğündeki depremler %25, 6.5-7 depremlerin %35, 7'den büyük depremlerin oranı da %10 olarak hesaplanmıştır. $T=1.0s$ ise tehlike oluşturabilecek depremler 10-15km uzaklıkta 6-6.5 büyüklüğündeki depremlerin oranı %15, 6.5-7 depremlerin %40, 7'den büyük depremlerin oranı da %20 olarak, 15-30 km arası gibi biraz daha uzak kaynaklarda meydana gelecek depremlerin tehlike oranları ise 6.5-7 büyüklüğü arasında %10, 7'den büyük depremlerin tehlike oranı ise yine %5 civarlarında kaldığı hesaplanmıştır.

Sapanca için elde edilen deprem ayırıklaştırma grafiği Şekil 3.11'de gösterilmiştir. Sapanca ilçesinde PYİ için tehlike oluşturma ihtimali en yüksek olan depremlerin toplamda %90 oranda 5-10km uzaklıkta olduğu görülmektedir. 6-6.5 büyüklüğündeki depremlerin oranı %20, 6.5-7 depremlerin %30, 7'den büyük depremlerin oranı da %20 olarak hesaplanmıştır. $T=0.2s$ ise tehlike oluşturabilecek depremler 5-10km uzaklıkta 6-6.5 büyüklüğündeki depremler %20 civarında, 6.5-7 depremlerin %30, 7'den büyük depremlerin oranı da %20 olarak hesaplanmıştır. $T=1.0s$ ise tehlike oluşturabilecek depremler 5-10km uzaklıkta 6-6.5 büyüklüğündeki depremlerin oranı %20, 6.5-7 depremlerin %30, 7'den büyük depremlerin oranı da %20 olarak 15-30 km arası gibi biraz daha uzak kaynaklarda meydana gelecek depremlerin tehlike oranları ise 6.5-7 büyüklüğü arasında %10, 7'den büyük depremlerin tehlike oranı ise yine %5 civarlarında kaldığı hesaplanmıştır.

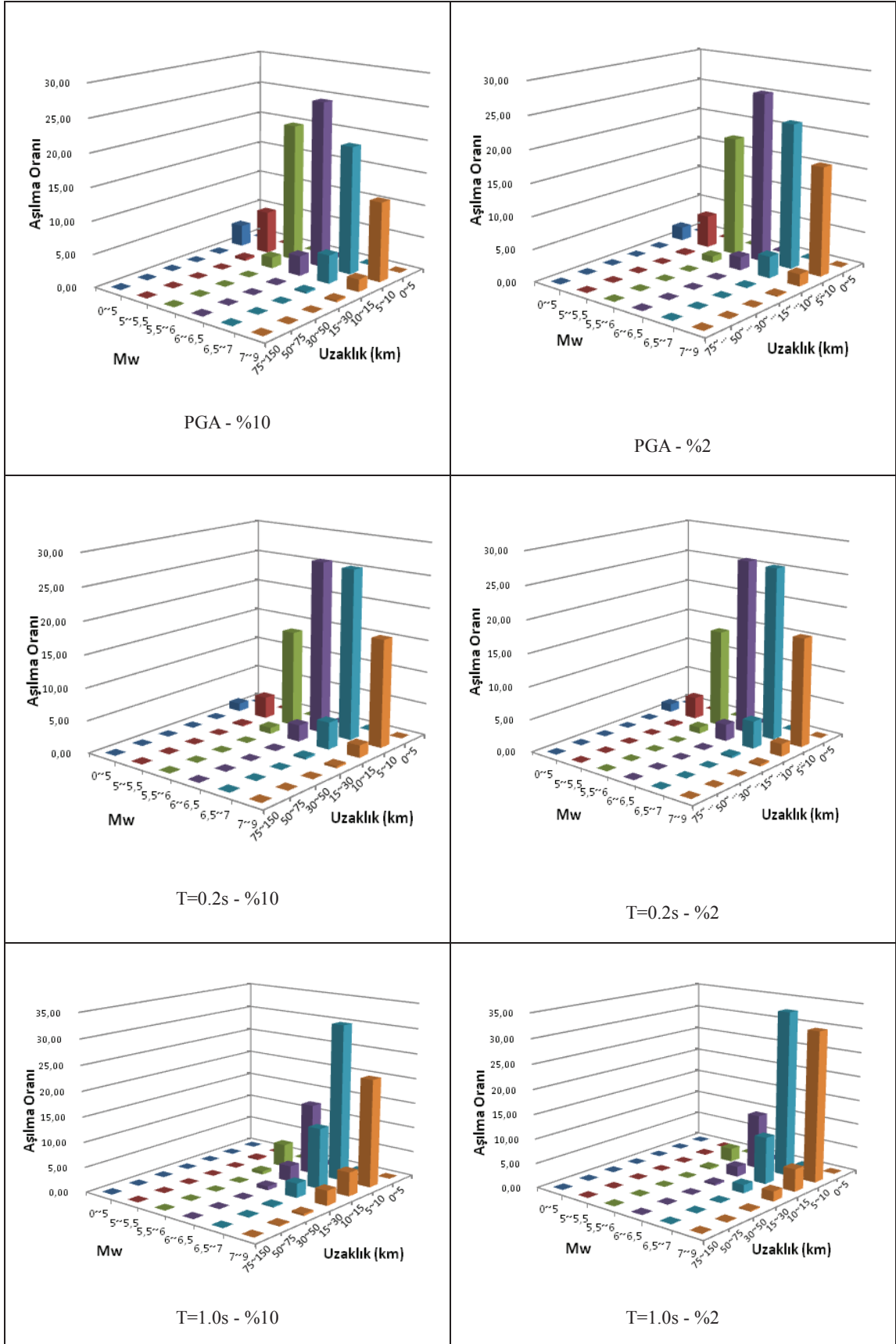
Deprem ayırıklaştırma grafik sonuçları özetlemek gerekirse, Sakarya ilinin Kuzey Anadolu Fay Hattı boyunca uzanan yerleşim bölgeleri olan Adapazarı, Arifiye, Geyve, Hendek, Pamukova, Sapanca'da en büyük tehlikeyi oluşturacak depremlerin uzaklıklarının 0-15km civarında olduğu, Kuzey Anadolu Fay Hattından daha uzakta bulunan Camili için 15-30km aralığında olduğu, ilin en kuzeyinde bulunan Karasu ilçesinde ise 30-50km uzaklıkta olduğu hesaplanmış ve Şekil 3.3, 3.4, 3.5, 3.6, 3.7, 3.8, 3.9, 3.10 ve 3.11'de grafiksel olarak gösterilmiştir.



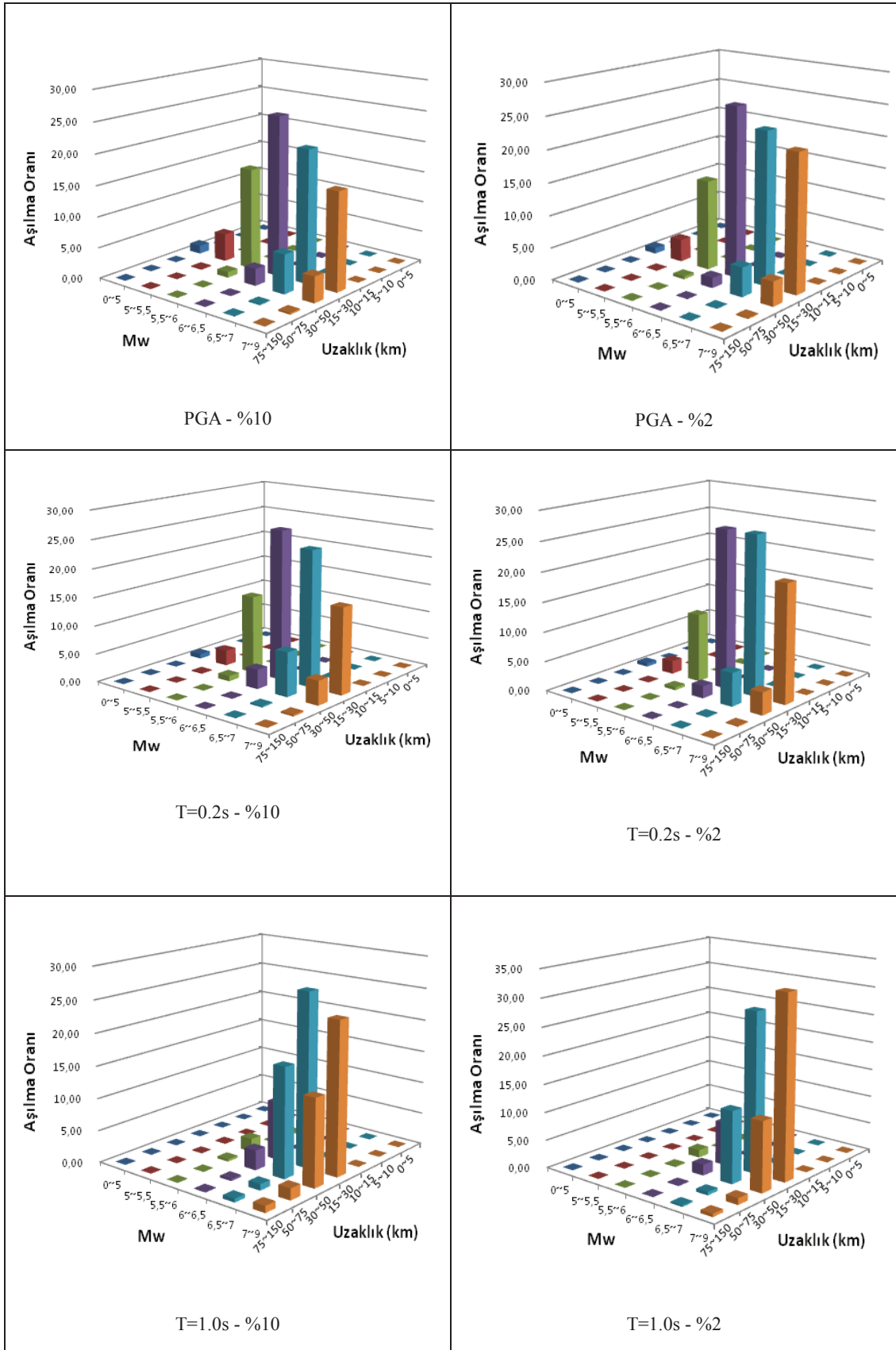
Şekil 3.3. Adapazarı için deprem ayrıklaştırma grafikleri



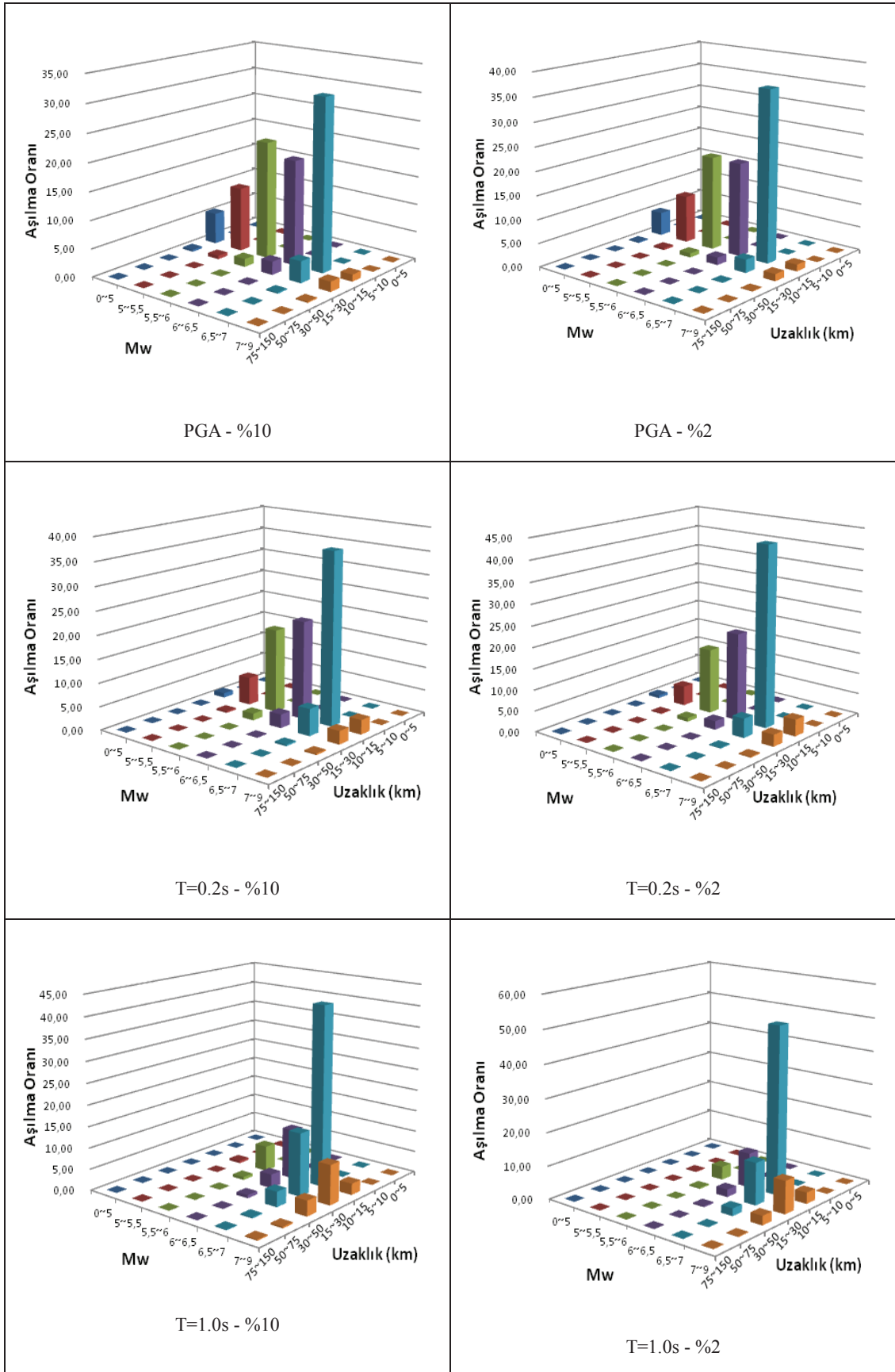
Şekil 3.4. Akyazi için deprem ayrıklaştırma grafikleri



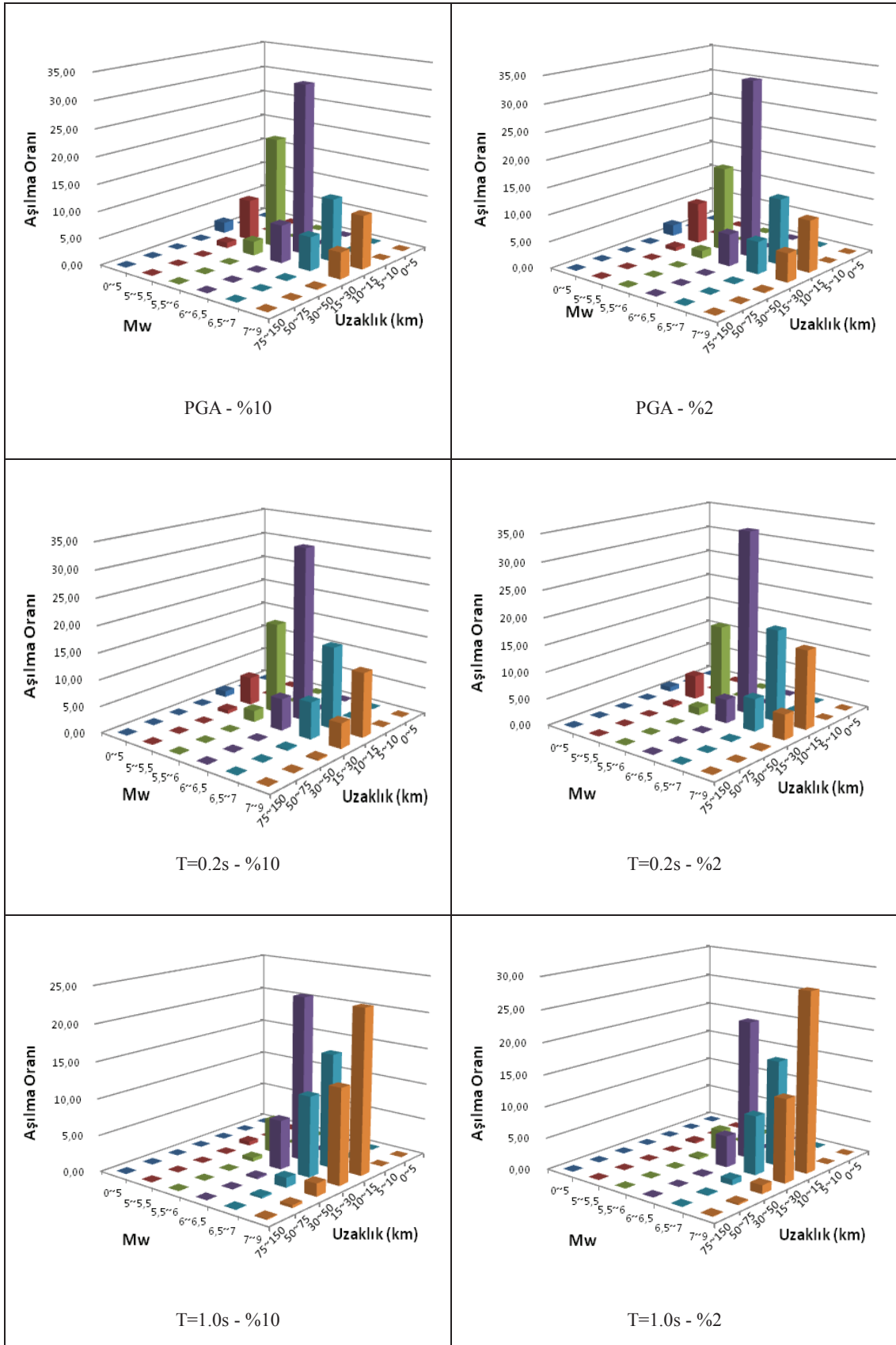
Şekil 3.5. Arifiye için deprem ayrıklaştırma grafikleri



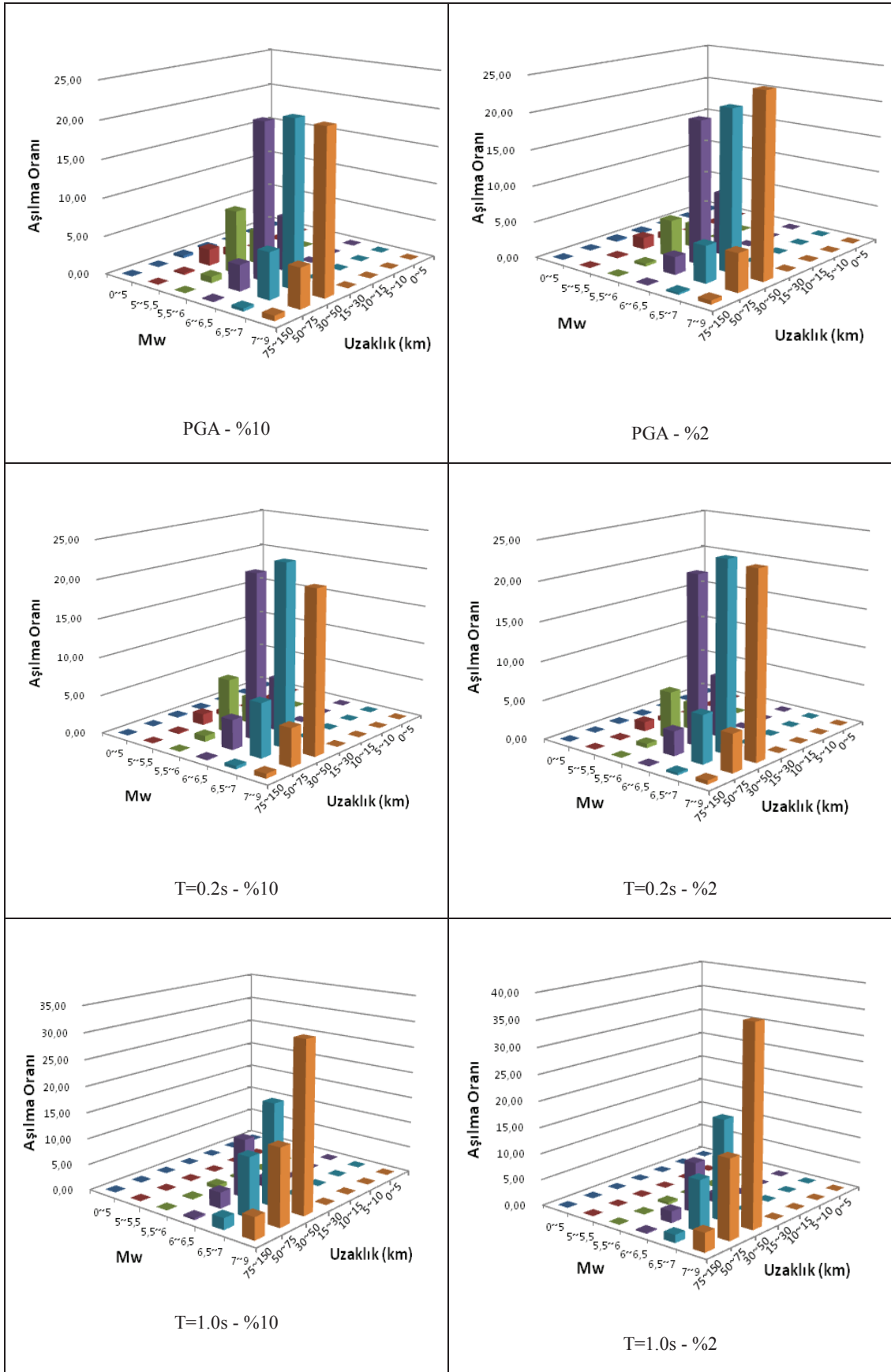
Şekil 3.6. Camili için deprem ayrıklaştırma grafikleri



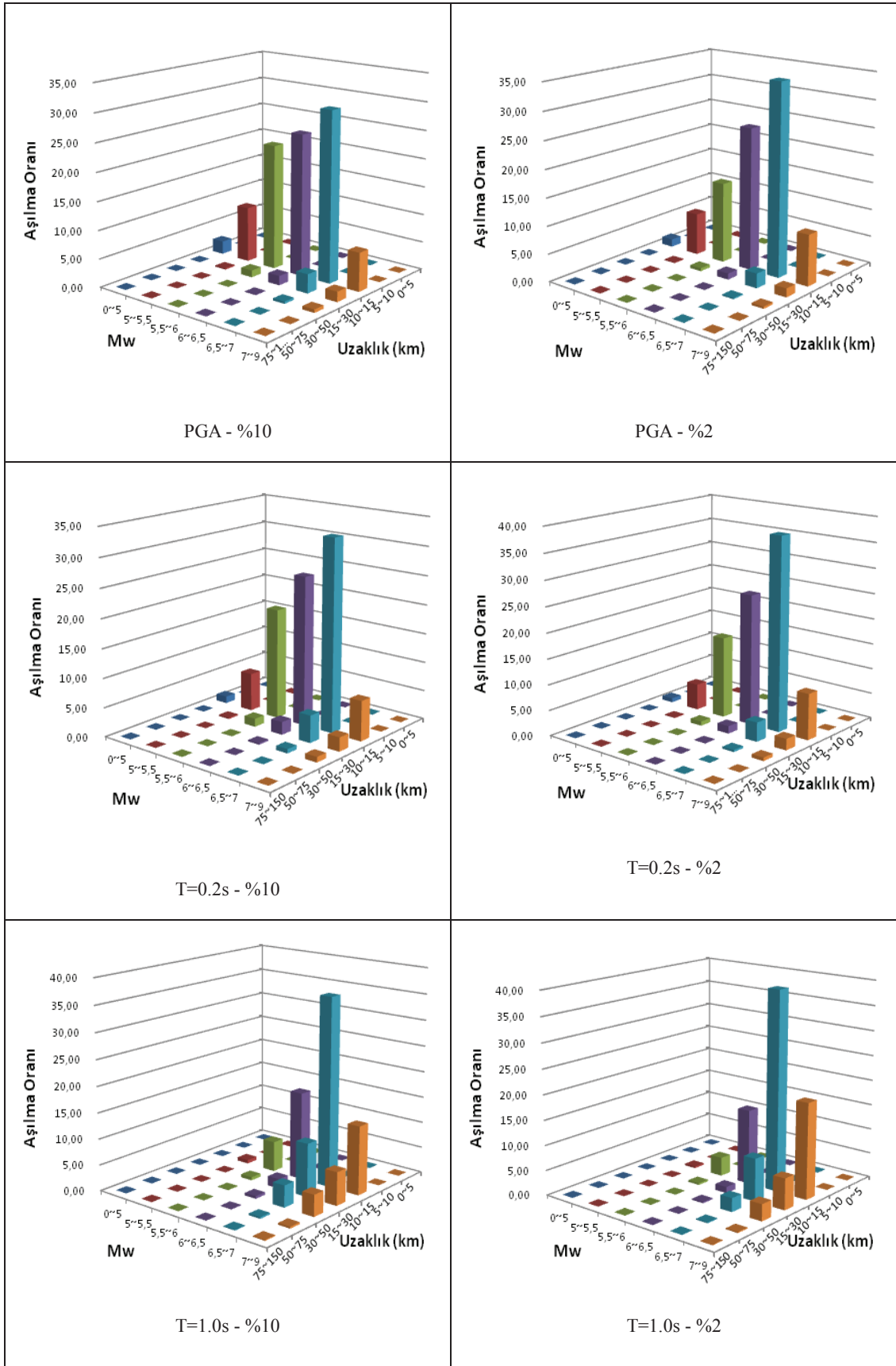
Şekil 3.7. Geyve için deprem ayırıklaştırma grafikleri



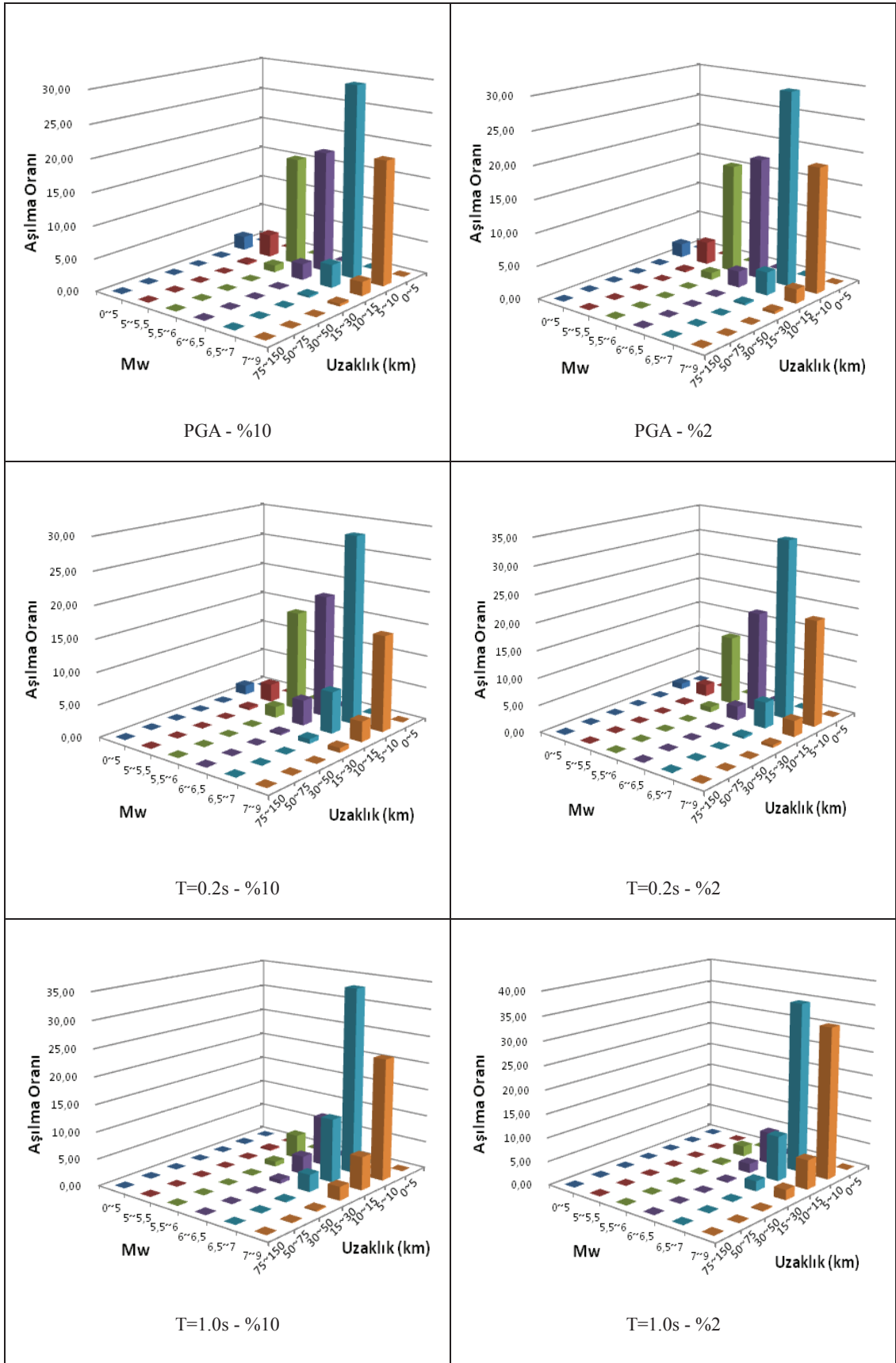
Şekil 3.8. Hekimlik için deprem ayrıklaştırma grafikleri



Şekil 3.9. Karasu için deprem ayırıklaştırma grafikleri



Şekil 3.10. Pamukova için deprem ayrıklaştırma grafikler



Şekil 3.11. Sapanca için deprem ayrıklaştırma grafikleri

3.3. Elde Edilen Tehlike Spektrumları

Yeni inşa edilecek yapıların tasarımında ya da mevcut da güçlendirilecek yapıların hesaplarında kullanılacak deprem yükünü tespit etmek için tasarım spektrumuna gerek duyulur. Geçmişte bölgede meydana gelen depremlerden faydalanılarak, gelecekte bölgede meydana gelebilecek depremler sonucu yapıların maruz kalacağı etki için tehlike spektrumları hesaplanır.

DBYBHY 2007'ye göre, deprem yüklerinin belirlenmesi için esas alınacak olan Spektral İvme Katsayısı, $A(T)$ %5 sönüm oranı için tanımlanan Elastik İvme Spektrumu'nun ordinatı olan Elastik Spektral İvme, $S_{ae}(T)$, Spektral İvme Katsayısı ile yerçekimi ivmesi g 'nin çarpımına karşı gelmektedir, (Denklem 3.1, 3.2).

$$A(T) = A_o * I * S(T) \quad (3.1)$$

$$S_{ae} = A(T) * g \quad (3.2)$$

Burada, A_o , Etkin Yer ivmesi katsayısını ifade etmektedir. Yönetmelikte deprem bölgelerine göre A_o katsayıları Tablo 3.3'te verilmiştir.

Tablo 3.3. Etkin yer ivmesi katsayısı (A_o)

Deprem Bölgesi	A_o
1	0.40
2	0.30
3	0.20
4	0.10

DBYBHY 2007'ye göre, I bina önem katsayısını ifade etmektedir. Hesaplanan spektrumlar yönetmelikte diğer binalar kısmı için $I=1$ alınmıştır.

$S(T)$, Spektrum katsayısını ifade etmektedir. $S(T)$ yerel zemin koşullarına ve doğal bina periyodu göre T 'ye bağlı olarak hesaplanır, (Denklem 3.3, 3.4, 3.5).

$$S(T) = 1 + 1.5 \frac{T}{T_A} \quad (0 \leq T \leq T_A) \quad (3.3)$$

$$S(T) = 2.5 \quad (T_A \leq T \leq T_B) \quad (3.4)$$

$$S(T) = 2.5 \left(\frac{T_B}{T} \right) \quad (T_B \leq T) \quad (3.5)$$

Spektrum karakteristik periyotları , T_A ve T_B için kullanılacak değerler DBYBHY 2007'ye göre Tablo 3.4'te verilmiştir.

Tablo 3.4. Spektrum Karakteristik Periyotları (T_A , T_B)

DBYBHY'de bulunan Tablo 6.2'ye göre yerel zemin sınıfı	T_A	T_B
Z1	0.10	0.3
Z2	0.15	0.4
Z3	0.15	0.6
Z4	0.20	0.9

Sismik tehlike eğrilerine göre Sakarya şehir merkezi Adapazarı, Camili, Akyazı, Geyve, Hendek, Karasu, Pamukova ve Sapanca ilçeleri için tehlike spektrum eğrisi hesaplanmıştır. Hesaplanan eğriler, yukarıda hesap yöntemi verilen DBYHY 2007' ye göre bulunan tasarım spektrumları ile karşılaştırılmıştır.

Adapazarı merkezi için hesaplanan tehlike spektrumu Şekil 3.11'de gösterilmiştir. Tehlike spektrum eğrisi DBYBHY 2007 spektrumu ile karşılaştırıldığında $T=0.2s$ için elde edilen değerlerin 1.5-2 kat daha büyük olduğu görülmektedir.

Akyazı ilçesi için hesaplanan tehlike spektrumu Şekil 3.12'de gösterilmiştir. Tehlike spektrum eğrisi DBYBHY 2007 spektrumu ile karşılaştırıldığında $T=0.2s$ için elde edilen değerlerin 2 katından daha büyük olduğu görülmektedir.

Arifiye ilçesi için hesaplanan tehlike spektrumu Şekil 3.13'de gösterilmiştir. Tehlike spektrum eğrisi DBYBHY 2007 spektrumu ile karşılaştırıldığında $T=0.2s$ için elde edilen değerlerin 2 kat daha büyük olduğu görülmektedir.

Camili yerleşim bölgesi için hesaplanan tehlike spektrumu Şekil 3.14'de gösterilmiştir. Tehlike spektrum eğrisi DBYBHY 2007 spektrumu ile karşılaştırıldığında $T=0.2s$ için elde edilen değerlerin biraz üzerindedir. Elde edilen spektrum yönetmelikteki spektruma en yakın spektrum olduğu görülmektedir.

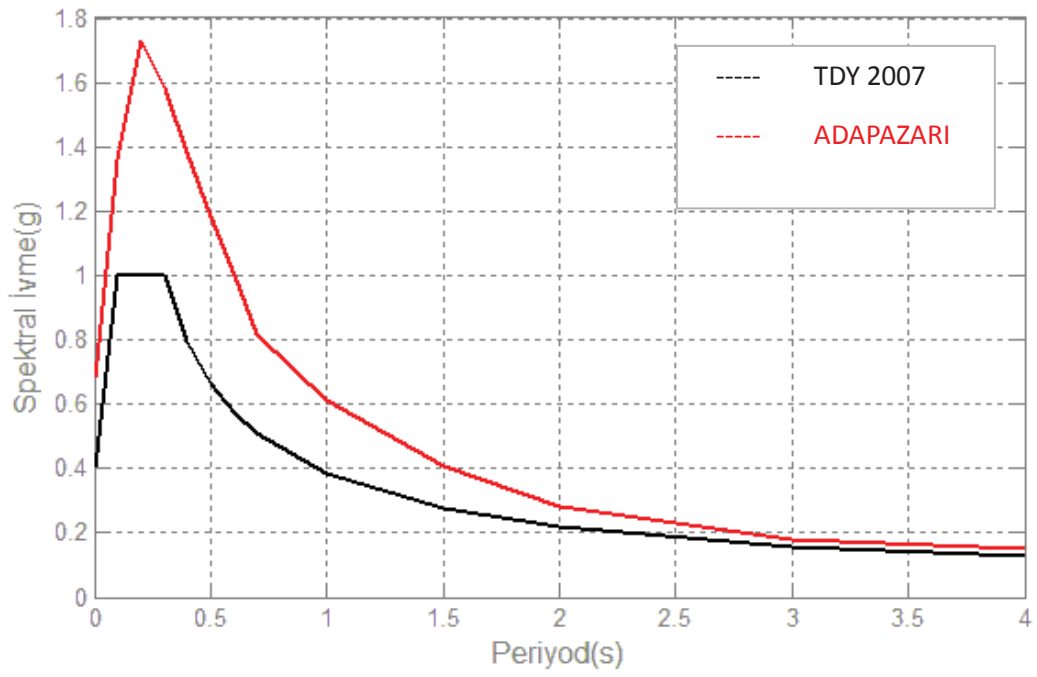
Geyve ilçesi için hesaplanan tehlike spektrumu Şekil 3.15'de gösterilmiştir. Tehlike spektrum eğrisi DBYBHY 2007 spektrumu ile karşılaştırıldığında $T=0.2s$ için elde edilen değerlerin 2 kat daha büyük olduğu görülmektedir.

Hendek ilçesi için hesaplanan tehlike spektrumu Şekil 3.16'de gösterilmiştir. Tehlike spektrum eğrisi DBYBHY 2007 spektrumu ile karşılaştırıldığında $T=0.2s$ için elde edilen değerlerin 2 kat daha büyük olduğu görülmektedir.

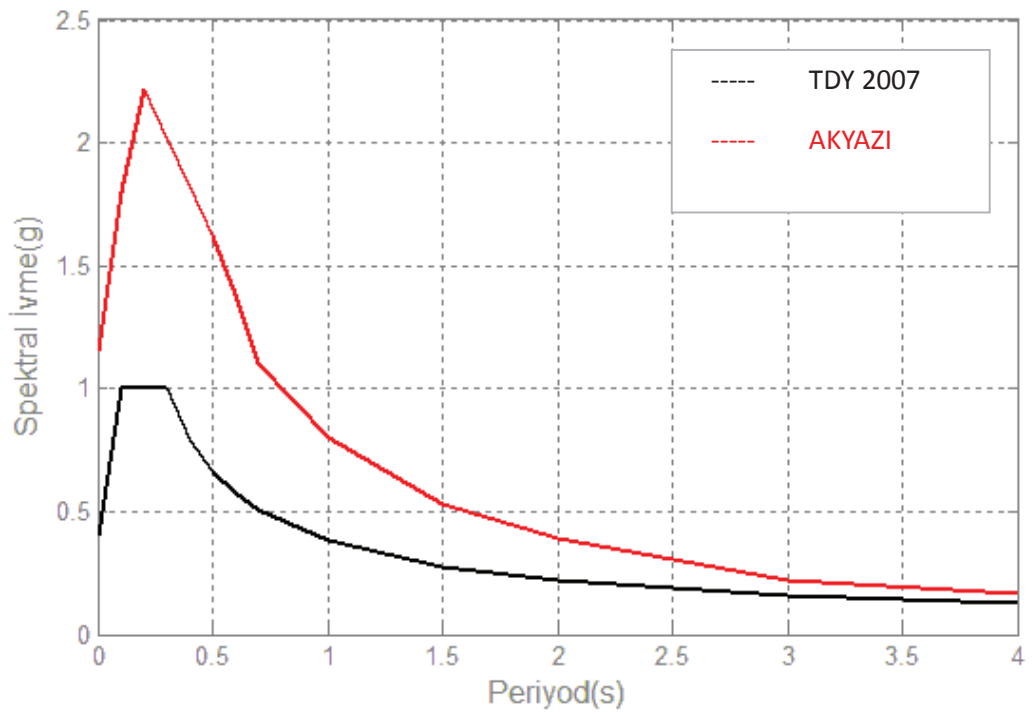
Karasu ilçesi için hesaplanan tehlike spektrumu Şekil 3.17'de gösterilmiştir. Tehlike spektrum eğrisi DBYBHY 2007 spektrumu ile karşılaştırıldığında $T=0.2s$ için elde edilen değerlerin daha düşüktür. Yönetmelikteki spektrum değerlerinin altında kalan tek yerleşim bölgesidir.

Pamukova ilçesi için hesaplanan tehlike spektrumu Şekil 3.18'de gösterilmiştir. Tehlike spektrum eğrisi DBYBHY 2007 spektrumu ile karşılaştırıldığında $T=0.2s$ için elde edilen değerlerin 2 kat daha büyük olduğu görülmektedir.

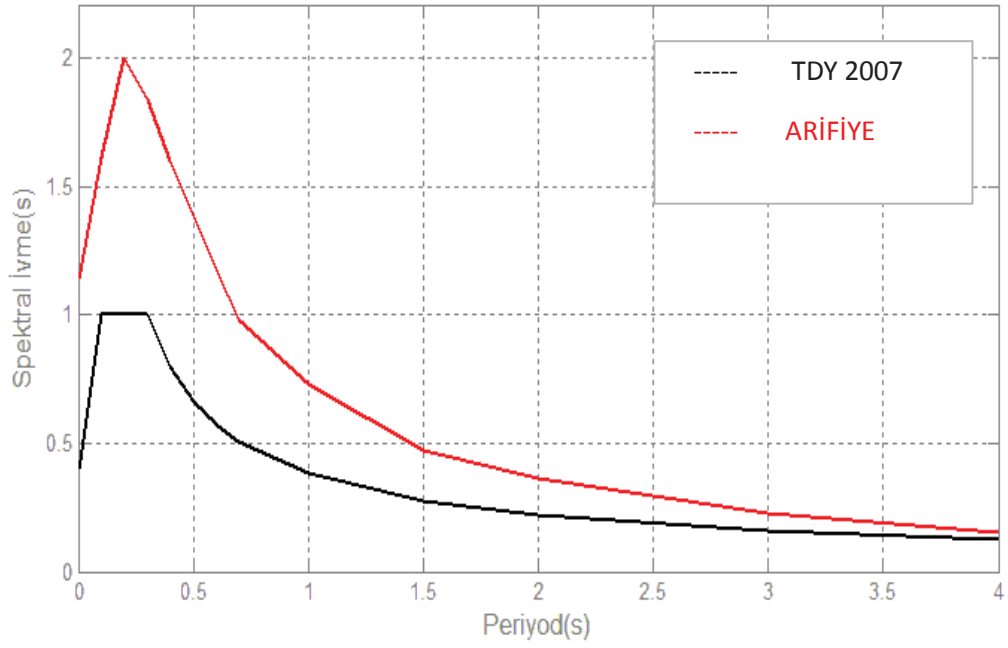
Sapanca ilçesi için hesaplanan tehlike spektrumu Şekil 3.19'da gösterilmiştir. Tehlike spektrum eğrisi DBYBHY 2007 spektrumu ile karşılaştırıldığında $T=0.2s$ için elde edilen değerlerin 2 kat daha büyük olduğu görülmektedir.



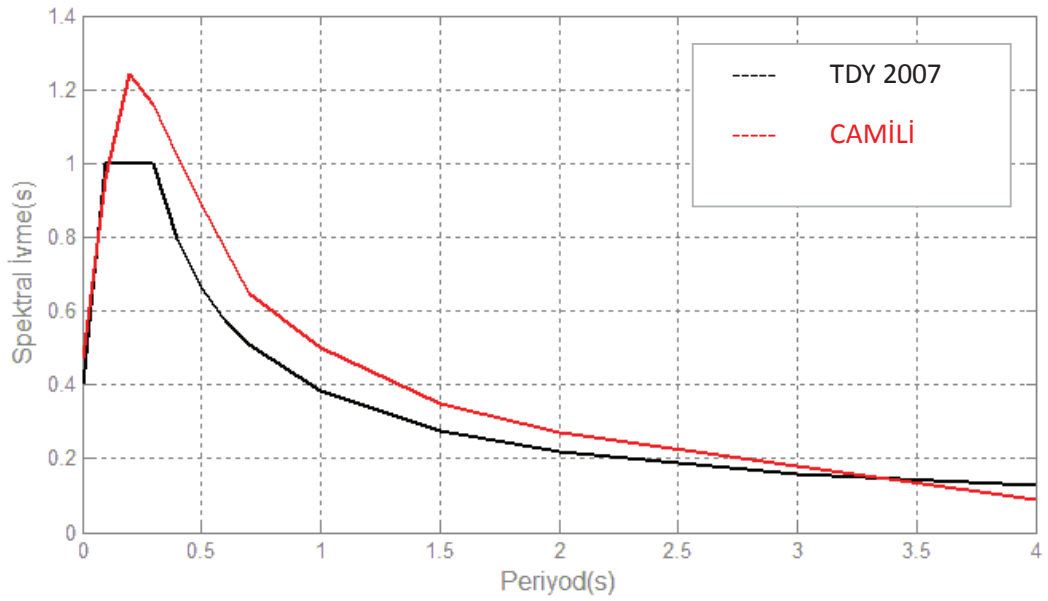
Şekil 3.12. Adapazarı için tehlike spektrumu



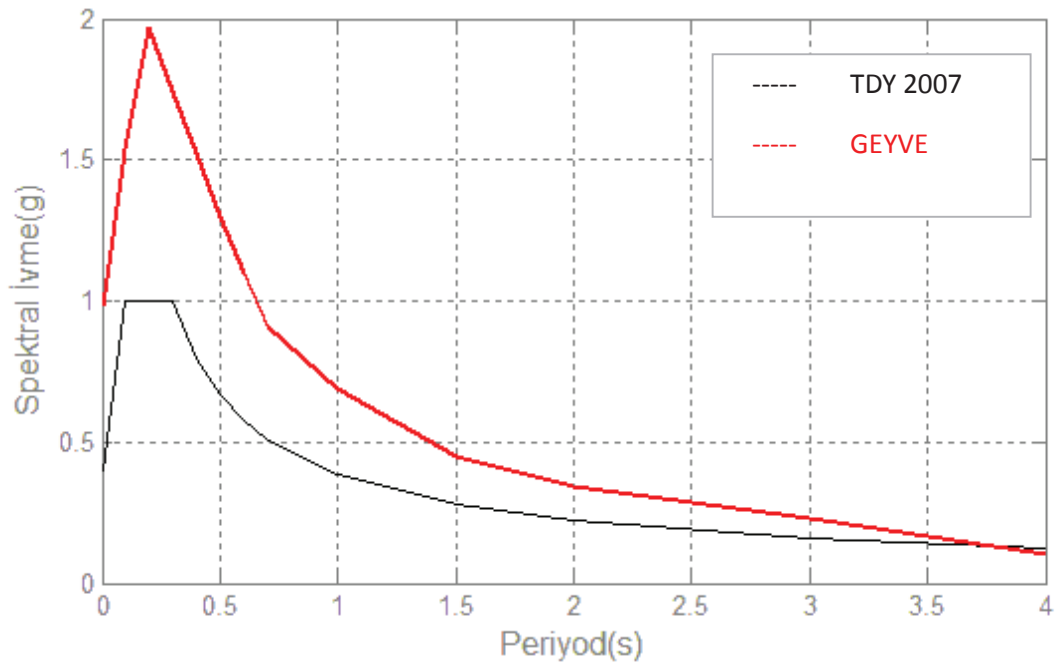
Şekil 3.13. Akyazı için tehlike spektrumu



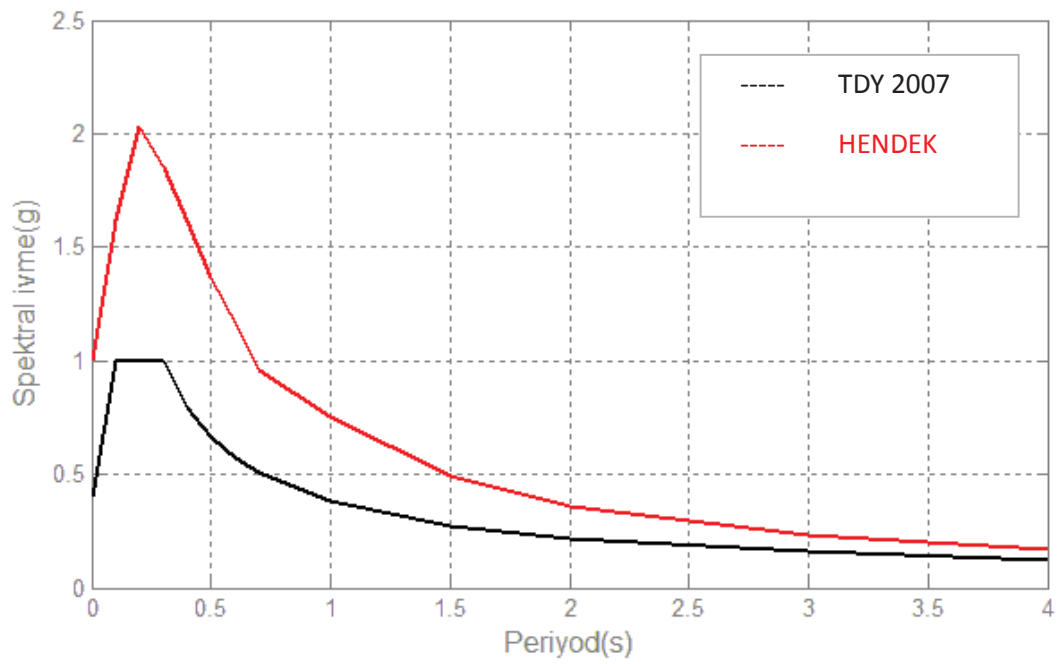
Şekil 3.14. Arifiye için tehlike spektrumu



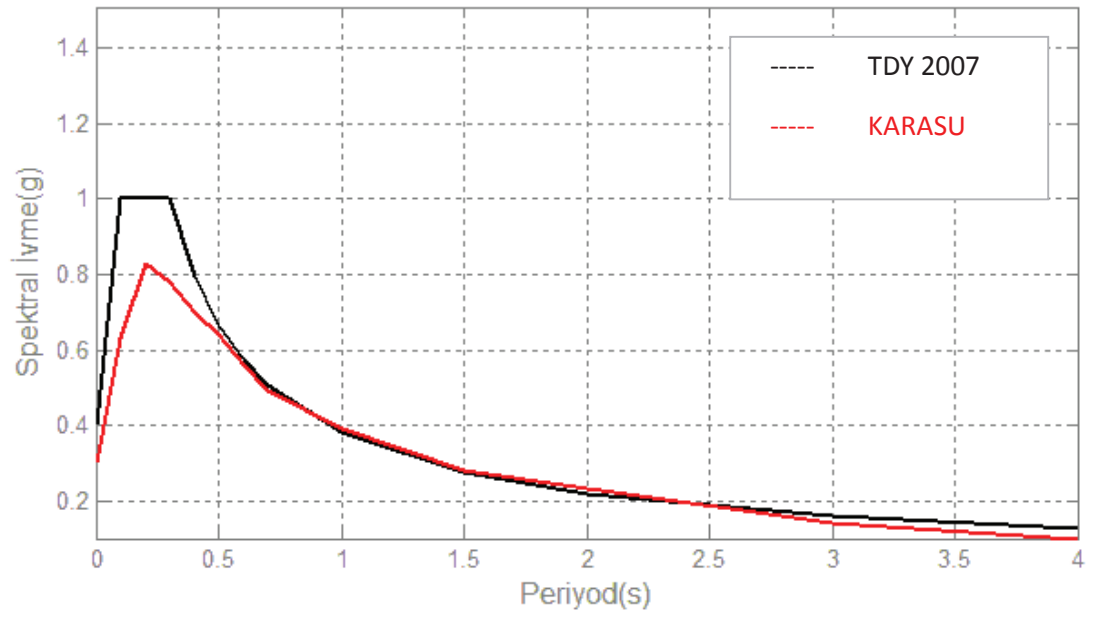
Şekil 3.15. Camili için tehlike spektrumu



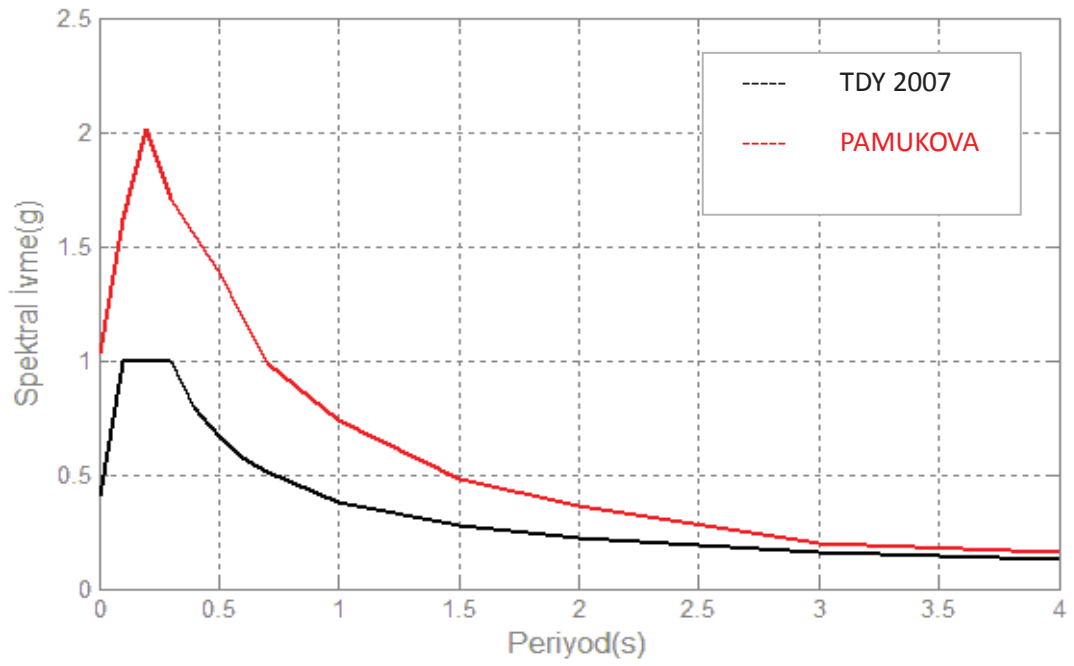
Şekil 3.16. Geyve için tehlike spektrumu



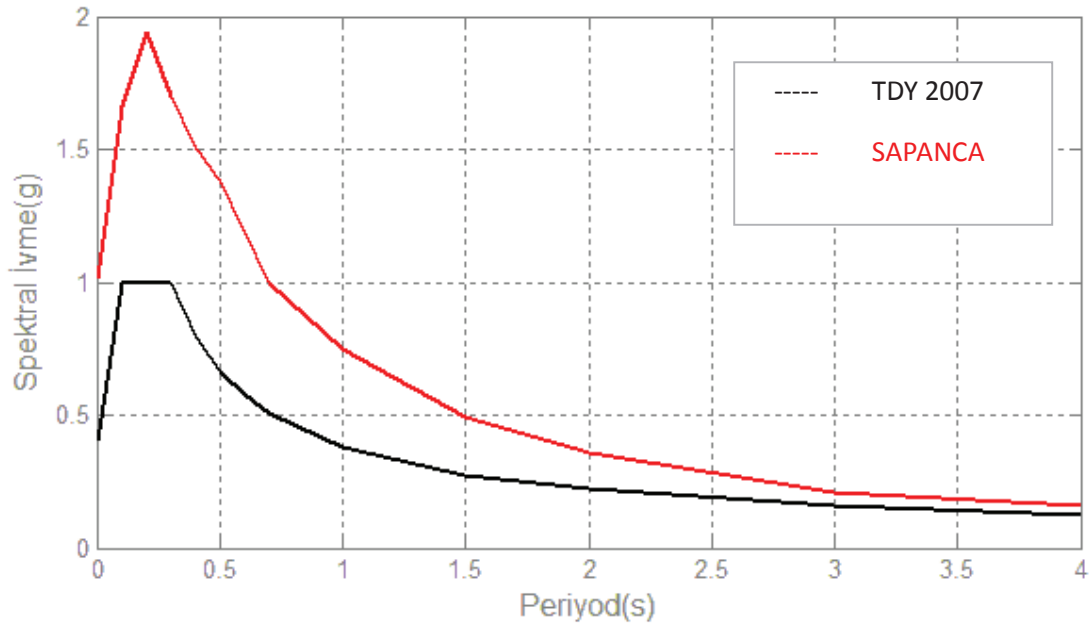
Şekil 3.17. Hendek için tehlike spektrumu



Şekil 3.18. Karasu için tehlike spektrumu



Şekil 3.19. Pamukova için tehlike spektrumu



Şekil 3.20. Sapanca için tehlike spektrumu

3.4. Sakarya Şehri İçin Elde Edilen Sismik Tehlike Haritaları

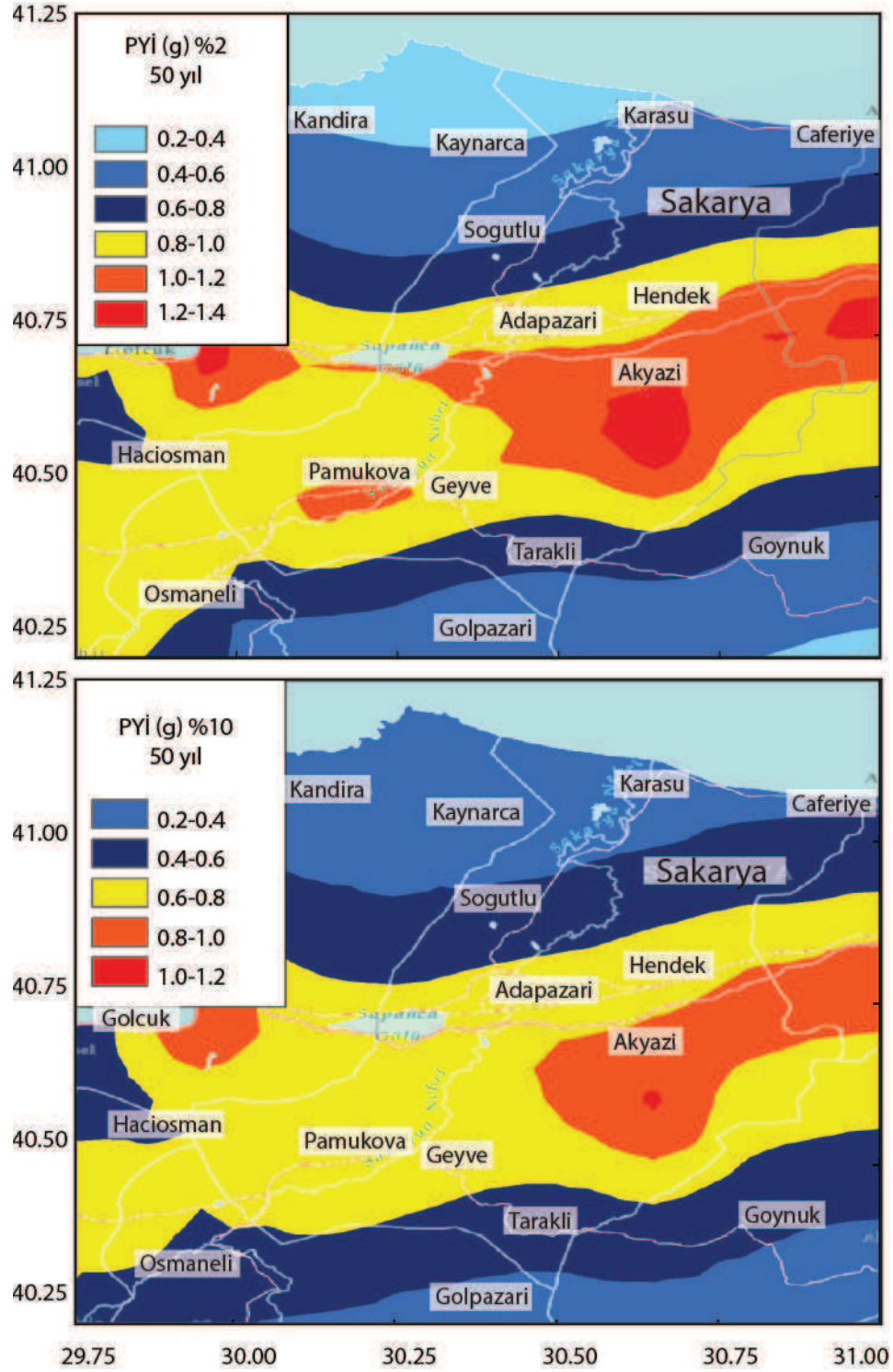
Sakarya merkezi ve ilin önemli yerleşim birimleri için bulunan pik yatay yer ivme değerleri önceki kısımda nokta koordinatlara göre hesaplanarak Tablo 3.2'de verilmişti. İl sınırları içinde ve çevresinde 40.25-41.25 K ile 29.75-31 D koordinatları arasındaki alanda bulunan sayısal veriler birleştirilerek kaya zemin koşullar için ($V_s=760\text{m/s}$), 50 yılda %2 ve %10 aşılma olasılıklarına göre bölgenin PYİ, $T=0.2\text{s}$ ve $T=1.0\text{s}$ periyotlarında toplam altı adet harita hazırlanmıştır (ArcGIS for Desktop 10 Education Edition, 2015). Hazırlanan haritalar ilin bütünündeki yer ivmelerinin değişimini görmek ve farklı bölgelerdeki değerleri karşılaştırmak için faydalı olacaktır.

50 yılda %2 ve %10, PYİ aşılma olasılıkları değerlendirildiğinde en yüksek PYİ değerlerinin Akyazı ilçesi ve çevresinde olduğu görülmektedir, bu bölgede %10 aşılma olasılığına göre PYİ 1.2g ila 1.4g arasındaki değerlerine ulaşmıştır. Pamukova ve Sapanca gölünün güneyi de muhtemel kuvvetli bir yer hareketine maruz kalacaklardır,

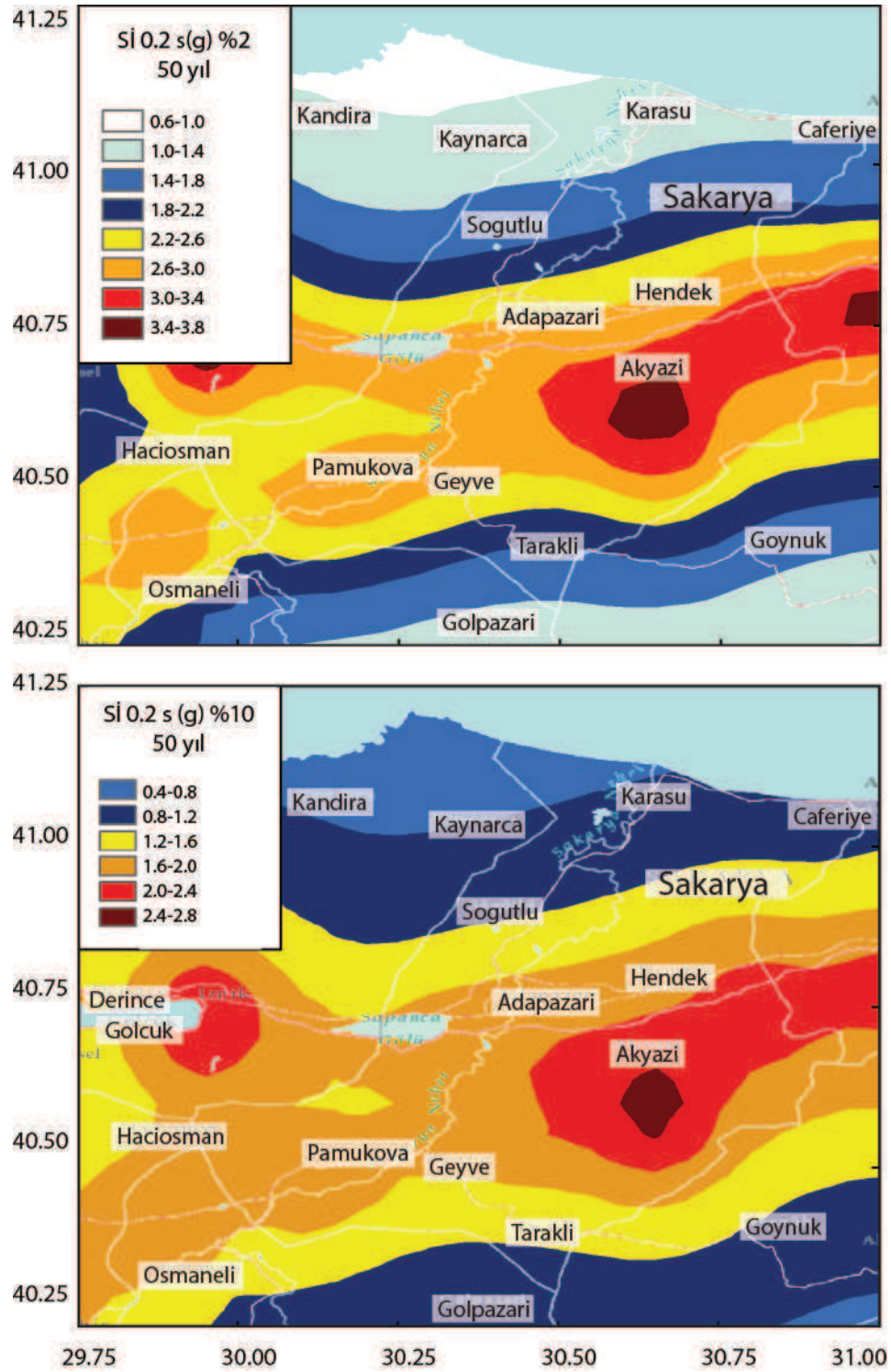
burada %10 aşılma olasılığına göre elde edilen değerler ise 1.0-1.2g arasındadır. Yine mevcut fay hatları boyunca bulunan yerleşim bölgeleri olan İzmit ve Gölcük' ün deprem tehlikesine maruz kalabileceği görülmektedir. Genel olarak kuzeye doğru gidildiğinde PYİ'nin azalmakta ve değerler Kaynarca ilçesinde 0.4-0.6 arasında, en kuzeydeki ilçe olan Karasu civarında 0.4g'nin altına inmektedir. Pamukova Geyve hattından güneye Taraklı ilçesine doğru gidildikçe de ivme değerlerinin azaldığı 0.4g-0.6g aralığına indiği, Bolu-Sakarya sınırında daha da düşük değerler elde edildiği görülmektedir, (Şekil 3.21).

Spektral İvmeler değerlendirildiğinde, PYİ değerlerinden farklı da olsa aynı dağılım şekli gözlenmektedir. $T=0.2s$ periyot için maksimum değer 3.0g'lere çıkarken, 1.0s periyotu için bu değer maksimum 1.6 g olarak bulunmuştur (Şekil 3.20). Şekil 2.5' de gösterilen F4, F6, F7 ve F8 faylarının kesişim noktası olan Akyazı, olası beklenen ivme spektrumları için her periyot için maksimum değerlere ulaşmaktadır. Sakarya şehir merkezinde $T=0.2s$ %2 aşılma olasılığına göre maksimum değer 2,49g iken %10 aşılma olasılığına göre 1,73g olarak hesaplanmıştır. Fay hatları boyunca uzanan Sapanca Gölü ve güneyinde ve Pamukova, Geyve civarlarında değerler %10 aşılma olasılığında 1.6-2.0g mertebelerinde, %2 aşılma olasılığına göre ise 2.6-3.0g mertebelerine ulaşmaktadır, (Şekil 3.22).

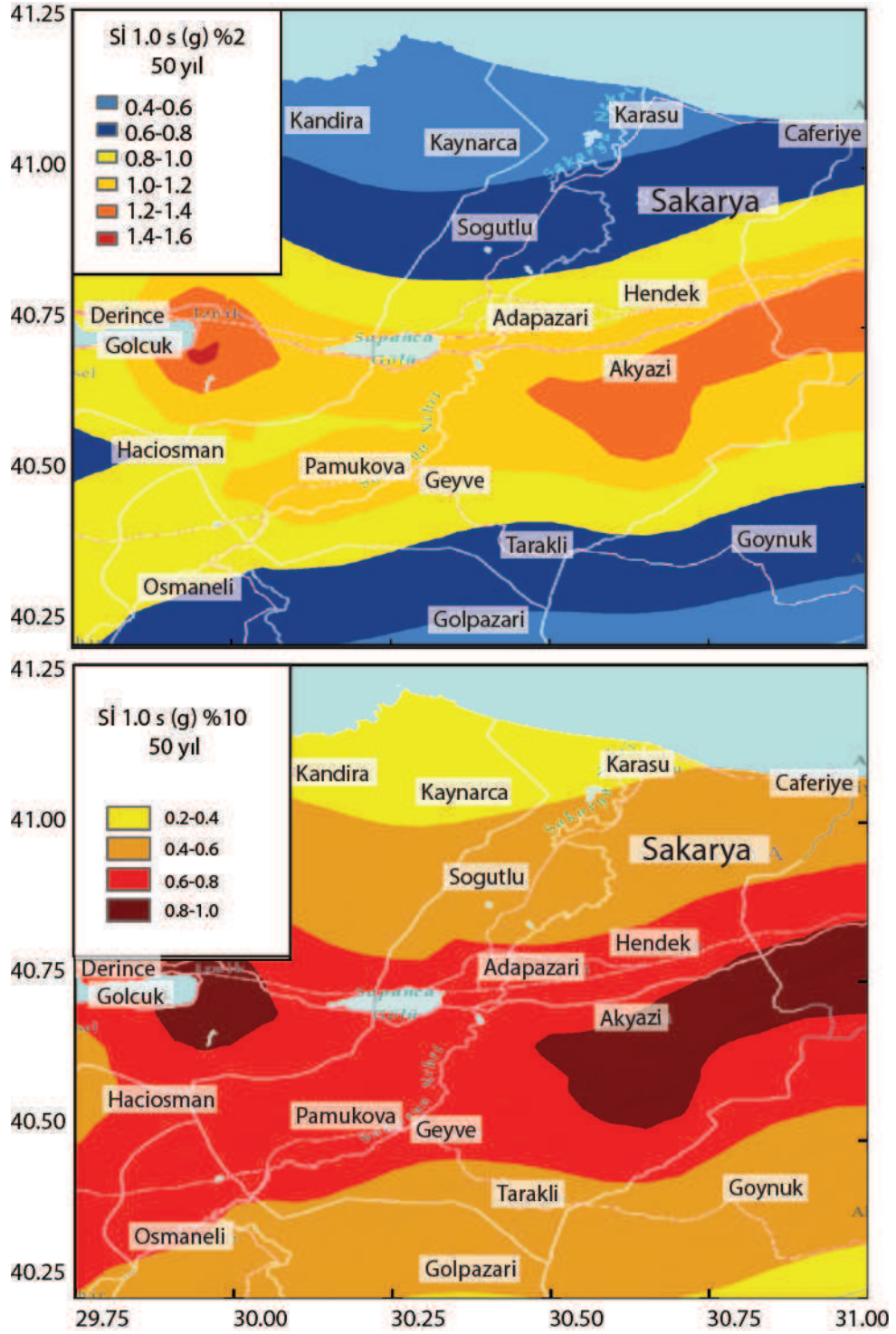
$T=1.0s$ periyot içinse Adapazarı merkezi için değerler 0,93g ve 0,63g hesaplanmıştır. %10 aşılma olasılığına göre minimum değerler Karasu civarında 0.2g'lere düşerken, %2 aşılma olasılığına göre ivme değerleri 0.4g'ye civarındadır. Diğer periyotlarda olduğu gibi Akyazı civarında ivme maksimum %10 aşılma olasılığına göre 1.0g değerlere, %2 aşılma olasılığına göre 1.4g değerlerine ulaşmaktadır. PYİ ve $T=0.2s$ ve $T=1.0s$ için incelendiğinde ilin kuzey kesimlerine doğru ivme değerlerinin azaldığı, yine güney kısımlarda Taraklı ilçesi civarlarında %2 aşılma olasılığında 0.6-0.8g, %10 aşılma olasılığına göre ise 0.4-0.6g civarlarında olduğu gözlemlenmektedir, (Şekil 3.23).



Şekil 3.21. Sakarya için yapılan olasılıksal sismik tehlike analizi sonucu elde edilen, kaya zeminde 50 yılda %10 ve %2 aşılma ihtimaline göre, PYİ için bölgeye ait sismik tehlike haritası.



Şekil 3.22. Sakarya için yapılan olasılıksal sismik tehlike analizi sonucu elde edilen, kaya zeminde 50 yılda %10 ve %2 aşılma ihtimaline göre, T=0.2s periyotlar için bölgeye ait sismik tehlike haritası.



Şekil 3.23. Sakarya için yapılan olasılıksal sismik tehlike analizi sonucu elde edilen, kaya zeminde 50 yılda %10 ve %2 aşılma ihtimaline göre, T=1.0s periyotlar için bölgeye ait sismik tehlike haritası.

BÖLÜM 4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmanın sonucunda azalım ilişkileri ortalaması olarak elde edilen 50 yılda aşılma olasılığı % 10 ve % 2 olan PYİ değerleri sırasıyla 0.68g ve 0.95g olarak bulunmuştur. Ancak bu değerlerin kaya zemin üzerinde hesaplanan değerler olduğu, yerel zemin koşullarının da hesaba katılması gerektiği belirtilmelidir. Bulunan en büyük yatay yer ivmeleri ile 0.2s ve 1.0s periyotları için ivme spektrum değerleri Marmara bölgesi ve Sakarya çevresinde geçmişte yapılmış olan diğer çalışmalar ile Tablo 4.1'de karşılaştırılmıştır. Diğer çalışmalar ile bu çalışmada bulunan sonuçlar paralellik gösterse de, bazı durumlarda farklı sonuçlar elde edilmiştir.

Tablo 4.1. Bölge için yapılan geçmiş çalışma sonuçları ile bu çalışmanın karşılaştırılması

Çalışma adı	PGA		T=0.2 s		T=1.0 s	
	50 yılda %2 aşılma olasılığı (g)	50 yılda %10 aşılma olasılığı (g)	50 yılda %2 aşılma olasılığı (g)	50 yılda %10 aşılma olasılığı (g)	50 yılda %2 aşılma olasılığı (g)	50 yılda %10 aşılma olasılığı (g)
Kalkan ve ark. (*)	0.9*	0.5*	2.2*	1.2*	0.9*	0.5*
Ulaştırma Bakanlığı (*)	1.0	0.7	2.31	1.54	1.39	0.8
R.Soner Ocak	0.92	0.60	2.6*	1.6*	1.0*	0.6*
SHARE	-	<0.5*	-	-	-	-
Yapılan çalışma	0.95	0.68	2.49	1.73	0.93	0.63

* Haritadan okunan değer aralıklarının ortalaması.

Kalkan ve ark. (2009) ile deprem kaynakları ve moment büyüklükleri büyük oranda bu çalışma ile eşleşmesine rağmen hesaplanan sonuçlar %10 daha yüksek bulunmuştur. Bunun en büyük sebeplerinden birisi 2012 yılında yenilenen MTA fay haritalarına bölgedeki diri faylardan birisi olarak eklenen Hendek fayının (F5 fayı, Şekil 2.5) bu çalışmaya dâhil edilmesinden kaynaklanmaktadır. Hendek fayı olmadan yapılan hesaplarda en büyük yatay yer ivme değerleri ortalama %10 azaldığı gözlenmektedir, bu da Kalkan ve ark. (2009) ile benzer sonuçlar vermektedir.

Türkiye geneli için yapılan bir çalışma olan, Ulaştırma Bakanlığı, Deprem Tehlikesi Belirleme Çalışması (Erdik ve ark., 2006) sonucunda olasılıksal sismik tehlike analizinde Sakarya için bulunan değerler, PYİ ve $T=1.0s$ için çalışmamıza göre genellikle daha yüksek olduğu $T=0.2s$ için daha düşük olduğu gözlemlenmiştir. Yüzde %10 aşılma olasılıkları bizim çalışmamız ile örtüşse de %2 aşılma olasılıklar % 0.2-0.5g mertebelerinde daha fazladır.

2011 yılında, R.S. Ocak tarafından, Kuzey Anadolu Fay hattı boyunca uzanan Düzce, Sakarya, Sapanca, İzmit, Gölcük, İzmit ve Gemlik kent merkezlerini incelenmiştir. Bizim çalışmamız ile kıyaslandığında, 50 yılda aşılma olasılığı % 2 olan en büyük yatay yer ivmesi değeri aynı iken, 50 yılda aşılma olasılığı % 10 olan en büyük yatay yer ivmesi değerinde %12 bir artış gözlenmektedir. Ocak'ın çalışmasındaki 0.2s ve 1.0s periyotları için %2 aşılma olasılığı spektral ivmeleri, bizim çalışmamıza göre daha fazla iken, aynı saniyeler için %10 aşılma olasılığı değerleri düşüktür. Muhtemel farklılıkların sebebi, bu çalışmaya eklenen Hendek fayı seçilen kaynak modellemeleri ve regresyon katsayıları arasında farklılardan kaynaklandığı düşünülmektedir.

Ayrıca en güncel çalışmalardan biri olan, 2013 yılında Share (Seismic Hazard Harmonization Europe) tarafından hazırlanan Avrupa Sismik Tehlike Haritası'nda incelediğimiz bölgede PYİ 50 yılda %10 aşılma olasılığı için 0.5g ve üzerinde bir değer olarak görülmektedir.

Bu çalışmada elde ettiğimiz spektrum ivmeleri, DBYBHY tasarım spektrum eğrilerine kıyasla çok daha yüksek olarak hesaplanmıştır. DBYBHY'nin önermiş olduğu genel

tasarım spektrumunun gelecekte revize edilirken OSTA'lerden yararlanmasında fayda olacaktır. Bu anlamda, aktif faylara yakın yerleşim merkezleri için tasarım spektrumlarının tasarım için yetersizken, Sakaya şehrinin kuzeyi gibi yerleşim yerlerinde yapılacak olan binalar için ise aşırı tasarım söz konusudur.

Literatürde, Sakarya ilinin ilçeleri için ilk defa yaptığımız ayrıklaştırma sonuçları, bölge için tehlike oluşturabilecek depremin, hangi deprem büyüklük aralığında ve ne kadar mesafede hangi oranda meydana gelebileceği hakkında fikir vermektedir. Bu çalışma sonucunda, Sakarya'da 50 yılda %10 ve %2 aşılma olasılıklarına göre, PYİ için %25-30 oranla en büyük tehlike oluşturabilecek deprem büyüklüğü 6-6.5 arası ve 10-15 km uzaklığında olan depremdir. Camili-Korucuk bölgesinde ise 15-30 km mesafede %20-25 oranda 6-6.5 arası depremdir. Ayrıca ayrıklaştırma grafikleri incelendiğinde $T=1.0s$ için tehlike oluşturabilecek depremlerin daha uzaktaki ve daha büyük manyetüdü depremler olduğu görülmektedir. Dolayısıyla yüksek periyotlu yapılara daha uzak mesafedeki depremlerin oluşturacağı etkilerin düşük periyotlu yapılara göre daha fazla olacağı anlaşılmaktadır.

Hem tehlike spektrumları ve tasarım spektrumları karşılaştırmasında görüldüğü gibi hem de ayrıklaştırma grafikleri incelendiğinde, Sakaya şehir merkezinin, yeni yerleşim merkezinin kuzeyine, Camili-Korucuk yerleşim merkezlerine taşınmasının çok yerinde olduğu anlaşılmaktadır. Aktif faylara çok yakın yerleşim yerleri olan, Akyazı, Pamukova, Arifiye, Sapanca Gölünün güneyindeki mevcut yapıların tekrar değerlendirilmesi, şehir planlaması ve şehir afet yönetimi planlarının tekrar gözden geçirilmesinde fayda vardır. Bu çalışma sonuçları ve elde edilen sismik tehlike haritaları, gelecekte Sakarya bölgesinde meydana gelebilecek depremlerin etkisi hakkında faydalı olacaktır. Bu çalışmanın özellikle Belediyeler, Valilik ve Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı gibi kurumlar için Sakarya şehri ve çevresindeki sismik tehlikenin azaltılması, değerlendirilmesi ve oluşabilecek hasarın yönetilebilmesi açısından yararlı olacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- Abrahamson, N. A. and Silva W. J., 1997. Empirical Response Spectral Attenuation Relations for Shallow Crustal Earthquakes, *Seismological Research Letters*, Cilt. 68, No. 1, 94-127.
- Akyüz, H.S., Hartleb R, Barka A, Altunel E and Sunal G, , 2002. Surface rupture and slip distribution of the 12 November 1999 Düzce earthquake (M 7.1), North Anatolian Fault, Bolu, Turkey, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 92, 61–66.
- Ambraseys, N.N. , 2006. Comparison of frequency of occurrence of earthquakes with slip rates from long-term seismicity data: the cases of Gulf of Corinth, Marmara Sea and Dead Sea Fault Zone, *Geophys. J. Int.* 165, No. 2, 516–526.
- Armijo, R. Pondard, N. Meyer, B. Mercier de LepInay, B. Uçarkus, G., Malavieille, J. Dominguez, S., Gustcher, M-A. Beck, Çagatay, N. Cakir, Z., Imren, C., Kadir, E. and Natalin, and Marmarascreps cruise party. 2005. Submarine fault scarps in the Marmara Sea pull-apart (North Anatolian Fault): Implications for Seismic Hazard in Istanbul, *Geochem., Geophys., Geosyst.*, 6, 1-29.
- Atakan, K. A. Ojeda, M. Meghraoui, A. A. Barka, M. Erdik, and Bodare A., 2002. Seismic hazard in Istanbul following the 17 August 1999 Izmit and 12 November 1999 Düzce earthquakes, *Bull. Seismol. Soc. Cilt* 92, No. 1, 466–482.
- Barka, A. and Kadinsky-Cade, K., 1988. Strike-slip fault geometry in Turkey and its influence on earthquake activity, *Tectonics*, 7 (6), 63–84.
- Barka, A., Akyüz, H.S., Altunel, E., Sunal, G. and Çakır Z., 2002. The surface rupture and slip distribution of the 17 August 1999 Izmit earthquake (M 7.4), North Anatolian Fault, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 92, 43–60.
- Barka, A., 1992. The North Anatolian Fault Zone, *Ann. Tecton.*, 6 (1), 64–95.
- Barka A., 1996. Slip distribution along the North Anatolian fault associated with the large earthquakes of the period 1939 to 1967, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 86, 1238-1254.

- Boore D.M., Joyner W.B. and Fumal T.F., 1997. Equations For Estimating Horizontal Response Spectra and Peak Acceleration From Western North American Earthquakes: A Summary of Recent Work, *Seismological Research Letters*, Cilt 68, No. 1, 128-153.
- Cambazoğlu, S., 2012. Preparation of a Source Model for the Eastern Marmara Region Along the North Anatolian Fault Segments and Probabilistic Seismic Hazard Assessment of Düzce Province., ODTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi.
- Campbell, K. W. and Bozorgnia, Y., 2008. NGA Ground Motion Model for the Geometric Mean Horizontal Component of PGA, PGV, PGD and 5% Damped Linear Elastic Response Spectra for Periods Ranging from 0.01 to 10 s, *Earthquake Spectra*, Cilt 24, No. 1, 139 – 171.
- Cornell, C.A., 1968. Engineering seismic risk analysis. *Bulletin of the Seismological Society of America* 58(5), 1583–1606.
- Cornell, C.A., Banon, H., Shakal, A.F., 1979. Seismic motion and response prediction alternatives. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics* 7, 295–315.
- Crowley, H., ve J. J. Bommer, , 2006. Modeling seismic hazard in earthquake loss models with spatially distributed exposure, *Bull. Eq. Eng.* Cilt 4, 249–27.
- Douglas J., 2011. Ground-Motion Predictions Equations 1964-2010, 2011. Pacific Earthquake Engineering Research Center, Berkeley.
- Emre, Ö., Doğan A., Duman T.Y., Özalp T., 2012. 1:250.000 Türkiye Diri Fay Haritaları Serisi. MTA Genel Müdürlüğü. Ankara.
- Erdik, M., M. Demircioğlu, K. Şeşetyan, E. Durukal, and B. Siyahi, 2004. Earthquake hazard in Marmara region, Turkey, *Soil Dyn. Earthq. Eng.* 24, 605–631.
- Gutenberg, R. and Richter, C. F., 1944. Frequency of earthquakes in California. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 34, 185-188.
- Gülkan, P. and Kalkan, E., 2002. Attenuation modeling of recent earthquakes in Turkey, *Journal of Seismology*, Cilt 6, No. 3, 397-409.
- Yalçın H., Gülen L., Utkucu M., 2013. Türkiye ve Yakın Çevresinin Aktif Fayları Veri Bankası ve Deprem Tehlikesinin Araştırılması Hacettepe Üniversitesi, *Yerbilimleri Dergisi* 34 (3), 133-160.
- Harman E., Küyük H.S., 2014. Second European Conferance on Earthquake Engineering and Seismology, İstanbul.
- <http://www.esri.com/apps/Products/ArcGIS/ArcEdEval10>, Erişim Tarihi: 06.11.2014.

<http://earthquake.usgs.gov/contactus/golden/neic.php>, Erişim Tarihi:08.05.2014.

<http://www.deprem.gov.tr/sarbis/Shared/Default.aspx>, Erişim Tarihi: 05.05.2014.

<http://www.isc.ac.uk/doc/products/catalogue.html>, Erişim Tarihi:07.05.2014.

<http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/Mudim/katalog.asp>, Erişim Tarihi:06.05.2014.

<http://www.share-eu.org/>, Erişim Tarihi:10.03.2015.

Idriss, I. M., 2008. An NGA Empirical Model for Estimating the Horizontal Spectral Values Generated By Shallow Crustal Earthquakes, *Earthquake Spectra*, Cilt 24, No. 1, 217–242.

Kalkan, E., Gülkan P., Yilmaz N. and M. elebi, 2009. Reassessment of probabilistic seismic hazard in the Marmara Region, *Bull. Seismol. Soc. Cilt. 99*, No. 4, 2127-2146.

Kramer, S.L., 1996. *Geotechnical earthquake engineering*, Prentice Hall, New Jersey, 653.

Le Pichon, X., A. M. C. Sengor, E. Demirbag, C. Rangin, C. Imren, R. Armijo, N. Gorur, N. Cagatay, B. Mercier de Lepinay, B. Meyer, R. Saatcilar, and B. Tok, 2001. The active main Marmara fault, *Earth Planet. Sci. Lett.* 192, 595–616.

Levendoğlu M., 2013. Probabilistic Hazard Assesment of Ilgaz-Abant Segments of North Anatolian Fault Using Imporved Seismic Source Models, , ODTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnaşat Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi.

M.Erdik, K.Şeşetyan, M.B. Demircioğlu, E.Durukal, 2006. ‘‘Ulaştırma Bakanlığı Demiryolları, Limalar ve Havameydanları İnaşatı Genel Müdürlüğü Kıyı Yapıları, Demiryolları ve Hava meydanları İnaşatları Deprem Teknik Yönetmeliği için Deprem Tehlikesi Belirlemesi’’, Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, İstanbul.

McClusky S.,, 2000. 27 coauthors Global Positioning System constraints on plate kinematics and dynamics in the eastern Mediterranean and Caucasus, *J. Geophys. Res.* 105, 5695–5719.

McGuire, R.K., 1976. FORTRAN Computer Program for Seismic Risk Analysis. US Geological Survey. Open-File Report 76, pp. 67.

McGuire, 1978. R.K., FRISK Seismic Risk Analysis Using Faults as Earthquake. Source. US GeologicalSurvey.Open-FileReport78,pp.1007.

McKenzie D.P., 1972. Active tectonics of the Mediterranean region, *Geophys. J. R. Astron. Soc.*, 30 (1), 09–85.

- Ocak R.S., 2011. Probabilistic Seismic Hazard Assessment of Eastern Marmara an evaluation of Turkish Earthquake Code Requirments. ODTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi.
- Ordaz, M., 1991. CRISIS, Brief Description of Program CRISIS. Institute of Solid Earth Physics, University of Bergen, Norway, pp. 16.
- Reilinger, R., McClusky, S., Vernant, P., Lawrence, S., Ergintav, S., Cakmak, R., Ozener, H., Kadirov, F., Guliev, I., Stepanyan, R., Nadariya, M., Hahubia, G., Mahmoud, S., Sakr, K., ArRajehi, A., Paradissis, D., Al- Aydrus, A., Prilepin, M., Guseva, T., Evren, E., Dmitrotsa, A., Filikov, S.V., Gomez, F., Al-Ghazzi, R., Karam, G., 2006. GPS constraints on continental deformation in the Africa–Arabia–Eurasia continental collision zone and implications for the dynamics of plate interactions, *J. Geophys. Res.* 111 B05411.
- Reiter, L., 1990. Earthquake Hazard Analysis: Issues and Insights, Columbia University Press, New York.
- Saroglu, F., Emre O. and Kuscu I., 1992. Active fault map of Turkey, MTA, Ankara.
- Sayıl, N., Osmanşahin İ., 2005. Marmara Bölgesinin Depremselliğinin İncelenmesi, Uluslararası Deprem Sempozyumu, Kocaeli, 1417-1426.
- Seyrek, E., Tosun H., 2013. Sismik Tehlike Analiz Yöntemlerinin Ülkemizdeki Büyük Beton Barajların Toplam Riski Üzerindeki Etkisi, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der., Cilt 28, No.1, 67-75.
- Stein, R.S., Barka, A.A., and Dieterich, J.H., 1997. Progressive failure on the North Anatolian fault since 1939 by earthquake stress triggering, *Geophys. J. Int.*, 128, 594-604.
- Straub, C., H-G. Kahle, and C. Schindler, 1997. GPS and geologic estimates of the tectonic activity in the Marmara Sea region, NWAnatolia, *J. Geophys. Res.* 102, no. 27, 587–601.
- Şengör, A.M.C., 1979. The North Anatolian Transform Fault: its age, offset and tectonic significance. *J. Geol. Soc. London*, 136 (2), 69–82.
- T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı (Bayındırlık ve İskan Bakanlığı), 1996. Deprem Araştırma Dairesi Başkanlığı, T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası, Ankara.
- T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı (Bayındırlık ve İskan Bakanlığı), 2007. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, Ankara.
- Utkucu, M., Budakoğlu, E. ve Durmuş, H., 2011. 2011, Marmara Bölgesinde (KB Türkiye) Depremsellik ve Deprem Tehlikesi Üzerine Bir Tartışma. Hacettepe Üniversitesi, Yerbilimleri Dergisi, 32 (3), 187-212.

- Wang, J.P., Huang, D.R., Cheng, C.T., Shao K.S, Wu Y.C., Chang C.W., 2013. Seismic hazard analyses for Taipei city including deaggregation, design spectra, and time history with excel applications. *Computers & Geosciences* 52, 146-154.
- Wang, J.P., Huang, D.R., Yang, Z.J., 2012. Deterministic seismic hazard map for Taiwan developed using an in-house Excel-based program. *Computers & Geosciences* 48, 111–116.
- Weichert, D. H., 1980. Estimation Of The Earthquake Recurrence Parameters For Unequal Observation Periods For Different Magnitudes, *Bull. Seismol. Soc. Am.* 70, no. 4, 1337–1346.
- Wells, D.L. and Coppersmith, K.J., 1994. New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area, and surface displacement, *Bull. Seism. Soc. Am.* 84, no. 4, 974-1002.

EKLER

EK A: Ortalama yatay bileşen katsayıları (Abrahamson ve Silva, 1997)

Periyot	c ₄	a ₁	a ₃	a ₅	a ₆	a ₉	a ₁₀	a ₁₁	a ₁₂
0.01	5.6	1.64	-1.145	0.61	0.26	0.37	-	-0.23	0
0.02	5.6	1.64	-1.145	0.61	0.26	0.37	-	-0.23	0
0.03	5.6	1.69	-1.145	0.61	0.26	0.37	-0.47	-0.23	0.0143
0.04	5.6	1.78	-1.145	0.61	0.26	0.37	-	-	0.0245
0.05	5.6	1.87	-1.145	0.61	0.26	0.37	-0.62	-	0.028
0.06	5.6	1.94	-1.145	0.61	0.26	0.37	-	-0.28	0.03
0.075	5.58	2.037	-1.145	0.61	0.26	0.37	-	-0.28	0.03
0.09	5.54	2.1	-1.145	0.61	0.26	0.37	-	-0.28	0.03
0.1	5.5	2.16	-1.145	0.61	0.26	0.37	-	-0.28	0.028
0.12	5.39	2.272	-1.145	0.61	0.26	0.37	-	-0.28	0.018
0.15	5.27	2.407	-1.145	0.61	0.26	0.37	-	-0.28	0.005
0.17	5.19	2.43	-1.135	0.61	0.26	0.37	-	-	-0.004
0.2	5.1	2.406	-1.115	0.61	0.26	0.37	-	-	-
0.24	4.97	2.293	-1.079	0.61	0.232	0.37	-0.35	-	-
0.3	4.8	2.114	-1.035	0.61	0.198	0.37	-	-	-0.036
0.36	4.62	1.955	-	0.61	0.17	0.37	-	-	-0.046
0.4	4.52	1.86	-0.988	0.61	0.154	0.37	-	-0.16	-
0.46	4.38	1.717	-	0.592	0.132	0.37	0.02	-	-
0.5	4.3	1.615	-	0.581	0.119	0.37	0.085	-	-
0.6	4.12	1.428	-	0.557	0.091	0.37	0.194	-	-0.074
0.75	3.9	1.16	-	0.528	0.057	0.331	0.32	-0.05	-
0.85	3.81	1.02	-	0.512	0.038	0.309	0.37	-	-
1	3.7	0.828	-	0.49	0.013	0.281	0.423	0	-0.102
1.5	3.55	0.26	-	0.438	-	0.21	0.6	0.04	-0.12
2	3.5	-0.15	-0.725	0.4	-	0.16	0.61	0.04	-0.14
3	3.5	-0.69	-0.725	0.4	-	0.089	0.63	0.04	-
4	3.5	-1.13	-0.725	0.4	-0.2	0.039	0.64	0.04	-
5	3.5	-1.46	-0.725	0.4	-0.2	0	0.664	0.04	-0.215

Not: Diğer parametreler: $a_2 = 0.512$, $a_4 = -0.144$, $a_{13} = 0.17$, $c_1 = 6.4$, $c_5 = 0.03$, $n=2$

EK B: Söзде-ivme tepki spektrumu katsayılar (g) (Boore ve ark., 1997)

Period	b _{1SS}	b _{1RV}	b _{1ALL}	b ₂	b ₃	b ₅	b _v	V _A	h	$\sigma_{ln(Y)}$
0	-0.313	-0.117	-0.242	0.527	0	-0.778	-0.371	1396	5.57	0.520
0.1	1.006	1.087	1.059	0.753	-0.226	-0.934	-0.212	1112	6.27	0.479
0.11	1.072	1.164	1.13	0.732	-0.23	-0.937	-0.211	1291	6.65	0.481
0.12	1.109	1.215	1.174	0.721	-0.233	-0.939	-0.215	1452	6.91	0.485
0.13	1.128	1.246	1.2	0.711	-0.233	-0.939	-0.221	1596	7.08	0.486
0.14	1.135	1.261	1.208	0.707	-0.23	-0.938	-0.228	1718	7.18	0.489
0.15	1.128	1.264	1.204	0.702	-0.228	-0.937	-0.238	1820	7.23	0.492
0.16	1.112	1.257	1.192	0.702	-0.226	-0.935	-0.248	1910	7.24	0.495
0.17	1.09	1.242	1.173	0.702	-0.221	-0.933	-0.258	1977	7.21	0.497
0.18	1.063	1.222	1.151	0.705	-0.216	-0.93	-0.27	2037	7.16	0.499
0.19	1.032	1.198	1.122	0.709	-0.212	-0.927	-0.281	2080	7.1	0.501
0.2	0.999	1.17	1.089	0.711	-0.207	-0.924	-0.292	2118	7.02	0.502
0.22	0.925	1.104	1.019	0.721	-0.198	-0.918	-0.315	2158	6.83	0.508
0.24	0.847	1.033	0.941	0.732	-0.189	-0.912	-0.338	2178	6.62	0.511
0.26	0.764	0.958	0.861	0.744	-0.18	-0.906	-0.36	2173	6.39	0.514
0.28	0.681	0.881	0.78	0.758	-0.168	-0.899	-0.381	2158	6.17	0.518
0.3	0.598	0.803	0.7	0.769	-0.161	-0.893	-0.401	2133	5.94	0.522
0.32	0.518	0.725	0.619	0.783	-0.152	-0.888	-0.42	2104	5.72	0.525
0.34	0.439	0.648	0.54	0.794	-0.143	-0.882	-0.438	2070	5.5	0.530
0.36	0.361	0.57	0.462	0.806	-0.136	-0.877	-0.456	2032	5.3	0.532
0.38	0.286	0.495	0.385	0.82	-0.127	-0.872	-0.472	1995	5.1	0.536
0.4	0.212	0.423	0.311	0.831	-0.12	-0.867	-0.487	1954	4.91	0.538
0.42	0.14	0.352	0.239	0.84	-0.113	-0.862	-0.502	1919	4.74	0.542
0.44	0.073	0.282	0.169	0.852	-0.108	-0.858	-0.516	1884	4.57	0.545
0.46	0.005	0.217	0.102	0.863	-0.101	-0.854	-0.529	1849	4.41	0.549
0.48	-0.058	0.151	0.036	0.873	-0.097	-0.85	-0.541	1816	4.26	0.551
0.5	-0.122	0.087	-0.025	0.884	-0.09	-0.846	-0.553	1782	4.13	0.556
0.55	-0.268	-0.063	-0.176	0.907	-0.078	-0.837	-0.579	1710	3.82	0.562
0.6	-0.401	-0.203	-0.314	0.928	-0.069	-0.83	-0.602	1644	3.57	0.569

0.65	-0.523	-0.331	-0.44	0.946	-0.06	-0.823	-0.622	1592	3.36	0.575
0.7	-0.634	-0.452	-0.555	0.962	-0.053	-0.818	-0.639	1545	3.2	0.582
0.75	-0.737	-0.562	-0.661	0.979	-0.046	-0.813	-0.653	1507	3.07	0.587
0.8	-0.829	-0.666	-0.76	0.992	-0.041	-0.809	-0.666	1476	2.98	0.593
0.85	-0.915	-0.761	-0.851	1.006	-0.037	-0.805	-0.676	1452	2.92	0.598
0.9	-0.993	-0.848	-0.933	1.018	-0.035	-0.802	-0.685	1432	2.89	0.604
0.95	-1.066	-0.932	-1.01	1.027	-0.032	-0.8	-0.692	1416	2.88	0.609
1	-1.133	-1.009	-1.08	1.036	-0.032	-0.798	-0.698	1406	2.9	0.613
1.1	-1.249	-1.145	-1.208	1.052	-0.03	-0.795	-0.706	1396	2.99	0.622
1.2	-1.345	-1.265	-1.315	1.064	-0.032	-0.794	-0.71	1400	3.14	0.629
1.3	-1.428	-1.37	-1.407	1.073	-0.035	-0.793	-0.711	1416	3.36	0.637
1.4	-1.495	-1.46	-1.483	1.08	-0.039	-0.794	-0.709	1442	3.62	0.643
1.5	-1.552	-1.538	-1.55	1.085	-0.044	-0.796	-0.704	1479	3.92	0.649
1.6	-1.598	-1.608	-1.605	1.087	-0.051	-0.798	-0.697	1524	4.26	0.654
1.7	-1.634	-1.668	-1.652	1.089	-0.058	-0.801	-0.689	1581	4.62	0.660
1.8	-1.663	-1.718	-1.689	1.087	-0.067	-0.804	-0.679	1644	5.01	0.664
1.9	-1.685	-1.763	-1.72	1.087	-0.074	-0.808	-0.667	1714	5.42	0.669
2	-1.699	-1.801	-1.743	1.085	-0.085	-0.812	-0.655	1795	5.85	0.672

EK D: NGA modeli parametreleri (g) (Idriss, 2008)

<i>T</i> (s)	<i>M</i> ≤ 6.75	<i>M</i> ≤ 6.75	<i>M</i> ≤ 6.75	<i>M</i> ≤ 6.75	<i>M</i> > 6.75	<i>M</i> > 6.75	<i>M</i> > 6.75	<i>M</i> > 6.75			
	<i>α1</i>	<i>α2</i>	<i>β1</i>	<i>β2</i>	<i>α1</i>	<i>α2</i>	<i>β1</i>	<i>β2</i>	<i>γ</i>	<i>φ</i>	<i>Δα1</i>
0,01	3,7066	0,1252	2,9832	0,2339	5,6315	0,4104	2,9832	0,2339	0,00047	0,1200	0,1492
0,02	3,7066	0,1252	2,9832	0,2339	5,6315	0,4104	2,9832	0,2339	0,00047	0,1200	0,1492
0,03	3,7566	0,1252	2,9832	0,2339	5,6815	0,4104	2,9832	0,2339	0,00047	0,1200	0,1492
0,04	3,8066	0,1252	2,9832	0,2339	5,7315	0,4104	2,9832	0,2339	0,00047	0,1200	0,1492
0,05	4,1248	0,1781	3,0156	0,2445	5,8447	0,4329	2,9487	0,2346	0,00000	0,1200	0,1492
0,08											
0,10	4,4592	0,1624	3,1212	0,2570	6,3053	0,4359	2,9153	0,2265	0,00000	0,1200	0,2126
0,15	3,4793	0,0188	2,8609	0,2267	5,0845	0,2566	2,4829	0,1707	0,00000	0,1200	0,2475
0,20	3,2354	0,0346	2,8739	0,2282	5,0842	0,2393	2,5066	0,1738	0,00000	0,1200	0,2693
0,25	2,7628	0,0791	2,8203	0,2292	4,5453	0,1850	2,3687	0,1623	-0,00049	0,1200	0,2842
0,30	2,3813	0,1187	2,8126	0,2301	4,2719	0,1614	2,3475	0,1612	0,00052	0,1200	0,2948
0,40	1,7037	0,1873	2,7992	0,2317	3,7792	0,1202	2,3105	0,1593	0,00112	0,1200	0,3088
0,50	1,0893	0,2461	2,7876	0,2330	3,3235	0,0849	2,2793	0,1577	0,00132	0,1200	0,3173
0,75											
1,00	-1,2290	0,4615	2,7434	0,2381	1,5822	0,0450	2,1588	0,1515	0,00188	0,1000	0,3308
1,50	-2,9168	0,6103	2,7112	0,2418	0,2888	0,1354	2,0720	0,1471	0,00250	0,0600	0,3297
2,00	-4,2783	0,7246	2,6851	0,2447	0,7737	0,2054	2,0027	0,1436	0,00268	0,0400	0,3248
3,00	-6,2431	0,8935	2,6437	0,2493	2,3037	0,3099	1,8938	0,1382	0,00050	0,0000	-0,3110
4,00	-7,6967	1,0137	2,6110	0,2529	3,4564	0,3855	1,8091	0,1341	-0,00248	0,0000	0,2956
5,00	-8,8110	1,1027	2,5839	0,2558	4,3563	0,4427	1,7401	0,1308	-0,00453	0,0000	0,2797
7,50											
10,00	-12,0149	1,2995	2,4928	0,2650	7,1679	0,5814	1,5201	0,1209	-0,00709	0,0000	0,2026

ÖZGEÇMİŞ

Engin Harman, 13.12.1983'de Ankara'da doğdu. İlkokulu Fevzi Atlioğlu İlkokulunda tamamladıktan sonra orta ve lise eğitimini gördüğü Ankara Anadolu Lisesinden mezun oldu. 2002 yılında girdiği Selçuk Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği bölümünü 2006 yılında tamamladı. 2006-2007 yılları arasında Ankara'da çeşitli projelerde saha mühendisi olarak çalıştı. 2007-2008 yılları arasında askerliğini 95. Zırhlı Tugay Komutanlığı, Tekirdağ ili Hayrabolu ilçesinde yedek subay olarak tamamladı. 2008-2009 yılları arasında Ankara'da Dorçe Prefabrik Çelik Yapılar A.Ş.'de tasarım mühendisi olarak çalıştı. 2009 yılında başladığı kamu görevinde halen Orman Genel Müdürlüğü, İnşaat İkmal Daire Başkanlığında inşaat mühendisi olarak çalışmaktadır.