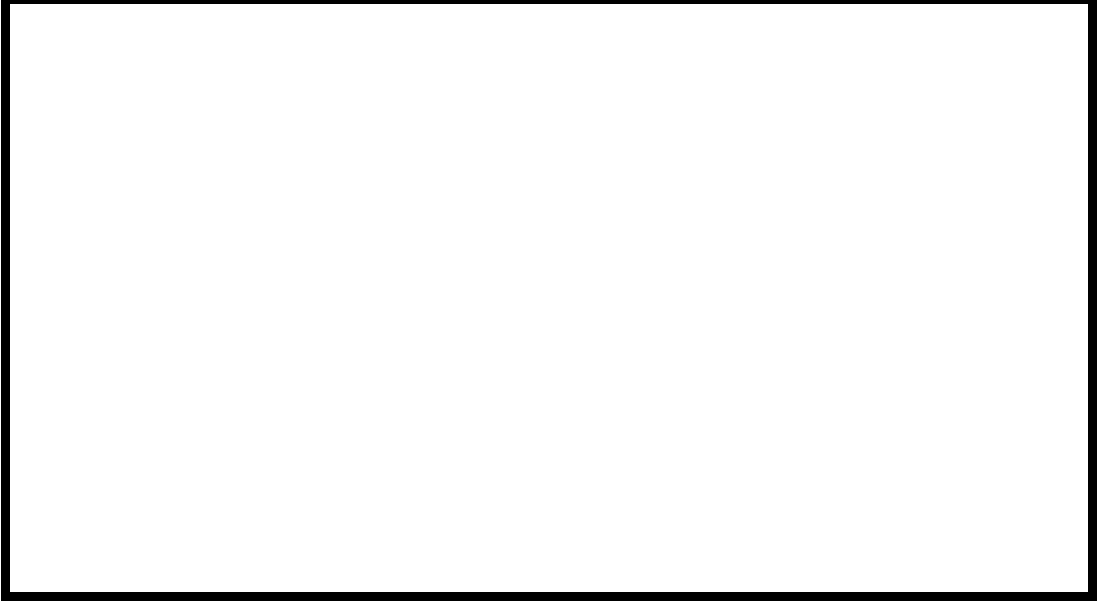




**TÜRKİYE ULUSAL JEODEZİ VE
JEOFİZİK BİRLİĞİ (TUJJB)**

**TURKISH UNION OF NATIONAL
GEODESY AND GEOPHYSICS
(TUNGG)**



TUJJB Ulusal Deprem Programı

National Earthquake Program of TUNGG

ERZİNCAN'DA OLASI DEPREM HASARLARININ BELİRLENMESİ

PROJE NO: TUJJB-UDP-01-12

DOÇ. DR. AYŞEGÜL ASKAN GÜNDOĞAN
PROF. DR. MICHAEL ASTEN
PROF. DR. ALTUĞ ERBERİK
Y. MÜH. CENK ERKMEN
ARŞ.GÖR. SHAGHAYEGH KARIMZADEH
DR. NAZAN KILIÇ
ARŞ.GÖR. FATMA NURTEN ŞİŞMAN
PROF. DR. AHMET YAKUT

NİSAN 2015
ANKARA

ÖNSÖZ

Kentsel alanlarda risk azaltma çalışmalarının ilk adımı, incelenen bölgedeki potansiyel kayıpların belirlenmesidir. Bu proje kapsamında kentsel alanlarda kayıp tahmini amacıyla, dalga hız modelleri, sahaya-özel sismik tehlike analizleri, yapı kırılganlıkları ve kayıp modelleri içeren disiplinlerarası bir yaklaşım geliştirilmiş; geliştirilen yöntemin Erzincan bölgesinde bir doğrulama ve tahmin uygulaması yapılmıştır. Orta Doğu Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde yürütülen bu proje, TUJJB-UDP-01-12 kodu ile 2012-2015 yılları arasında Türkiye Ulusal Jeodezi ve Jeofizik Birliği tarafından desteklenmiştir. Proje ekibi, sağlanan destek için Türkiye Ulusal Jeodezi ve Jeofizik Birliği'ne teşekkürlerini sunmaktadır.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
TABLO LİSTESİ.....	iv
ŞEKİL LİSTESİ.....	vi
ÖZET.....	xiii
ABSTRACT.....	xi
BÖLÜMLER	
1.GİRİŞ.....	1
2.PROJE SÜRESİNCE GERÇEKLEŞTİRİLMİŞ BİLİMSEL VE TEKNİK ÇALIŞMALAR.....	2
2.1 Aşama1: Erzincan Civarındaki Depremsellik ve Aktif Fayların Belirlenmesi.....	2
2.1.1 Kuzey Anadolu Fay Zonu Tektonik Özellikleri.....	2
2.1.2 Erzincan Bölgesi Tektoniği ve Depremsellik.....	3
2.1.3 Erzincan Bölgesindeki Tarihsel Depremler ve Fay Kazı Çalışmalarının Araştırılması.....	5
2.1.4 Erzincan’da Güncel MTA Haritalarından Elde Edilmiş Aktif Faylar.....	8
2.2 Aşama 2: Erzincan İl Merkezinde Zemin Modelleri Oluşturulması.....	10
2.2.1 Mikrotremör Veri Toplama Çalışmaları.....	10
2.2.2 Çoklu-Mod Uzaysal Özilişki (MMSPAC) Yöntemi ile Veri Analizi ve Erzincan İl Merkezinde Tek-boyutlu Zemin Modelleri.....	13
2.2.2.1 Literatür.....	13
2.2.2.2 Yöntem.....	15
2.2.2.3 Örnek Analiz.....	15
2.2.2.4 Analiz Sonuçları.....	19
2.3 Aşama 3: Olasılıksal Sismik Tehlike Analizi.....	25
2.3.1 Yöntem.....	25
2.3.2 Erzincan İli için Sismik Tehlikenin Tayini.....	28
2.3.2.1 Sismik Veri Tabanı ve Sismik Kaynaklar.....	28
2.3.2.2 Sahaya Özel Olasılıksal Sismik Tehlike Hesapları.....	39
2.3.2.3 Sahaya Özel Olasılıksal Sismik Tehlike Hesaplarından Hazırlanan Yer Hareketi Dağılım Haritaları.....	43
2.4 Aşama 4: Hasar tahmininde kullanılacak yer hareketlerinin oluşturulması.....	48
2.4.1 Aşama 4.1: Toplanan verilerle 1992 Erzincan depreminin simüle edilmesi. Elde edilen sonuçların gözlemlerle karşılaştırılması ve yer hareketi model parametrelerinin kalibre edilmesi.....	48

2.4.1.1 Yöntem: Stokastik Sonlu-Fay Yöntemi.....	48
2.4.1.2 13 Mart 1992 (Mw=6.6) Erzincan Depremi'nin Kuvvetli Yer Hareketi Simülasyonu.....	50
2.4.2 Aşama 4.2: Erzincan bölgesi için çeşitli senaryo depremlerin üretilmesi ve bu depremlerin yer hareketi dağılım haritalarının hazırlanması.....	56
2.4.3 Aşama 4.3: Üretilen senaryo depremlerle elde edilecek yapay yer hareketleriyle bir veri tabanı oluşturulması.....	61
2.5 Aşama 5: Yapı Hasargörebilirliğinin belirlenmesi.....	65
2.5.1 Aşama 5.1: Erzincan bölgesindeki yapılar hakkında bilgi toplanması ve binaların sınıflandırılması.....	65
2.5.2 Aşama 5.2: Toplanan verilere dayanarak betonarme ve yığma binaların analitik modellerinin bölgesel inşaat tekniklerini ve yapı özelliklerini göz önüne alacak şekilde oluşturulması.....	78
2.5.3 Aşama 5.3: Betonarme binaların sentetik yer hareketleri kullanılarak analiz edilmesi ve bu analizler sonucunda hasar potansiyeli eğrilerinin oluşturulması.....	85
2.5.4 Aşama 5.4: Yığma binaların sentetik yer hareketleri kullanılarak analiz edilmesi ve bu analizler sonucunda hasar potansiyeli eğrilerinin oluşturulması	102
2.6 Aşama 6: Deprem Hasar Tahmin Çalışması.....	109
2.6.1 Aşama 6.1: Erzincan bölgesi için daha önce oluşturulan büyük magnitudlü deprem senaryolarının karşılaştırılması ve eldeki veriler sayesinde en uygun olanların belirlenmesi	109
2.6.2 Aşama 6.2: Seçilen senaryo deprem kullanılarak Erzincan'dan konut tipi yapılarda görülmesi muhtemel hasar dağılımının tahmin edilmesi ve bölgesel hasar dağılım haritalarının hazırlanması.....	109
3. ÖZET, SONUÇ VE ÖNERİLER	116
3.1 Özet.....	116
3.2 Sonuç.....	117
3.3 Öneriler.....	118
4.KAYNAKLAR.....	11
9	
5. BIBLIYOGRAFİK BILGI	
FORMU.....	128

TABLO LİSTESİ

Tablo 1. Proje çalışma takvimi.....	1
Tablo 2. Kataloglarda yer alan Erzincan ve çevresinde meydana gelmiş tarihsel depremler.....	6
Tablo 3. İkincil depremlerin ayırt edilmesinde kullanılan uzaklık ve zaman pencereleri (Deniz, 2006).....	30
Tablo 4. Model 1’de esas alınan alan kaynaklar için katalog bilgilerinde eksik verilere ilişkin herhangi bir tadilat yapılmaması durumunda deprensellik parametreleri (Deniz 2006).....	32
Tablo 5. Model 1’de esas alınan alan kaynaklar için katalog bilgilerinde eksik verilere ilişkin bir tadilat yapılması durumunda deprensellik parametreleri (Deniz 2006).....	34
Tablo 6. Alan kaynaklara atanan en büyük magnitüd değerleri (Deniz 2006).....	35
Tablo 7. Model 1’de farklı deprensellik parametrelerinin geçerliliği için belirlenen öznel olasılık değerleri (Deniz 2006).....	35
Tablo 8. Model 2’de esas alınan çizgi (fay) ve alan kaynaklar için deprensellik parametreleri.....	38
Tablo 9. 13 Mart 1992 Erzincan depremini kaydeden kuvvetli yer hareketi istasyonlarına ait bilgiler.....	51
Tablo 10. 13 Mart 1992 Erzincan depremi için kullanılan kaynak ve yayılım parametreleri...52	
Tablo 11. Hasargörebilirlik analizinde kullanılacak betonarme ve yığma yapı alt sınıfları.....	79
Tablo 12. Betonarme çerçeveli yapı alt-sınıflarına ait T, η ve μ parametrelerinin ortalama (MN) ve standart sapma (STD) değerleri.....	81
Tablo 13. Betonarme karma ve perde duvarlı yapı alt-sınıflarına ait model parametre değerleri.....	83
Tablo 14. Alt-sınıflara ait T, η ve μ parametrelerinin ortalama ve standart sapma değerleri.....	85
Tablo 15. Kullanılan sentetik yer hareketlerinin genel özellikleri.....	90
Tablo 16. Örnek bir Hasar Olasılık Matrisi (HOM).....	110
Tablo 17. Erzincan il merkezindeki farklı yerleşim merkezlerindeki yapı sınıfı dağılımı.....	112
Tablo 18. 1992 Erzincan depremi için her yerleşim merkezinde elde edilen sentetik yer hareketinin MYH (PGV) cinsinden değeri ve bu projede sunulan yöntemle hesaplanan Ortalama Hasar Oranları.....	113

Tablo 19. Mw=7.0 senaryo depremi için her yerleşim merkezinde elde edilen sentetik yer hareketinin MYH (PGV) cinsinden değeri ve bu projede sunulan yöntemle hesaplanan Ortalama Hasar Oranları.....	115
--	-----

ŞEKİL LİSTESİ

- Şekil 1. Anadolu'nun tektonik özelliklerinin gösteren harita (Şengör, 1979; Barka, 1992; Özden vd., 2008).....3
- Şekil 2. Erzincan Havzası ve çevresindeki tektonik bloklar ve bu blokların hareket yönleri (Akpınar, 2010)4
- Şekil 3. 1939 ve 1992 Erzincan depremlerinin merkezleri (yıldızlar) ve odak mekanizmaları; yakın çevredeki aktif faylar ve 1992 depremini kaydetmiş olan kuvvetli yer hareketi istasyonlarının (üçgenler) Erzincan basenine göre konumları (1939 depremi merkez üssü ve odak mekanizması, Barka (1996)'dan alınmıştır; o çalışmada da Dewey (1976) ve McKenzie (1972) çalışmalarına referans verilmiştir.).....8
- Şekil 4.a Erzincan ili ve civarındaki aktif faylar (MTA, 2012).....9
- Şekil 4.b Bölgede 1900 yılından günümüze kadar gerçekleşmiş depremler.....9
- Şekil 5.a Erzincan il merkezinde zemin araştırmaları gerçekleştirilen sahaların Erzincan baseni içerisindeki konumları.....11
- Şekil 5.b Erzincan il merkezinde zemin araştırmaları gerçekleştirilen sahaların, şehirdeki yerleşim birimlerine göre konumları.....11
- Şekil 6. Erzincan il merkezinde zemin araştırmaları gerçekleştirilen sahalarındaki dizilim detaylar.....12
- Şekil 7. Güralp marka CMG-6TD sismometre12
- Şekil 8. Dört sismometre ile 30 metre-açıklıklı MMSPAC uygulaması için (örnek) bir arazi düzeneği.....13
- Şekil 9 . SPAC Yöntemi ile Mikrotremor Veri Analizi Şeması (Maresca vd. 2006'dan derlenmiştir).....15
- Şekil 10. Saha 1- r1 ve r2 uzaklıkları için uyumluluk eğrileri (Saha1- büyük üçgen dizilimi ölçümü için örnek çözüm).....17
- Şekil 11. En küçük hata değerini veren uyumluluk eğrisini oluşturan model (Saha 1'deki büyük üçgen dizilimi ölçümü için örnek çözüm).....18
- Şekil 12. En küçük hata değerini veren hız modeline ait dispersiyon eğrisinin gözlemsel dispersiyon verisi ile karşılaştırılması (Saha 1'deki büyük üçgen dizilimi ölçümü için örnek çözüm).....18
- Şekil 13. Saha 1'deki büyük üçgen dizilime ait gözlemsel HVSR eğrisi.....18
- Şekil 14.a Saha 1'de elde edilmiş olan sonuçlar (Çözülebilir tüm derinlik için).....19
- Şekil 14.b Saha 1'de elde edilmiş olan sonuçlar (İlk 65m için).....19

Şekil 15.a Saha 2’de elde edilmiş olan sonuçlar (Çözülebilir tüm derinlik için).....	20
Şekil 15.b Saha 2’de elde edilmiş olan sonuçlar (İlk 65m için).....	20
Şekil 16.a Saha 3’te elde edilmiş olan sonuçlar (Çözülebilir tüm derinlik için).....	20
Şekil 16.b Saha 3’te elde edilmiş olan sonuçlar (İlk 65m için).....	21
Şekil 17.a Saha 4’te elde edilmiş olan sonuçlar (Çözülebilir tüm derinlik için).....	21
Şekil 17.b Saha 4’te elde edilmiş olan sonuçlar (İlk 65m için).....	21
Şekil 18.a Saha 5’te elde edilmiş olan sonuçlar (Çözülebilir tüm derinlik için).....	22
Şekil 18.b Saha 5’te elde edilmiş olan sonuçlar (İlk 65m için).....	22
Şekil 19.a Saha 6’da elde edilmiş olan sonuçlar (Çözülebilir tüm derinlik için).....	22
Şekil 19.b Saha 6’da elde edilmiş olan sonuçlar (İlk 65m için).....	23
Şekil 20.a Saha 7’de elde edilmiş olan sonuçlar (Çözülebilir tüm derinlik için).....	23
Şekil 20.b Saha 7’de elde edilmiş olan sonuçlar (İlk 65m için).....	23
Şekil 21.a Saha 8’de elde edilmiş olan sonuçlar (Çözülebilir tüm derinlik için).....	24
Şekil 21.b Saha 8’de elde edilmiş olan sonuçlar (İlk 65m için).....	24
Şekil 22.a Saha 9’da elde edilmiş olan sonuçlar (Çözülebilir tüm derinlik için).....	24
Şekil 22.b Saha 9’da elde edilmiş olan sonuçlar (İlk 65m için).....	25
Şekil 23. Klasik Olasılıksal Sismik Tehlike Analizinin Başlıca Aşamaları.....	26
Şekil 24. Tüm depremleri içeren sismik veritabanında yer alan depremlerin mekansal dağılımını gösteren harita.....	31
Şekil 25. Yalnızca ana şokları içeren sismik veritabanında yer alan depremlerin mekansal dağılımını gösteren harita.....	31
Şekil 26. Model 1’de esas alınan alan kaynaklar.....	32
Şekil 27. Model 2’de esas çizgi (fay) kaynaklar.....	36
Şekil 28. Deprem verileri ve faylar dikkate alınarak belirlenen alanlar (Taralı olan poligonlar alan kaynakları, diğer poligonlar ise fayları göstermektedir.)	37
Şekil 29. Saha 1’e ait sismik tehlike eğrileri (Düşey eksen yıllık aşılma sıklığını göstermektedir).....	39
Şekil 30. Saha 2’ye ait sismik tehlike eğrileri (Düşey eksen yıllık aşılma sıklığını göstermektedir).....	39

Şekil 31. Saha 3'e ait sismik tehlike eğrileri (Düşey eksen yıllık aşılma sıklığını göstermektedir).....	40
Şekil 32. Saha 4'e ait sismik tehlike eğrileri (Düşey eksen yıllık aşılma sıklığını göstermektedir)	40
Şekil 33. Saha 5'e ait sismik tehlike eğrileri (Düşey eksen yıllık aşılma sıklığını göstermektedir)	41
Şekil 34. Saha 6'ya ait sismik tehlike eğrileri (Düşey eksen yıllık aşılma sıklığını göstermektedir)	41
Şekil 35. Saha 7'ye ait sismik tehlike eğrileri (Düşey eksen yıllık aşılma sıklığını göstermektedir)	42
Şekil 36. Saha 8'e ait sismik tehlike eğrileri (Düşey eksen yıllık aşılma sıklığını göstermektedir)	42
Şekil 37. Saha 9'a ait sismik tehlike eğrileri (Düşey eksen yıllık aşılma sıklığını göstermektedir)	43
Şekil 38. 475 yıl tekerrür süresi için maksimum yer ivmesi (PGA) cinsinden tehlike haritası (sol kolon: il merkezinde yerel zemin özellikleri ile, sağ kolon: Erzincan civarı için ortalama zemin özellikleri ile)	44
Şekil 39. 975 yıl tekerrür süresi için maksimum yer ivmesi (PGA) cinsinden tehlike haritası (sol kolon: il merkezinde yerel zemin özellikleri ile, sağ kolon: Erzincan civarı için ortalama zemin özellikleri ile)	44
Şekil 40. 2475 yıl tekerrür süresi için maksimum yer ivmesi (PGA) cinsinden tehlike haritası (sol kolon: il merkezinde yerel zemin özellikleri ile, sağ kolon: Erzincan civarı için ortalama zemin özellikleri ile)	45
Şekil 41. 475 yıl tekerrür süresi için spektral ivme (SA=0.2 saniye) cinsinden tehlike haritası (sol kolon: il merkezinde yerel zemin özellikleri ile, sağ kolon: Erzincan civarı için ortalama zemin özellikleri ile)	45
Şekil 42. 975 yıl tekerrür süresi için spektral ivme (SA=0.2 saniye) cinsinden tehlike haritası (sol kolon: il merkezinde yerel zemin özellikleri ile, sağ kolon: Erzincan civarı için ortalama zemin özellikleri ile)	46
Şekil 43. 2475 yıl tekerrür süresi için spektral ivme (SA=0.2 saniye) cinsinden tehlike haritası (sol kolon: il merkezinde yerel zemin özellikleri ile, sağ kolon: Erzincan civarı için ortalama zemin özellikleri ile)	46
Şekil 44. 475 yıl tekerrür süresi için spektral ivme (SA=1.0 saniye) cinsinden tehlike haritası (sol kolon: il merkezinde yerel zemin özellikleri ile, sağ kolon: Erzincan civarı için ortalama zemin özellikleri ile)	47

Şekil 45. 975 yıl tekerrür süresi için spektral ivme (SA=1.0 saniye) cinsinden tehlike haritası (sol kolon: il merkezinde yerel zemin özellikleri ile, sağ kolon: Erzincan civarı için ortalama zemin özellikleri ile)	47
Şekil 46. 2475 yıl tekerrür süresi için spektral ivme (SA=1.0 saniye) cinsinden tehlike haritası (sol kolon: il merkezinde yerel zemin özellikleri ile, sağ kolon: Erzincan civarı için ortalama zemin özellikleri ile)	48
Şekil 47. Stokastik sonlu-fay yönteminde dalganın kinematik yayılımı (Şekil, Hisada (2008)'den olduğu gibi alınmıştır)	49
Şekil 48. 1939 ve 1992 Erzincan depremlerinin merkezleri (yıldızlar) ve odak mekanizmaları; yakın çevredeki aktif faylar ve 1992 depremini kaydetmiş olan kuvvetli yer hareketi istasyonlarının (üçgenler) Erzincan basenine göre konumları (1939 depremi merkez üssü ve odak mekanizması, Barka (1996)'dan alınmıştır; o çalışmada da Dewey (1976) ve McKenzie (1972) çalışmalarına referans verilmiştir.)	50
Şekil 49. 13 Mart 1992 Erzincan depremi gerçek ivme kayıtlarının sentetikler ile ivme-zaman kaydı ve Fourier büyüklük spektrumu cinsinden karşılaştırılması (Kırmızı eğri KuzeyGüney, mavi eğri Doğu-Batı bileşenlerini, siyah eğri ise sentetik kayıtları göstermektedir)	53
Şekil 50. Simülasyon sonuçlarına göre Erzincan 1992 depremi sırasında il merkezinde gözlemlenmiş olması muhtemel maksimum yer ivmesi dağılımı.....	54
Şekil 51. Simülasyon sonuçlarına göre Erzincan 1992 depremi sırasında il merkezinde gözlemlenmiş olması muhtemel maksimum yer hızı dağılımı.....	54
Şekil 52. Simülasyon sonuçlarına göre Erzincan 1992 depremi sırasında il merkezinde gözlemlenmiş olması muhtemel spektral ivme (T=0.33 san.) dağılımı.....	55
Şekil 53. Simülasyon sonuçlarına göre Erzincan 1992 depremi sırasında il merkezinde gözlemlenmiş olması muhtemel spektral ivme (T=1 san.) dağılımı.....	55
Şekil 54. Simülasyon sonuçlarına göre Erzincan 1992 depremi sırasında il merkezinde gözlemlenmiş olması muhtemel spektral ivme (T=2 san.) dağılımı.....	56
Şekil 55. Mw=5.5 senaryo depremi simülasyon sonuçlarına göre Erzincan il merkezinde yer hareketi dağılımları (sırasıyla maksimum yer ivmesi, maksimum yer hızı, 0.33 san., 1 san. ve 2 saniyedeki spektral ivme dağılımları)	58
Şekil 56. Mw=6.0 senaryo depremi simülasyon sonuçlarına göre Erzincan il merkezinde yer hareketi dağılımları (sırasıyla maksimum yer ivmesi, maksimum yer hızı, 0.33 san., 1 san. ve 2 saniyedeki spektral ivme dağılımları)	59
Şekil 57. Mw=7.0 senaryo depremi simülasyon sonuçlarına göre Erzincan il merkezinde yer hareketi dağılımları (sırasıyla maksimum yer ivmesi, maksimum yer hızı, 0.33 san., 1 san. ve 2 saniyedeki spektral ivme dağılımları)	60
Şekil 58. Mw=7.5 senaryo depremi simülasyon sonuçlarına göre Erzincan il merkezinde yer hareketi dağılımları (sırasıyla maksimum yer ivmesi, maksimum yer hızı, 0.33 san., 1 san. ve 2 saniyedeki spektral ivme dağılımları)	61

Şekil 59. Erzincan ilinde senaryo depremlerde sentetik kayıt elde etmek amacıyla istasyon olarak kullanılan 123 düğüm noktası, (buradaki yer kısıtından ötürü tüm ivme-zaman grafikleri gösterilemediği için) örnek ivme-zaman grafikleri için seçilen istasyonlar, bu istasyonların mahalle merkezleri ve ölçüm yapılan sahalara göre konumları.....	62
Şekil 60. Mw=5.5 senaryo depremi simülasyon sonuçlarına göre Erzincan il merkezinde seçilen 12 (yapay) istasyondaki ivme-zaman kayıtları	63
Şekil 61. Mw=6.0 senaryo depremi simülasyon sonuçlarına göre Erzincan il merkezinde seçilen 12 (yapay) istasyondaki ivme-zaman kayıtları	63
Şekil 62. Mw=6.5 senaryo depremi simülasyon sonuçlarına göre Erzincan il merkezinde seçilen 12 (yapay) istasyondaki ivme-zaman kayıtları.....	64
Şekil 63. Mw=7.0 senaryo depremi simülasyon sonuçlarına göre Erzincan il merkezinde seçilen 12 (yapay) istasyondaki ivme-zaman kayıtları	64
Şekil 64. Mw=7.5 senaryo depremi simülasyon sonuçlarına göre Erzincan il merkezinde seçilen 12 (yapay) istasyondaki ivme-zaman kayıtları	65
Şekil 65. Erzincan ili yerleşim birimlerinin zemin çalışması yapılan sahalara göre konumu; (a) harita, (b) uydu görüntüsü	66
Şekil 66. TÜİK verilerine göre Erzincan'daki binaların yüzde bazında mahallere göre dağılımı.....	67
Şekil 67. TÜİK verilerine göre Erzincan'daki binaların kat sayısına göre dağılımı.....	67
Şekil 68. TÜİK verilerine göre Erzincan'daki binaların kullanım amacına göre dağılımı.....	68
Şekil 69. TÜİK verilerine göre Erzincan'daki binaların yapı türüne göre dağılımı.....	69
Şekil 70. Erzincan'nın en büyük 6 mahallesindeki binaların kat sayısına göre dağılımı.....	70
Şekil 71. Erzincan'nın en büyük 6 mahallesindeki binaların kullanım amacına göre dağılımı.	71
Şekil 72. Erzincan'nın en büyük 6 mahallesindeki binaların yapı türüne göre dağılımı.....	72
Şekil 73. Saha çalışmasında incelenmiş binaların basit yapısal parametreler cinsinden istatistiksel bilgileri; a) yapı sistem türü, b) kat sayısı, c) kullanım türü, d) görünen kalite, e) yatay düzensizlik, f) düşey düzensizlik, g) ticari giriş katı mevcudiyeti.....	74
Şekil 74. İncelenmiş olan binalardan örnekler; betonarme çerçeve bina (solda), betonarme çerçeve + perdeli bina (sağda)	75
Şekil 75. İncelenmiş olan binalardan örnekler; tuğla yığma bina (solda), taş yığma bina (sağda)	75
Şekil 76. 5-6 katlı betonarme binalar olarak inşa edilmiş olan askeri lojmanlar.....	76

Şekil 77. Kızılay mahallesinde ticari amaçla kullanılmakta olan bir betonarme bina.....	76
Şekil 78. Görünen kalite olarak “iyi” (solda) ve “kötü” (sağda) olarak sınıflandırılan binalara örnekler.....	77
Şekil 79. Ayrık nizam olarak inşa edilmiş binalara örnekler.....	77
Şekil 80. Yeni analitik çevrim modelinin (a) kapasite eğrisi, (b) çevrim özellikleri (Ibarra vd. 2005)	80
Şekil 81. Jenerik yığma bina modellerinden örnekler.....	84
Şekil 82 (a) Kümülatif dağılım fonksiyonu ($n = 5$) (b) Olasılık yoğunluk fonksiyonu ($n = 5$) LHS metodu n adet birbiri üzerine binmeyen aralık için 0 ve 1 arasında n adet rasgele sayı seçer. Bir başka deyişle her bir aralık için bir sayı rasgele belirlenir. Sonra bu sayıları Denklem 19'daki gibi kümülatif olasılıklara çevirir:	86
Şekil 83. Hasargörebilirlik eğrilerinin oluşturulması ile ilgili yönteminin şematik olarak gösterilmesi.....	88
Şekil 84. RF2A yapı alt-sınıfı için yer değiştirme cinsinden elde edilen tepki istatistiği.....	91
Şekil 85. Az katlı betonarme çerçeve bina alt sınıfları için hasargörebilirlik eğrileri.....	92
Şekil 86. Orta katlı betonarme çerçeve bina alt sınıfları için hasargörebilirlik eğrileri.....	93
Şekil 87. Az katlı betonarme çerçeve binaların hasargörebilirlik eğrilerinin farklı hasar sınırları (HS) için karşılaştırılması.....	94
Şekil 88. Orta katlı betonarme çerçeve binaların hasargörebilirlik eğrilerinin farklı hasar sınırları (HS) için karşılaştırılması.....	95
Şekil 89. Az katlı betonarme karma bina alt sınıfları için hasargörebilirlik eğrileri.....	96
Şekil 90. Orta katlı betonarme karma bina alt sınıfları için hasargörebilirlik eğrileri.....	97
Şekil 91. Az katlı betonarme karma binaların hasargörebilirlik eğrilerinin farklı hasar sınırları (HS) için karşılaştırılması.....	98
Şekil 92. Orta katlı betonarme karma binaların hasargörebilirlik eğrilerinin farklı hasar sınırları (HS) için karşılaştırılması.....	99
Şekil 93. Az katlı betonarme perdeli bina alt sınıfları için hasargörebilirlik eğrileri.....	100
Şekil 94. Az katlı betonarme perdeli binaların hasargörebilirlik eğrilerinin farklı hasar sınırları (HS) için karşılaştırılması.....	101
Şekil 95. Tek katlı yığma bina alt sınıfları için hasargörebilirlik eğrileri.....	103
Şekil 96. İki katlı yığma bina alt sınıfları için hasargörebilirlik eğrileri.....	104

Şekil 97. Üç katlı yığma bina alt sınıfları için hasargörebilirlik eğrileri.....	105
Şekil 98. Tek katlı yığma binaların hasargörebilirlik eğrilerinin karşılaştırılması.....	106
Şekil 99. İki katlı yığma binaların hasargörebilirlik eğrilerinin karşılaştırılması.....	107
Şekil 100. Üç katlı yığma binaların hasargörebilirlik eğrilerinin karşılaştırılması.....	108
Şekil 101. Hasar oranlarının belirlenmesinde kullanılan yöntemin akış şeması.....	111
Şekil 102. Erzincan 1992 Depremi için yerleşim merkezlerinde bu projede sunulan yöntemlerle hesaplanan hasar dağılımı.....	113
Şekil 103. Erzincan 1992 Depremi sırasında yerleşim merkezlerinde gözlemlenen hasar dağılımı.....	114
Şekil 104. Mw=7.0 senaryo depremi için yerleşim merkezlerinde bu projede sunulan yöntemlerle hesaplanan hasar dağılımı (Senaryo depremle ilgili detaylar Kısım 2.4'te sunulmuştur).....	115

ÖZET

Kentsel alanlarda risk azaltma çalışmalarının ilk adımı incelenen bölgedeki potansiyel kayıpların belirlenmesidir. Sismik kayıpların saptanması, jeofizik mühendisliğinden sigorta sektörüne, deprem mühendisliğinden ekonomiye dek birçok farklı alanı ilgilendirmekte ve disiplinlerarası bir yaklaşım gerektirmektedir. Bu çalışmada, kentsel alanlarda kayıp tahmini için, sahaya-özel sismik tehlike analizleri, yapı kırılganlıkları ve kayıp modelleri içeren bir yaklaşım geliştirilmiştir. Bu çalışmanın temel bileşenleri çalışılan bölgeye ait yerel sismik hız modelleri, deterministik ve olasılıksal sismik tehlike analizleri, senaryo deprem simülasyonları, yapı stoğu özellikleri ve kayıp fonksiyonlarıdır. Çalışma alanı olarak Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun doğu kesiminde yer alan Erzincan bölgesi seçilmiştir. Üç önemli fay sistemi arasında bir havza yapısı içerisinde yer alan ve 1939 ile 1992 yıllarında yıkıcı depremler yaşamış olan bu şehir, dikkate alınması gereken bir sismik tehlike içermektedir. Bu raporda, 2012-2015 yılları arasında disiplinlerarası bir ekip tarafından yürütülmüş olan proje kapsamında elde edilen sonuçlar sunulmuştur. Proje çıktıları, yerel hız modelleri, geçmiş ve senaryo deprem simülasyonları, olasılıksal sismik tehlike analizleri, yapı kırılganlıkları ve hasar oranları cinsinden ifade edilmiştir. Önerilen yöntem, 1992 Erzincan depreminde gözlemlenmiş olan hasar dağılımı ile doğrulanmış ve gerçekçi sonuçlar elde edilmiştir. Bu ve benzeri çalışmalarla, ülkemizde tehlikesi yüksek kentsel alanlardaki kayıpların tahmini gerçekçi bir şekilde yapılabilecek; uzun vadede deprem bölgelerinde risk azaltımına ve afet yönetimine katkıda bulunulacaktır.

ANAHTAR KELİMELER: Sismik Tehlike Analizi, Hız Modeli, Yer Hareketi Simülasyonu, Bina Kırılganlık Analizleri, Sismik Kayıplar

ABSTRACT

The first step of risk mitigation in urban regions is identification of potential seismic losses in future earthquakes. Estimation of seismic losses concerns a wide range of fields varying from geophysical engineering to insurance companies, from earthquake engineering to economy and naturally requires an interdisciplinary framework. In this study, we develop a loss estimation approach which involves site-specific seismic hazard, building vulnerabilities and loss models. The main components of the study are local velocity models, probabilistic and deterministic seismic hazard assessments, estimation of potential ground motions, regional building vulnerability information, and loss functions. As the study area, Erzincan, a city on the eastern part of the North Anatolian Fault zone is selected. Located within a triple conjunction of major fault systems on a basin structure, and experienced major events in 1939 and 1992, this city has significant hazard potential. In this report, the results of the project conducted by an interdisciplinary team between years 2012-2015 are presented. The results of the project are expressed in terms of key components such as local velocity models, ground motion simulations of past earthquakes and scenario events, site-specific probabilistic seismic hazard analyses, fragility functions and damage rates. The proposed model is verified against the observed damage distribution of the 1992 Erzincan event and yielded realistic results. Through this study and similar studies, realistic loss estimations in seismically active urban areas in our country can be performed and risk mitigation as well as disaster management can be attained in the long term.

KEYWORDS: Seismic Hazard Analysis, Velocity Model, Ground Motion Simulation, Building Fragility Analyses, Seismic Losses

1.GİRİŞ

Bu rapor, TUJJB-UDP-01-12 kodlu TUJJB projesinde 36 aylık çalışmalarını içeren final raporu olup, proje kapsamında elde edilen tüm veriyi, yapılan tüm analizleri ve ilgili sonuçları detaylı olarak sunmaktadır. Tablo 1’de proje önerisinde sunulmuş olan çalışma takvimi verilmektedir.

Tablo 1. Proje çalışma takvimi

Aşama No	Aşama Başlığı	Proje Önerisinde Belirtilmiş Olan Zamanlama
1	Erzincan civarındaki aktif fayların belirlenmesi (Literatür tarama; veri derleme ve yorumlama)	1-6. aylar
2	Erzincan il merkezinde zemin modelleri oluşturulması (Arazi çalışması, mikrotremor verisi analizi ve yorumlama; haritalama)	6-12. aylar
3	Olasılıksal Sismik Tehlike Analizi	12.-18. aylar
4	Hasar tahmininde kullanılacak yer hareketlerinin oluşturulması	
4.1	Toplanan verilerle 1992 Erzincan depreminin simüle edilmesi. Elde edilen sonuçların gözlemlerle karşılaştırılması ve yer hareketi model parametrelerinin kalibre edilmesi	12.-18. aylar
4.2	Erzincan bölgesi için çeşitli senaryo depremlerin üretilmesi ve bu depremlerin yer hareketi dağılım haritalarının hazırlanması	18.-21. aylar
4.3	Üretilen senaryo depremlerle elde edilecek yapay yer hareketleriyle bir veri tabanı oluşturulması	21.-24. aylar
5	Yapı hasargörebilirliğinin belirlenmesi	
5.1	Erzincan bölgesindeki yapılar hakkında bilgi toplanması ve binaların sınıflandırılması	6.-12. aylar
5.2	Toplanan verilere dayanarak betonarme çerçevesel ve yığma binaların analitik modellerinin bölgesel inşaat tekniklerini ve yapı özelliklerini göz önüne alacak şekilde oluşturulması	12.-15. aylar
5.3	Betonarme çerçevesel binaların sentetik yer hareketleri kullanılarak analiz edilmesi ve bu analizler sonucunda hasar potansiyeli eğrilerinin oluşturulması	18.-21. aylar
5.4	Yığma binaların sentetik yer hareketleri kullanılarak analiz edilmesi ve bu analizler sonucunda hasar potansiyeli eğrilerinin oluşturulması	21.-24. aylar
6	Deprem hasar tahmin çalışması	
6.1	Erzincan bölgesi için daha önce oluşturulan büyük magnitudlü deprem senaryolarının karşılaştırılması ve elde edilen veriler sayesinde en uygun olanların belirlenmesi	27.-30. aylar
6.2	Seçilen senaryo deprem kullanılarak Erzincan’da konut tipi yapılarda görülmesi muhtemel hasar dağılımının tahmin edilmesi ve bölgesel hasar dağılım haritalarının hazırlanması	30.-36. aylar

2. PROJE SÜRESİNCE GERÇEKLEŞTİRİLMİŞ BİLİMSEL VE TEKNİK ÇALIŞMALAR

Proje kapsamında Tablo 1’de özetleri verilen iş paketlerinin tümü, proje final raporunun bütünlüğü açısından detaylı olarak sunulmuştur.

2.1 Aşama1: Erzincan Civarındaki Depremsellik ve Aktif Fayların Belirlenmesi

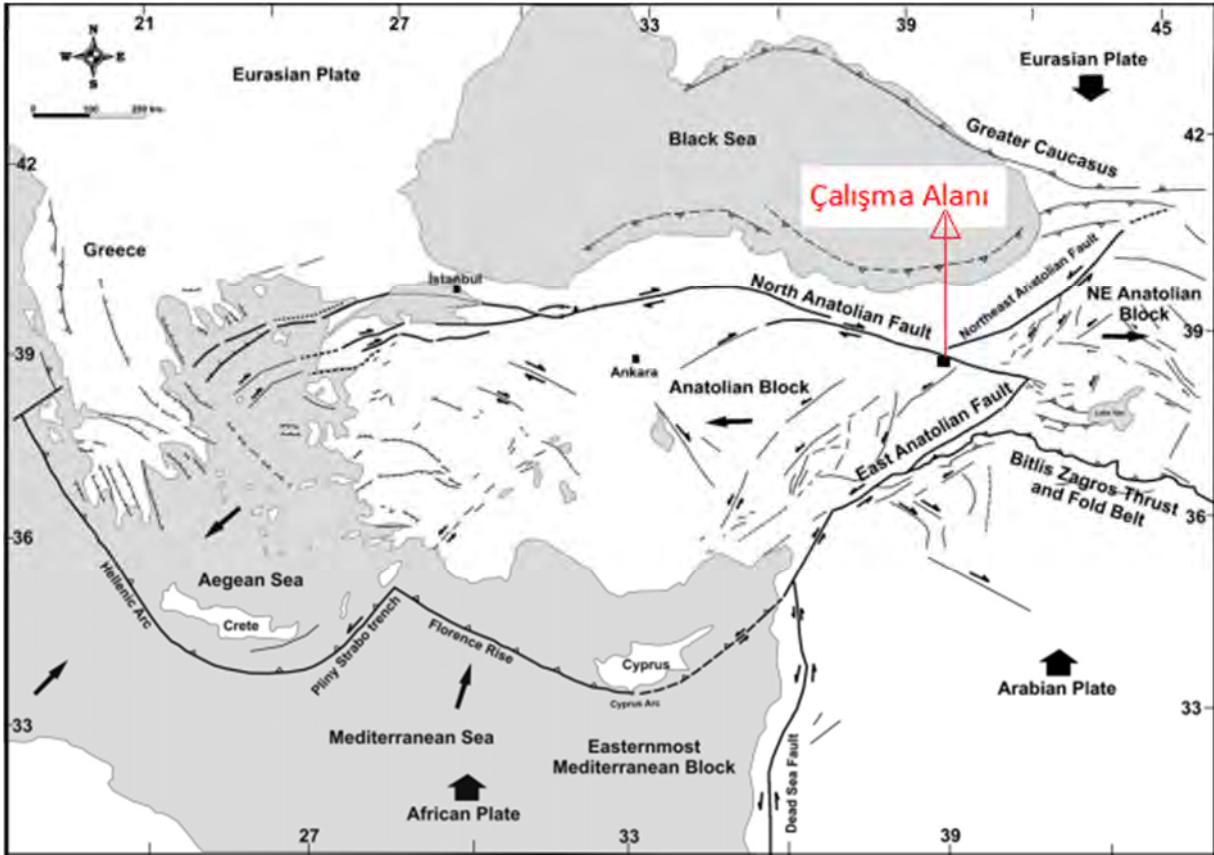
Projenin ilk aşamasında Erzincan ve civarındaki aktif fayların ve karakteristiklerinin belirlenmesi amacıyla öncelikle bölgenin neotektoniği ve meydana gelen tarihsel depremler, paleosismolojik çalışmalar çerçevesinde araştırılmıştır. Bu bölümde sırasıyla, Kuzey Anadolu Fay Zonu özellikleri, Erzincan civarındaki depremsellik, bölge tektoniği ve aktif faylar hakkında bilgi verilecektir.

2.1.1 Kuzey Anadolu Fay Zonu Tektonik Özellikleri

Çalışma alanı ve yakın civarı, tarihsel ve aletsel dönemlerdeki yoğun sismik aktivitesi sebebiyle dünyadaki en aktif fay zonlarından birisi olan Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) üzerinde doğrultu atımlı faylanma olan bir bölgedir (Ketin, 1968; Şengör vd., 1985; Kiratzi, 1993; DPT Raporu, 2006). KAFZ, Türkiye’nin kuzeyinde bulunan Karadeniz bölgesinin kıyı dağlarının güneyine yaklaşık paralel, doğuda KB-GD doğrultusunda başlayan, orta kısmında doğu-batı gidişli ve batısında KD-GB yönünde ilerleyen yaklaşık 1200 km uzunluğunda, sağ yanal atımlı yay biçimli bir doğrultu atımlı fay sistemidir. KAFZ’nin sağ yanal atımlı hareketi şu şekilde açıklanabilir: Orta Miyosen’de Anadolu bloğunun güneyindeki Arap plakası ve kuzeyindeki Avrasya plakasının birbirlerine doğru hareketi başlamıştır. Bu iki plakanın birbirine doğru hareketi sebebiyle aralarında kalan Anadolu bloğunda batıya doğru bir hareket gözlenmektedir (McKenzie, 1972; Şengör, 1979; Şengör, 1985; DPT Final Raporu, 2006). Bu etkiler sebebiyle Kuzey Anadolu Fay Zonu, Geç Miyosen veya Erken Pliyosen’de başlamıştır (Tokay, 1973; Toprak, 1988; Barka ve Gülen, 1989; Koçyiğit, 1989; Bozkurt ve Koçyiğit, 1996; Yalıttrak, 1996; Barka vd., 2000). Bunların yanında KAFZ’nin oluşum yaşının doğuda Geç Miyosen (16My) veya daha yaşlı batıda ise Erken Pliyose (3My)’den daha genç olduğu düşünülmektedir (Gautier vd., 1999).

Kuzey Anadolu Fay Zonu boyunca yapılan jeolojik çalışmalar incelendiğinde bu fay zonunun doğusunda 85 (+/- 5) km, batısında ise yaklaşık 25 (+/- 5) km civarında atım hesaplanmıştır. Bu yerdeğişime miktarları incelendiğinde doğudan batıya doğru bir azalım görülmektedir. Bu azalımın temel nedeni; genellikle ana faydan Anadolu bloğunun içerisine doğru uzanarak ayrılan bir çok yan kolların (splay fayların) görünür ötelenmeleri olduğu kabul edilmesidir (Seymen, 1975; Tatar, 1978; Şengör, 1979; Barka, 1981; 1992; Barka ve Hancock, 1984; Şengör vd., 1985; Şaroğlu, 1985; 1988; Koçyiğit, 1998; 1989; Toprak, 1988; Yalıttrak, 1996; Piper vd., 1997; Tüysüz vd., 1998; Armijo vd., 1999; Barka vd., 2000; Yalıttrak vd., 2000). Ayrıca KAFZ üzerindeki kayma oranı, yapılan jeolojik çalışmalardan elde edilen bilgilere göre yaklaşık 5-10 mm/yıl (Barka, 1992) veya 17(+,-2)mm/yıl (Westaway, 1994)’dür. Plaka hareketleri ve sismolojik verilerden elde edilen bilgiye göre ise kayma oranı 30-40mm/yıl olarak ortaya konmuştur (Taymaz vd., 1991). Kayma oranı hesaplanması için kullanılan GPS verileri incelendiğinde ise bu miktar 15-25mm/yıl’dır (Oral vd., 1995; Ayhan vd., 1995; Reilinger vd., 1997; McClusky vd., 2000). Günümüz GPS verileri ile yapılan hesaplamalar sonucunda Pliyosen’den bugüne kadar olan kayma oranları ise yaklaşık 75-125 Kuzey Anadolu Fay Zonu boyunca yapılan jeolojik çalışmalar incelendiğinde bu fay zonunun doğusunda 85

(± 5) km, batısında ise yaklaşık 25 (± 5) km civarında atım hesaplanmıştır. Bu yerdeğiştime miktarları incelendiğinde doğudan batıya doğru bir azalış görülmektedir. Bu azalışın temel nedeni; genellikle ana faydan Anadolu bloğunun içerisine doğru uzanarak ayrılan bir çok yan kolların (splay fayların) görünür ötelenmeleri olduğu kabul edilmesidir (Seymen, 1975; Tatar, 1978; Şengör, 1979; Barka, 1981; 1992; Barka ve Hancock, 1984; Şengör vd., 1985; Şaroğlu, 1985; 1988; Koçyiğit, 1998; 1989; Toprak, 1988; Yalıttrak, 1996; Piper vd., 1997; Tüysüz vd., 1998; Armijo vd., 1999; Barka vd., 2000; Yalıttrak vd., 2000). Ayrıca KAFZ üzerindeki kayma oranı, yapılan jeolojik çalışmalardan elde edilen bilgilere göre yaklaşık 5-10 mm/yıl (Barka, 1992) veya 17(+,-)mm/yıl (Westaway, 1994)'dür. Plaka hareketleri ve sismolojik verilerden elde edilen bilgiye göre ise kayma oranı 30-40mm/yıl olarak ortaya konmuştur (Taymaz vd., 1991). Kayma oranı hesaplanması için kullanılan GPS verileri incelendiğinde ise bu miktar 15-25mm/yıl'dır (Oral vd., 1995; Ayhan vd., 1995; Reilinger vd., 1997; McClusky vd., 2000). Günümüz GPS verileri ile yapılan hesaplamalar sonucunda Pliyosen'den bugüne kadar olan kayma oranları ise yaklaşık 75-125 km civarındadır. Şekil 1, Anadolu plakasının temel tektonik özelliklerinin bir özetini göstermektedir.



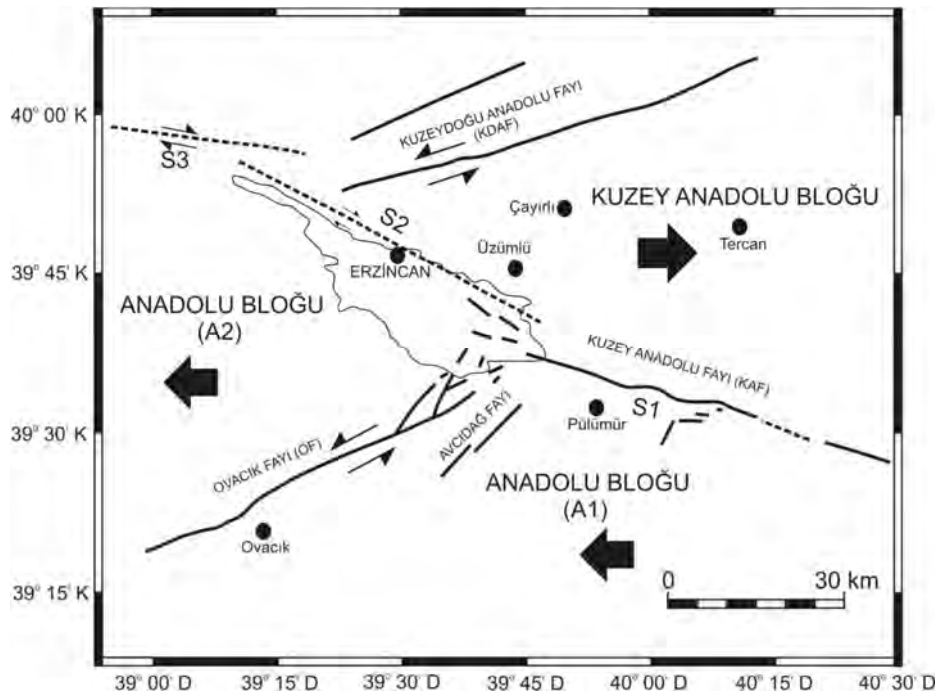
Şekil 1. Anadolu'nun tektonik özelliklerinin gösteren harita (Şengör, 1979; Barka, 1992; Özden vd., 2008)

2.1.2 Erzincan Bölgesi Tektoniği ve Depremsellik

Kuzey Anadolu Fay Zonu üzerinde son yüzyılda doğudan batıya doğru sırasıyla 1939 Erzincan, 1942 Nıksar-Erbaa, 1943 Ladık, 1944 Gerece, 1957 Abant, 1967 Mudurnu Vadisi ve son olarak 1999 İzmit ve Düzce depremleri meydana gelmiş; adı geçen bu depremler çok sayıda mal ve

can kaybına sebep olmuştur. (Barka, 1996; Akyüz vd., 2002; Barka vd., 2002; Çakır vd., 2003; DPT Raporu 2006).

KAFZ üzerinde birçok ana ayrılma (splay) faylar ve bu faylar üzerinde oluşmuş basenler bulunmaktadır. Çalışma bölgesi olan Erzincan ve yakın çevresindeki faylar üzerinde oluşmuş basenler şu şekilde sıralanabilir; Niksar Baseni, Taşova-Erbaa Baseni, Erzincan Baseni (Aydın ve Nur, 1982). Şekil 2’de görüldüğü gibi, Erzincan baseni civarında üç ayrı blok, Kuzey Anadolu Bloğu ve Anadolu (A1) ve (A2) blokları, Arap ve Avrasya plakalarının çarpışmasının sebep olduğu sıkışmadan ötürü sağa ve sola doğru kaçmaktadır (Barka, 1993). Bu bloklar arasında ortak sınır fayı olarak Kuzey Anadolu Fayı bulunmaktadır. Basen civarında bulunan diğer önemli tektonik yapılar ise Kuzeydoğu Anadolu ve Ovacık faylarıdır. Kuzey Anadolu Fayı, Erzincan civarında 3 ayrı segmente ayrılır: bunlar Şekil 2’de gösterilen S1, S2 ve S3 segmentleridir (Akpınar, 2010).



Şekil 2. Erzincan Havzası ve çevresindeki tektonik bloklar ve bu blokların hareket yönleri (Akpınar, 2010)

Şekil 2’de S1 ile belirtilen segment, yaklaşık 115° azimutla Yedisu ve Erzincan basenleri arasında bulunmakta olup segmentin batı yarısı Fırat vadisi boyunca devam etmektedir. Şekil 2 üzerinde S2 ile ifade edilen ikinci segment ise basenin kuzey kenarını sınırlamakta ve yaklaşık 125° azimut açısı bulunmaktadır. Bu segmentin doğu yarısında bir çok yerde genç sedimanlar ve volkanikler bulunmaktadır. S1 ve S2 segmentleri arasında genişleme basamağı yaklaşık 5 km uzunluktadır. Erzincan baseninin KB’sında üçüncü segment (S3) yer almaktadır. Bu segment 105° azimutla batıya Suşehri-Gölova basenine doğru uzanmaktadır. Yapılan çalışmalar neticesinde S2 ve S3 segmentlerinin 1939 Erzincan depremi ($M_s \sim 8.0$) sırasında kırıldığı (Pamir ve Ketin, 1941) ve özellikle S3 üzerinde 7-7.5 m’lik sağ-yanal atımlar olduğu belirlenmiştir (Koçyiğit, 1989; Barka, 1993). S1 segmenti ise en son 1784 depremi (Şiddet=IX) ile kırılmıştır (Ambraseys, 1985) ancak bu deprem sırasındaki doğrultu atım hakkında kesin bir

veri bulunmamaktadır. Ayrıca S1 üzerinde 1967 Pülümür depremi (Ms~5.9) meydana gelmiştir. Ve yaklaşık 4 km'lik bir kırık ve 20 cm sağ yanal atım oluşmuştur (Ambraseys, 1975).

Şekil 2'de S1, S2 ve S3 segmentleri dışında yer alan bir diğer fay ise Ovacık fayıdır. Bu fay Erzincan baseninin güneydoğusunda bulunmakta ve Kuzey Anadolu fayına ait S1 ve S2 segmentleri ile kesişmektedir. Günümüzde S1 ve S2 arasındaki genişleme basamağı ve Ovacık fayının hareketi ile Erzincan baseni genişlemektedir (Barka ve Gülen, 1989). Ovacık fayı üzerinde özellikle Ovacık baseninde Holosen yaşlı fanları kesen genç fay yüzeylerine rastlanmaktadır (Arput ve Şaroğlu, 1975).

2.1.3 Erzincan Bölgesindeki Tarihsel Depremler ve Fay Kazı Çalışmaların Araştırılması

Erzincan ve çevresinin kompleks tektonik yapısını oluşturan fay ve/veya fay segmentleri, gerek tarihsel gerekse aletsel dönemde meydana gelen yıkıcı depremler ile yakından ilişkilidir. Bu nedenle bu bölümde öncelikle; Erzincan ve çevresinde etkili olan tarihsel depremleri derlemek amacıyla katalog araştırmaları yapılmıştır. Bu bölümde ayrıntılı olarak açıklanacak olan tarihsel depremler için Ergin vd. (1967), Guidoboni ve Comastri (1994), Ambraseys ve Jackson (1998), Guidoboni ve Comastri (2005) ve aynı bölgede gerçekleştirilen çalışmalar neticesinde hazırlanan DPT Raporu (2006) gibi önemli katalog ve raporlar incelenmiş ve özet bulgular Tablo 2'de sunulmuştur.

Tarihsel deprem kayıtları depremlerin yer ve zamanları ile ilgili önemli bilgiler veriyorsa da, meydana gelen yer değiştirmenin veya depremin hangi fay/segment üzerinde gerçekleştiğini belirlemek için katalog araştırmaları yeterli değildir. Bölgedeki fay yapılarının ayrıntılı olarak belirlenebilmesi amacıyla bölgeye ait diğer paleosismolojik çalışmalar da araştırılmıştır. Dolayısıyla, bu bölümde sunulan bir diğer literatür taraması, eski yüzey kırıklarının hangi fay segmentasyonu üzerinde yer aldığını belirlemek amacıyla yapılmıştır. Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) üzerinde paleosismoloji amaçlı fay kazılarının başlaması 1990'lı yıllarına dayanmaktadır (Okumura vd., 1990; Ikeda vd., 1991; Yoshioka vd., 1991; Okumura vd., 1993; Okumura ve Yoshioka, 1994; Okumura vd., 1994). Ancak bu fay kazı çalışmalarının çoğu Bolu ve çevresinde gerçekleştirilmiştir. Çalışma bölgesi olan Erzincan ve çevresinde ise Okumura ve Yoshioka (1994), Hartleb vd. (2006), DPT Raporu (2006) ve Kürçer vd. (2008) tarafından fay kazıları yapılmış ve bulgular eski depremler ile ilişkilendirilmeye çalışılmıştır. Araştırılmış olan tarihsel depremlere ait bilgiler de Tablo 2'de özetlenmiştir.

Tarihsel depremlerin yanı sıra bölgede aletsel dönemde de 1939 ve 1992 yıllarında iki büyük deprem meydana gelmiştir. Bölge tektoniği, civardaki fay aktivitelerinin belirlenmesi ve bu depremlerle ilişkilendirilmesi amacıyla bir çok araştırmacı tarafından çalışılmıştır. Şekil 3, bölgedeki fayları ve sözü edilen büyük depremlerin dışmerkezlerini göstermektedir.

Tablo 2. Kataloglarda yer alan Erzincan ve çevresinde meydana gelmiş tarihsel depremler

Yıl	Yerleşim	Enlem	Boylam	M/ I**	h (km)	Ay	Gün	Referanslar***
(M.Ö.) 330	Niksar	40.60	37.00					DPT
127	Niksar	40.60	37.00					DPT
236	Ladik	40.90	36.00					DPT
330	Niksar	40.60	37.00					DPT
335	Niksar	40.60	37.00					DPT
343	Niksar	40.6149	36.9345	6.9		8		DPT, Ambraseys(1975)
366	Niksar	40.60	37.00					DPT
499	Nikopolis [Armenia] (near Suşehri)			IX-X (EMS)*		9		Guadiboni (1994)- Katalog 1
506	Niksar	40.60	36.90					DPT
551	Amasya	40.55	35.85					DPT
802	Erzincan	39.70	39.50	6.5	15			DPT
968	Kargı	41.15	34.75			9	3	DPT
995	Balu(Palu) Cop'k' (Sivrice), Palnatun (Tunceli)			$\geq IX$ $\leq XI$ (EMS)*				Guadiboni (1994)- Katalog 1
1011	Erzincan	39.44	39.30	VI (EMS)*		1		Guadiboni (2005)- Katalog 2
1022	Melitene Area							Guadiboni (2005)- Katalog 2
1045	Melitene Area					2	1	Guadiboni2005Katalog2
1045	Erzincan	39.7333	39.50	8.1				DPT, Guadiboni (2005)- Katalog 2
1047	Erzincan	39.75	39.5					DPT
1068	Erzincan	39.75	39.5					DPT
1075	Çorum	40.60	34.95					DPT
1103	Melitene Area (Malatya)					2		Guadiboni (2005)- Katalog 2
1108	Melitene Area (Malatya)					9		Guadiboni (2005)- Katalog 2
1120	Melitene Area (Malatya)					1	1	Guadiboni (2005)- Katalog 2

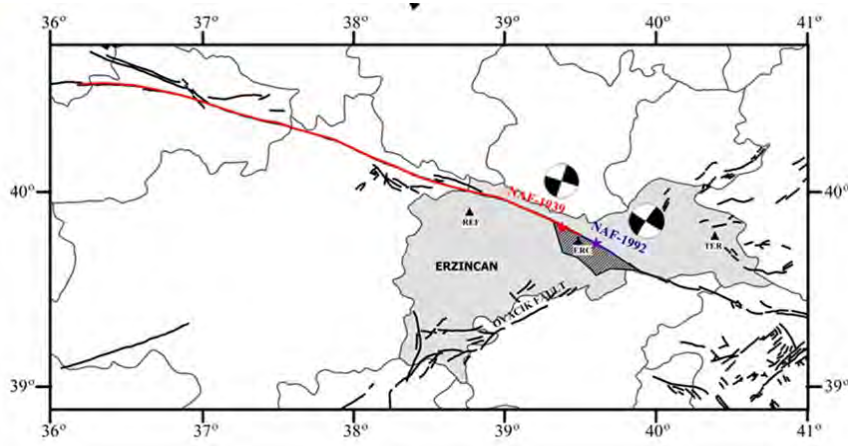
Yıl	Yerleşim	Enlem	Boylam	M/ I**	h (km)	Ay	Gün	Referanslar***
1127	Melitene Area (Malatya)					2		Guadiboni (2005)- Katalog 2
1133	Melitene Area (Malatya)					2	3	Guadiboni (2005)- Katalog 2
1140	Melitene Area (Malatya)					10	29	Guadiboni (2005)- Katalog 2
1145	Melitene Area (Malatya)					5	24	Guadiboni (2005)- Katalog 2
1149	Melitene Area					12	29	Guadiboni (2005)- Katalog 2
12061207	Erzincan	39.44	39.30					Guadiboni (2005)- Katalog 2
12361237	Erzincan	39.44	39.30	VIII_IX? (EMS)*				Guadiboni (2005)- Katalog 2
1254	Erzincan	39.7333 39.44	39.50 39.30	7.5 X(EMS)*		10	11	DPT, Guadiboni (2005)- Katalog 2
1254	Suşehri	40.20	38.30	7.2	15	4	28	DPT
1268	Otlukbeli	39.80	40.40	7.3	25			DPT
12801281	Erzincan	39.44	39.30	V-VI (EMS)*				Guadiboni (2005)- Katalog 2
1287	Erzincan	39.7333 39.44	39.50 39.30	6.9 IX (EMS)*		5	16	DPT, Guadiboni (2005)- Katalog 2
1289	Erzincan	39.75	39.50					DPT
1290	Erzincan	39.75	39.50					DPT
13441345	Erzincan	39.44	39.30	V-VI (EMS)*				Guadiboni (2005)- Katalog 2
13551356	Erzincan	39.75	39.50	VII-VIII? (EMS)*				Guadiboni (2005)- Katalog 2
1366	Erzincan	39.75	39.50					DPT
1374	Erzincan	39.44	39.30	VIII (EMS)*		12	8	Guadiboni (2005)- Katalog 2
1419	Erzincan	39.7333 39.44	39.50 39.30	6.6 VIII-IX? (EMS)*		3	26	DPT, Guadiboni (2005)- Katalog 2
1419	Tosya	41	34	7.6	25	3		DPT
1422	Erzincan	39.75	39.50					DPT
1433	Erzincan	39.75	39.50					DPT
1456	Erzincan	39.75	39.50			4	13	DPT
1457	Otlukbeli	39.90	40.40	7.6		25	4	DPT
1457	Erzincan	39.44	39.30	X (EMS)*		4	23	Guadiboni (2005)- Katalog 2
14811482	Erzincan	39.44	39.30	X (EMS)*				Guadiboni (2005)- Katalog 2

1481	Otlukbeli	39.90	40.40	7.8	17	3		DPT
1482	Erzincan	39.75	39.50			12	21	DPT
1509	Gümüşhacıköy	40.90	35.20	7.5	40			DPT
1576	Erzincan	39.75	39.50			11	5	DPT
1583	Erzincan	39.75	39.50			5	28	DPT
1584	Refahiye	40	39.00	6.6	15	6	17	DPT
1666	Erzincan	39.70	39.50	7.5	10		13	DPT
1668	Anadolu	41	36		40	8	17	DPT
1784	Yedisu	39.30	40.30	7	15	7	7	DPT
1787	Erzincan	39.75	39.50					DPT
1888	Erzincan	39.75	39.50			5		DPT
1890	Refahiye	39.90	38.80			5	20	DPT
1890	Niksar	40.60	36.90					DPT
1893	Zara	39.85	37.70					DPT

*EMS: European microseismic scale (Grünthal, 1993), 'Guadiboni (1994)-Katalog 1 and Guadiboni (2005)-Katalog 2

**Depremin büyüklüğü (M) ya da dışmerkezde hissedilen şiddet (I) cinsinden bilgi

*** Bu raporda çeşitli yerlerde DPT katalogu ya da DPT Raporu (2006) ile ifade edilen kaynak, O. Tatar (2006) tarafından hazırlanmış olan DPT 2006K-120220 No'lu Proje Final Raporudur.

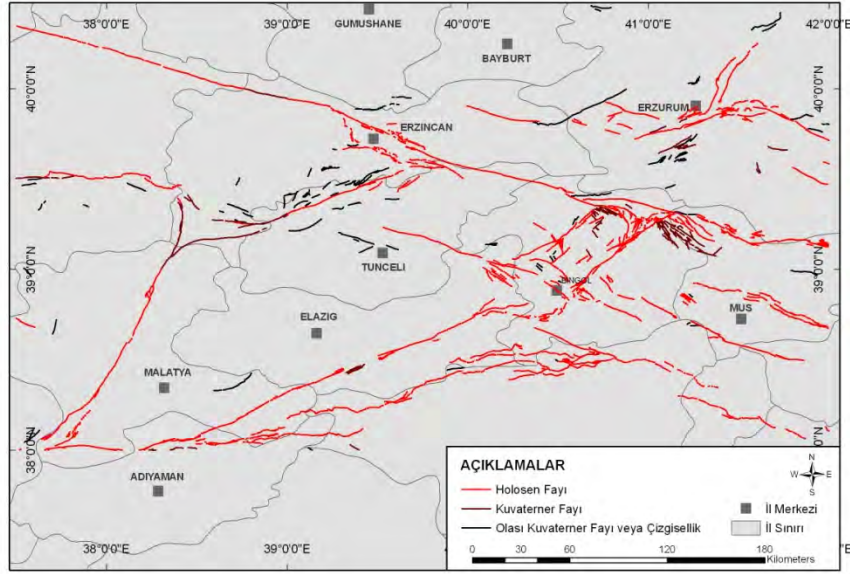


Şekil 3. 1939 ve 1992 Erzincan depremlerinin merkezleri (yıldızlar) ve odak mekanizmaları; yakın çevredeki aktif faylar ve 1992 depremini kaydetmiş olan kuvvetli yer hareketi istasyonlarının (üçgenler) Erzincan basenine göre konumları (1939 depremi merkez üssü ve odak mekanizması, Barka (1996)'dan alınmıştır; o çalışmada da Dewey (1976) ve McKenzie (1972) çalışmalarına referans verilmiştir.)

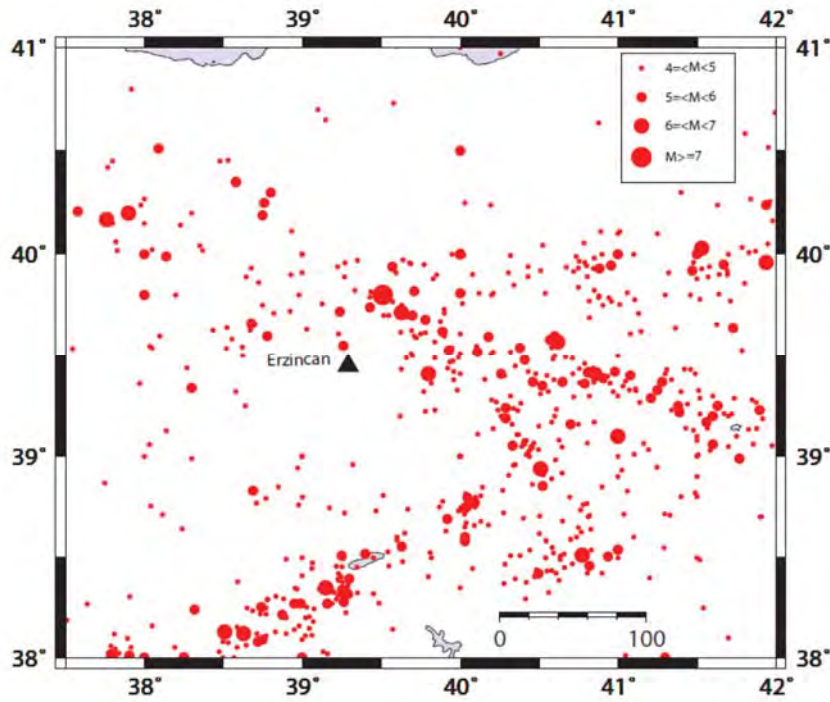
2.1.4 Erzincan'da Güncel MTA Haritalarından Elde Edilmiş Aktif Faylar

MTA'nın 2012 yılında yayınladığı güncellenmiş fay haritaları, proje ekibi tarafından sayısallaştırılmıştır (MTA, 2012). Şekil 4.a, bölgedeki aktif fayları, Şekil 4.b ise 1900'den günümüze gerçekleşen deprem aktivitesini göstermektedir. Bu aşamaya ait bulgular Kısım 2.3'te sunulan Sismik Tehlike Analizlerinde doğrudan kullanılmıştır. Olasılıksal Sismik

Tehlike Analizleri kısmında bu faylara ait aktivite bilgileri kataloglar ile birleştirilerek bölgesel kaynak modelleri detaylı olarak tekrar sunulacaktır.



Şekil 4.a Erzinçan ili ve civarındaki aktif faylar (MTA, 2012)



Şekil 4.b Bölgede 1900 yılından günümüze kadar gerçekleşmiş depremler

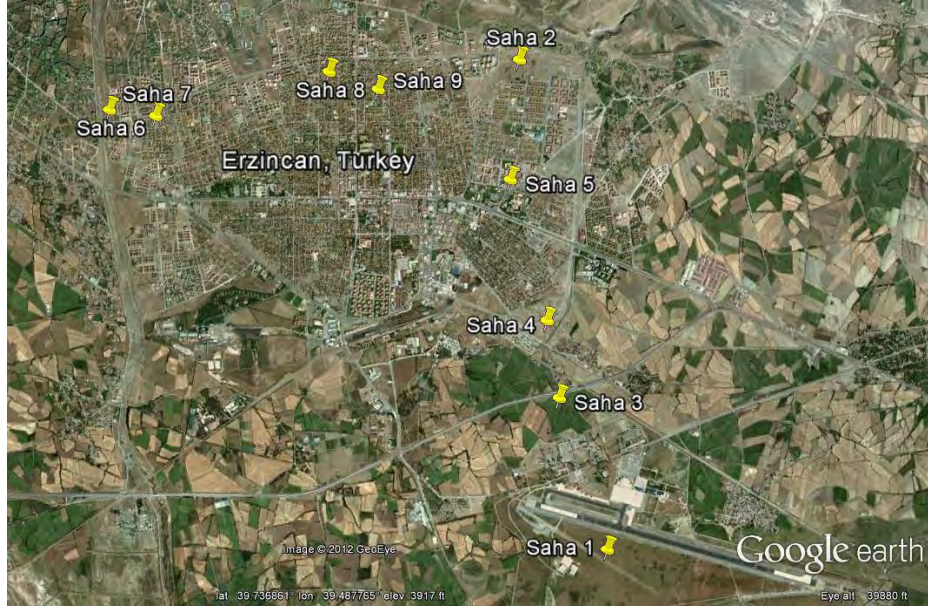
2.2 Aşama 2: Erzincan İl Merkezinde Zemin Modelleri Oluşturulması

Bilindiği üzere, depremlerin yapılarda meydana getirdiği hasarlar, yapıların üzerinde buldukları zeminin özelliklerine bağlı olarak farklılıklar göstermektedir. Zemin hakim titreşim periyotları, büyütme faktörleri ve zemin sınıflarının belirlenmesi; yapı hasarlarının, can ve mal kayıplarının azaltılması açısından önem taşımaktadır. Zemin sınıflarının ve zeminlerin dinamik özelliklerinin belirlenmesi için yapılan çalışmalar, temelde S-dalga hızlarının elde edilmesine dayanmaktadır. Sismik kırılma, yansıma ve sondaj gibi geleneksel yöntemlerin dışında aktif ve pasif kaynaklı yöntemler kullanılarak da S-dalga hızının belirlenmesi mümkündür. Pasif kaynaklı sismik yöntemlerde, yerin doğal titreşim kayıtları (mikrotremörler) kullanılarak zeminlerin dinamik özellikleri araştırılmaktadır. Literatürde mikrotremör verilerinin işlenmesi için geliştirilmiş en uygun pasif kaynaklı yöntemlerden biri de bu proje kapsamında uygulanan çoklu-mod uzaysal özilişki (MMSPAC ya da Multi-Mode Spatial AutoCorrelation) yöntemidir (Aki 1957; 1964; Toksöz 1964; Okada 2003; Tokimatsu 1997; Asten vd. 2003).

2.2.1 Mikrotremör Veri Toplama Çalışmaları

Bu iş paketinde proje ekibi tarafından öncelikle Erzincan il merkezinde eşit aralıklarla Doğu-Batı ve Kuzey-Güney doğrultularında mikrotremör ve MMSPAC uygulamaları için saha araştırılmış; seçilen sahalara uygun dizilimler tasarlanarak titreşim ölçümleri alınmıştır. Şekil 5.a ve 5.b sırasıyla, ölçüm alınan sahalanın Erzincan baseni içerisindeki konumlarını ve ildeki yerleşim merkezlerine göre yerlerini göstermektedir. Şekil 6, tüm sahalardaki dizilimleri ve gemnetrik detayları göstermektedir. Titreşim veri toplama ve işleme konularında dünyanın önde gelen yer bilimcilerinden Prof. Dr. Michael Asten önderliğinde, jeofizik ve inşaat mühendislerinden oluşan proje ekibi, Erzincan il merkezinde toplam 9 ayrı sahada MMSPAC yöntemi kullanılarak titreşim ölçümleri gerçekleştirmiştir. Hassas titreşim ölçümleri alınırken geniş bantlı sismometreler gereklidir. Bu amaçla, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı'ndan temin edilen 4 adet Güralp marka CMG-6TD tipi üç-bileşenli sismometre kullanılmıştır. Sismometre örneği Şekil 7'de verilmiştir.

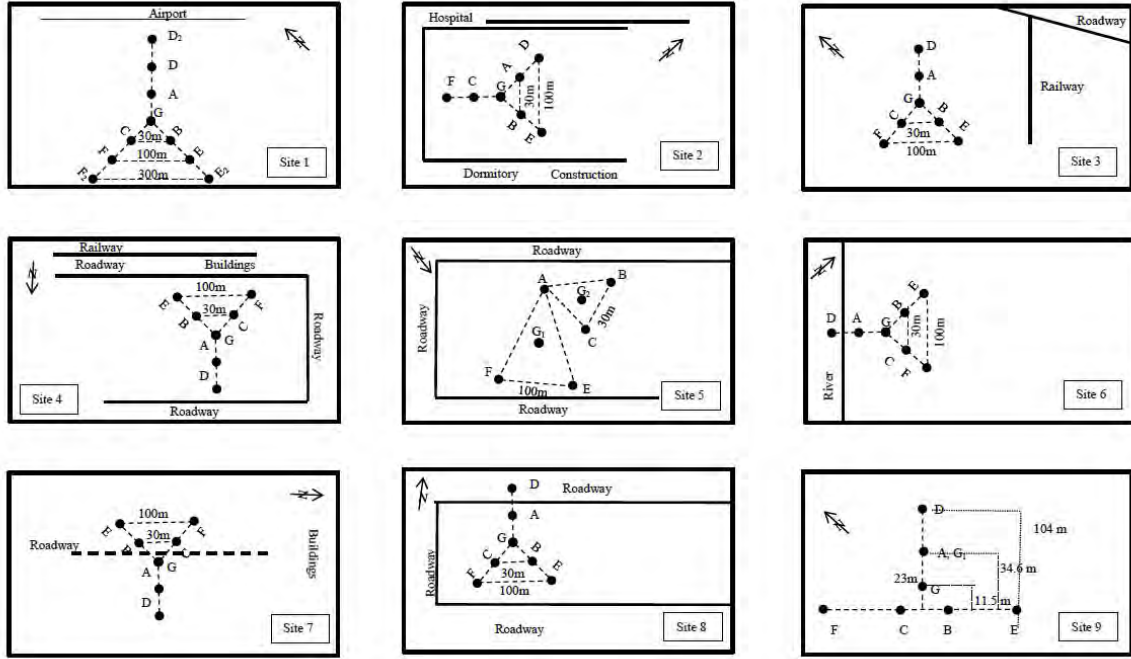
MMSPAC yöntemi için veri toplanırken en önemli unsur, arazide titreşim kaydı alan aletlerin en uygun dizilimini belirlemektir. Dizilimlerde alıcılar farklı şekillerde bir daire üzerine yerleştirilebilirler. En yaygın olanı en az dört noktada kayıt alınan dizilim türüdür. Bu projede de temin edilmiş olan sismometre sayısına ve ölçüm alınacak sahalara uygunluğu açısından dört noktada kayıt alan dizilim şekli uygulanmıştır. Bu tür bir dizilim için, sismometrelerden biri dairenin merkezi olarak kabul edilen bir noktaya yerleştirilir. Şekil 8'de gösterildiği gibi merkez istasyon baz alınarak, diğer üç sismometre merkezden belirli bir yarıçap değeri kadar uzakta olan noktalara yerleştirilir. Bu projede çoğunlukla aynı saha için farklı yarıçaplara sahip ve içiçe iki üçgen açılım (nested triangles) kullanılmıştır. MMSPAC yönteminde temel analiz, bu dizilimdeki her istasyon çifti arasında uyumluluk hesaplarına dayanır. Bir sonraki kısımda yöntem, incelenen sahalardaki tek boyutlu S-dalga hızları ve ilgili analizler sunulacaktır.



Şekil 5.a Erzinçan il merkezinde zemin araştırmaları gerçekleştirilen sahalarnın Erzinçan baseni içerisindeki konumları



Şekil 5.b Erzinçan il merkezinde zemin araştırmaları gerçekleştirilen sahalarnın, şehirdeki yerleşim birimlerine göre konumları

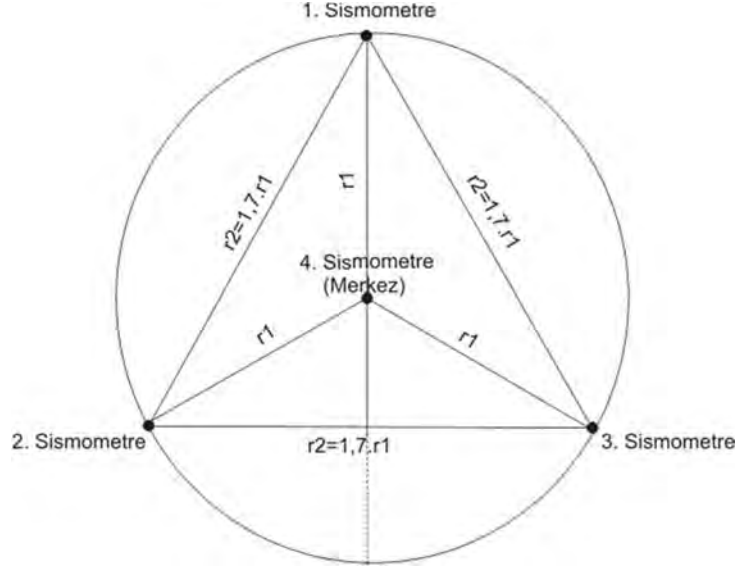


Şekil 6. Erzurum il merkezinde zemin araştırmaları gerçekleştirilen sahalarındaki dizilim detayları



Şekil 7. Guralp marka CMG-6TD sismometre

(Fotograf <http://www.guralp.com/products/6TD/> adresinden alınarak dzenlenmiştir)



Şekil 8. Dört sismometre ile 30 metre-açıklıklı MMSPAC uygulaması için (örnek) bir arazi düzeneği

2.2.2 Çoklu-Mod Uzaysal Özilişki (MMSPAC) Yöntemi ile Veri Analizi ve Erzincan İl Merkezinde Tek-boyutlu Zemin Modelleri

Bu kısımda önce ilgili literatür kısaca verilecek, sonra yöntem ve kullanılmış olan algoritmalar detaylı olarak açıklanacak ve sahalarda elde edilmiş olan sonuçlar sunulacaktır.

2.2.2.1 Literatür

Günümüzde, yaygın olarak kullanılan sondaj, kırılma ve patlatma yöntemlerinin şehirleşmiş bölgelerdeki uygulama zorluğu ve yüksek maliyetleri nedeniyle zeminlerin özelliklerinin belirlenmesinde alternatif yöntemler arayışına gidilmiş ve yüzey dalgalarından birisi olan Rayleigh dalgası kullanarak yerin S dalga hız yapısını belirleyen yüzey dalgası yöntemleri geliştirilmiştir. Yüzey dalgası yöntemleri aktif ve pasif kaynaklı yöntemler olmak üzere ikiye ayrılır. Tüm bu yöntemlerde temel amaç, incelenen alana ait dispersiyon eğrisinden yola çıkarak tek boyutlu S-dalgası hız profilleri elde etmektir. Aktif kaynaklı yöntemlerden ilki, Yüzey Dalgalarının Spektral Analizi Yöntemi (SASW-Spectral Analysis of Surface Waves) (Nazarian ve Desai, 1993; Kramer, 1996; Zywicki, 1999), ikincisi ise Yüzey Dalgalarının Çok Kanallı Analizi Yöntemi'dir (MASW-Multichannel Analysis of Surface Waves) (Park vd. 1999). Aktif kaynaklı yöntemler güçlü bir kaynağa ihtiyaç duyduklarından ve derinlerde çok iyi sonuç vermediklerinden kırılma-mikrotremor (ReMi) ya da frekans-dalga sayısı (f-k) gibi pasif kaynaklı yöntemler geliştirilmiştir (Ekincioglu, 2007).

Pasif kaynaklı yöntemler, doğada bulunan mikrotremorlerden faydalanırlar. Mikrotremorler, yer yüzeyinde doğa olayları ya da insan aktiviteleri sonucu oluşan sürekli titreşimlerdir. İlk kez Aki (1957) mikrotremor ölçüm yöntemini literatüre tanıtmış ve titreşimleri kayıt ve analiz etmek suretiyle zemin tabakalarının hızlarına dair bilgi elde edileceğini göstermiştir (Claprod ve Asten, 2009). Toksöz ve Lacoss (1968) mikrotremorlerin temel olarak cisim ve yüzey dalgalarından oluştuğunu ve zaman ile uzayda değişken olmalarına rağmen tamamen rassal

olmadıklarını belirtmiştir. Cisim dalgaları yüzey dalgalarından daha hızlı sönümlendikleri için, mikrotremor kayıtlarının çoğunlukla Rayleigh ve Love dalgalarından oluştuğu belirtilmiştir (Arai ve Tokimatsu, 2004). Pasif kaynaklı yöntemlerle yüzey dalgalarının analizleri temel olarak dispersiyon eğrisinin frekansa bağlı değişimine dayanır. Literatürde yaygın olarak kullanılan pasif kaynaklı yüzey dalgası analiz yöntemleri Kırılma – Mikrotremor (Refraction-Microtremor - ReMi) (Louie 2001) ve f-k (Frekans – Dalga Sayısı) (Toksöz, 1964; Capon, 1969; Capon, 1973; Schmidt, 1986) yöntemleridir (Ekinciöglü, 2007). Bu yöntemlere alternatif olarak, dairesel diziliimli mikrotremor ölçümleri kullanılarak yapılan pasif kaynaklı Uzaysal Özilişki Yöntemi (SPAC) ile veri toplama ve veri işleme kuramları geliştirilmiştir (Aki, 1957; 1964; Toksöz, 1964; Okada, 2003; Tokimatsu, 1997; Asten vd., 2003). SPAC yöntemi dünyada çeşitli bölgelerde S-dalga hızı belirleme çalışmalarında yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır (Ör.: Okada, 2003; Stephenson vd. 2009). SPAC analizi mikrotremor dalga alanlarının uyumluluklarının bir dizi istasyonda hesabı ile yerin tek boyutlu S-dalga hızı profilini elde etmeye dayanır. Geleneksel olarak SPAC yönteminde dairesel diziliimli alıcılarda düşey mikrotremor kayıt ve analizleri yapılmıştır. Yakın geçmişteki çalışmalarda ise SPAC yöntemi çoklu-modları ele almak için geliştirilmiş (MMSPAC); 3-eksenli ölçümler yapılmış ve dairesel olmayan dizilimlerle çalışılmıştır (Asten ve Boore, 2005; Asten, 2006; Chavez-Garcia vd., 2006).

Ülkemizde de son yıllarda İstanbul, İzmir, Adapazarı ve Kocaeli gibi merkezlerde mikrotremor ölçümleri ile zemin sınıflandırması, zeminlerin dinamik özelliklerinin belirleme ve bölgesel sismik tehlikenin belirlenmesi çalışmaları gerçekleştirilmektedir (Ör: Ansal vd., 2001; Yılmaz vd., 2005; Siyahi ve Selçuk, 2005; Karabulut vd., 2006; Akgün ve Bekler, 2007). Ancak bu çalışmaların büyük bir çoğunluğunda literatürde HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) adıyla bilinen (Yatay/ Düşey Spektral Oran) yöntemi (Nakamura, 1989) ile zeminlerin yalnızca hakim titreşim periyotları ve yüzeye yakın tabakaların yer hareketini büyütme etkileri hesaplanmış, ya da 30m derinlikte S-dalgası hız ölçümü yapılmış, bunlara dayanarak zemin sınıfı belirleme ve mikrobölgeleme yapılmıştır. Yakın zamanda Zor vd. (2007) Tübitak MAM ve Kocaeli Büyükşehir Belediyesi işbirliği ile Kocaeli ilinde 160m derinliğe kadar SPAC yöntemi ile S-dalgası bilgilerine ulaşmış ve bunları kullanarak zemin sınıflarını belirlemiştir. Bulunan sonuçlar bölgesel sismik tehlike hesaplarında kullanılmıştır.

Bu proje ekibi tarafından ise 2009-2010 yılları arasında TÜBİTAK desteğiyle Bolu ve Düzce’de yaklaşık 1000 metre derinliklere dek S-dalgası hız profilleri için MMSPAC yöntemiyle dispersiyon eğrilerinden ters çözümler yapılmış; bulunan sonuçlar HVSR ve Frekans-Dalga Sayısı yöntemlerinden elde edilen sonuçlarla ve eldeki sondaj verileriyle karşılaştırılmıştır. MMSPAC yönteminin ve elde edilen hız profillerinin doğruluğu sınanmıştır.

Diğer taraftan, literatüre baktığımızda Türkiye’deki tüm sismik riski yüksek bölgeler için geliştirilmiş bölgesel hız modelleri olmadığı görülmektedir. Dünyada örnekleri bulunan bölgesel hız modelleri (Örn: Magistrale vd., 2000; Brocher, 2006), jeoloji, jeofizik ve inşaat mühendisliği gibi birçok alandan araştırmacılar tarafından hazırlanan ve yine bu alanlardaki çalışmalarda (sismik tehlike, sismik tomografi, zemin mekaniği, yer hareketi modelleri gibi) doğrudan kullanıma açık ve son derece büyük bir yaygın etkiye sahip iki ya da üç boyutlu yeraltı hız modelleridir. Bu projede elde edilmiş olan tek boyutlu hız modelleri ile sınanmış olan MMSPAC yöntemi, literatürdeki diğer yöntemlerle ve ilgili jeolojik veriyle birlikte ileride benzeri hız modellerinin Türkiye’deki sismik bölgeler için oluşturulması yönünde kullanılabilir. Bu projede, ileride Erzincan bölgesi için çıkarılabilecek İki-boyutlu bir hız modeli için ön hazırlıkların bir kısmı yapılmıştır.

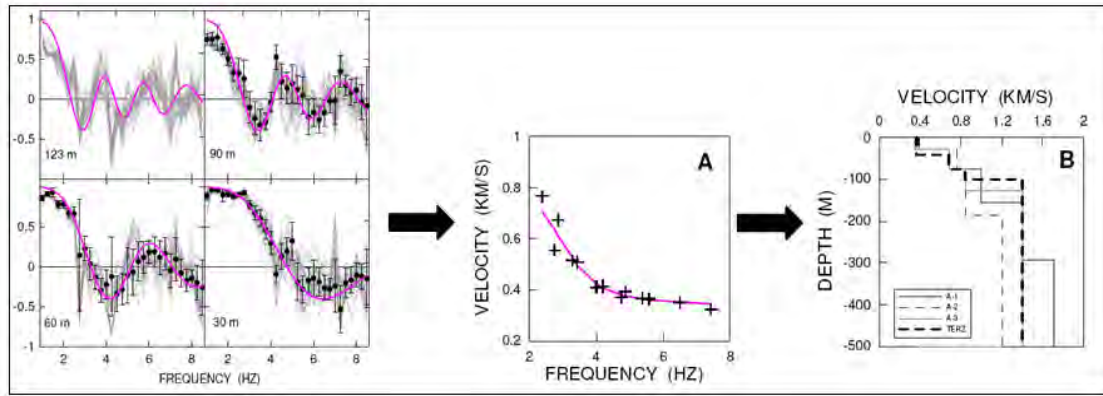
2.2.2.2 Yöntem

Uzaysal Özilişki yöntemi olarak da bilinen SPAC yöntemi, temel olarak mikrotremorlerin uzay ve zaman durağanlığı özelliklerini kullanarak alıcı (istasyon) çiftleri arasındaki uyumluluğun değerlendirilmesine dayanır. Belirli bir frekanstaki yüzey dalgası faz hızı, birbirine r mesafede ölçülen titreşim kayıtlarından ve o frekanstaki dalganın bileşenlerinin SPAC (uzaysal özilişki) katsayılarından hesaplanabilir (Ekincioglu, 2007). Rayleigh dalgalarının herhangi bir f frekansındaki SPAC ya da özilişki uyumluluk katsayısı $c(f)$, sıfırıncı dereceden birinci cins Bessel fonksiyonundaki $v(f)$ faz hızı ile ilişkilendirilmiştir (Claproud ve Asten, 2009):

$$c(f) = J_0\left(\frac{2\pi fr}{v(f)}\right) \quad (1)$$

Geleneksel SPAC yönteminde Denklem 1’de verilen SPAC katsayısından her bir frekansa karşılık gelen faz hızı değerleri ile dispersiyon eğrisi elde edilmektedir. Bu dispersiyon eğrisinin ters çözümü ile tek boyutlu S-dalga hızı profilleri hesaplanmaktadır. Şekil 9, şematik olarak uzaysal özilişki (SPAC) katsayılarından S-dalga hızlarının elde edilmesi aşamalarını göstermektedir.

Erzincan’da belirtilen sahalarda toplanan verilerin değerlendirilmesinde, proje danışmanı Prof.Dr. Michael Asten’in hazırlanmış olduğu IDL tabanlı MMSPAC işleme ve ters çözüm yazılımı kullanılmıştır. Bu yazılımda, merkezde kayıt alan sismometrenin bulunduğu istasyona ait üç bileşen; diğer sismometrelerin bulunduğu istasyonlara ait kayıtların ise yalnızca düşey bileşenleri dikkate alınmıştır.



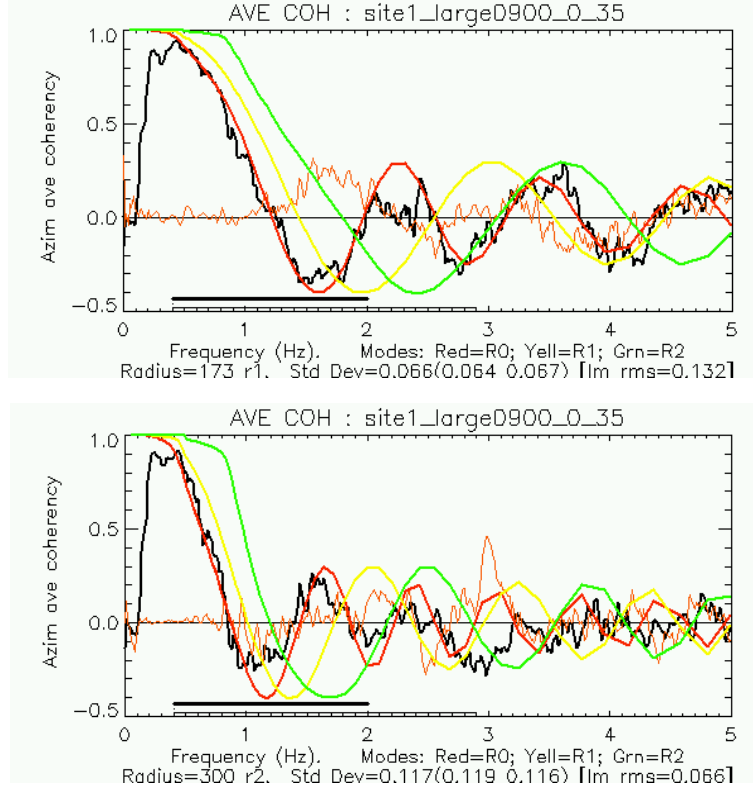
Şekil 9. SPAC Yöntemi ile Mikrotremor Veri Analizi Şeması (Maresca vd. 2006’dan derlenmiştir)

2.2.2.3 Örnek Analiz:

Bu kısımda seçilen bir sahada örnek bir analiz detaylı olarak sunulacaktır: Saha 1’de tüm istasyonlardan sağlanan veriler incelenerek, çevresel gürültülerin az olduğu bir veri aralığı seçilmiştir. Bu veri aralığı için Denklem 1’deki uyumluluk hesabı yapılarak uyumluluk katsayısı eğrileri çizdirilmiştir. Şekil 10’da gösterilen siyah eğri 1. Sahadaki büyük üçgen diziliminde gözlemlenmiş uyumluluğu ifade etmektedir. Elde edilen gözlemsel eğriler her bir dizilime ait r1 (daire üzerindeki istasyon-merkez istasyon arası mesafe) ve r2 (daire üzerindeki iki istasyon arasındaki mesafe) uzaklıkları içindir. r1 uzaklığı için, merkezdeki istasyon ile üçgenin köşelerini oluşturan istasyonlar arasındaki uyum; r2 uzaklığı için, üçgenin

köşelerindeki istasyonlar arasındaki uyum göz önünde bulundurulmuştur. Ardından tek boyutlu kuramsal bir başlangıç hız modeli (initial velocity model) belirlenmiştir. Kuramsal model oluşturulurken, incelenen ortam için düşünülen yaklaşık tabaka sayısı belirlenmiş ve buna bağlı olarak her tabakaya ait S-dalga hızı, P-dalga hızı, kalınlık ve yoğunluk değerleri programa girilmiştir. Yazılım yardımıyla bu değerlere göre hesaplanan kuramsal eğri ile arazi verilerinden hesaplanan gözlemsel uyumluluk katsayısı eğrisi karşılaştırılmaya çalışılmıştır. Şekil 10'daki kırmızı, sarı ve yeşil eğriler sırasıyla birinci, ikinci ve üçüncü moda ait kuramsal uyumluluk eğrilerini ifade etmektedir. Daha önce de belirtildiği üzere, MMSPAC yönteminin diğer mikrotremor değerlendirme yöntemlerine göre en önemli avantajı temel (fundamental) modun yanı sıra yüksek modların etkisini de göz önünde bulundurmasıdır.

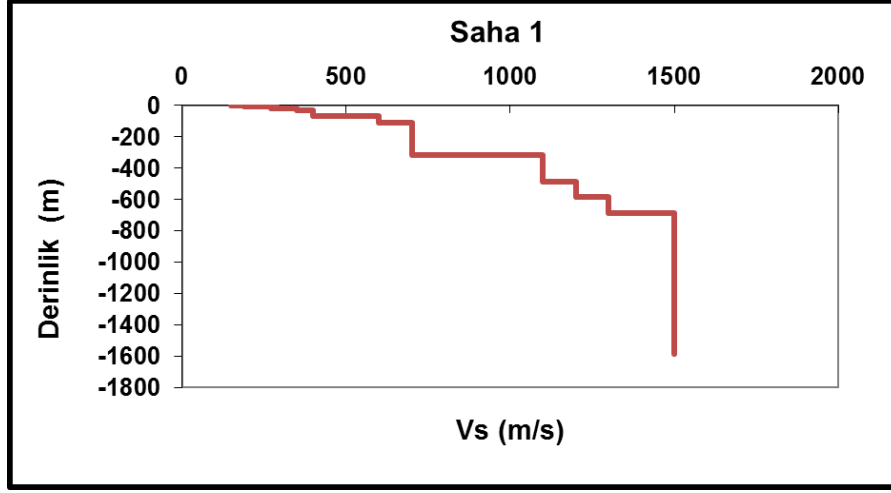
Bir optimizasyon problemi olarak düşünüldüğünde MMSPAC yöntemi, kuramsal uyumluluk eğrisi ile gözlemlenen uyumluluk eğrisi arasındaki farkı, tabaka hızlarına göre minimize etmektedir. Bu aşamada kullanılan ters çözüm yöntemi, sonuçları doğrudan etkilediği için, bu projede çeşitli ters çözüm algoritmaları sınanmış ve fiziksel olarak en gerçekçi sonuçları iteratif doğrulama yönteminin (iterative forward fit method) verdiği gözlemlenmiştir. İteratif doğrulama yönteminde, geleneksel SPAC uygulamalarında olduğu gibi doğrudan dispersiyon eğrisinden ters çözüm yapılmamış, uyumluluk eğrilerine iteratif doğrulama ile yaklaşmıştır. Şekil 10'daki gözlemsel uyumluluk eğrisine en yakın kabul edilen eğriyi oluşturan modeldeki her bir tabaka için girilen S-dalga hızı (V_S), P-dalga hızı (V_P), kalınlık (H) ve yoğunluk (ρ) değerleri o tabakaya ait homojen ve izotrop değerler olarak kabul edilmiştir. Saha 1'deki büyük üçgen için elde edilen örnek tabaka çözümü program çıktısı olarak Şekil 11'de gösterilmiştir.



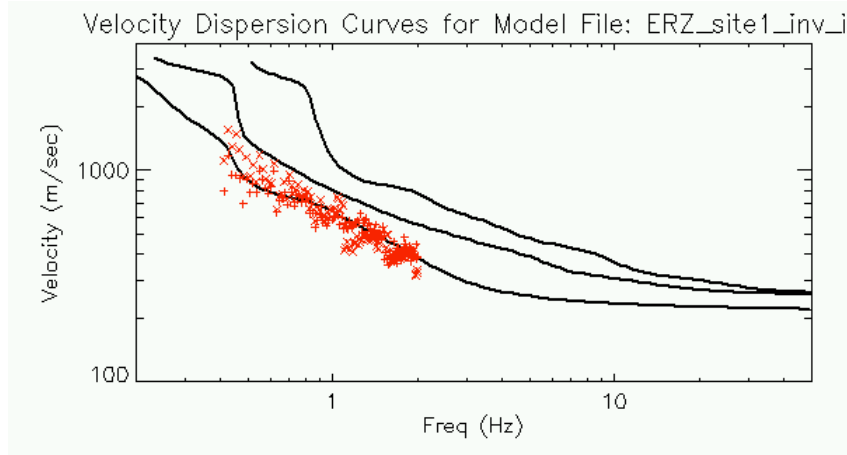
Şekil 10. Saha 1- r1 ve r2 uzaklıkları için uyumluluk eğrileri (Saha1- büyük üçgen dizilimi ölçümü için örnek çözüm)

Belirtildiği üzere dispersiyon eğrilerinden doğrudan ters çözüm yapılmasa da, Şekil 12’de gösterilen dispersiyon eğrisi, çözüm sırasında geri planda sürekli kontrol edilmiştir. Şekil 12’de kırmızı noktalar gözlemsel verileri ve siyah eğriler ise farklı modlara ait kuramsal dispersiyon eğrilerini belirtmektedir.

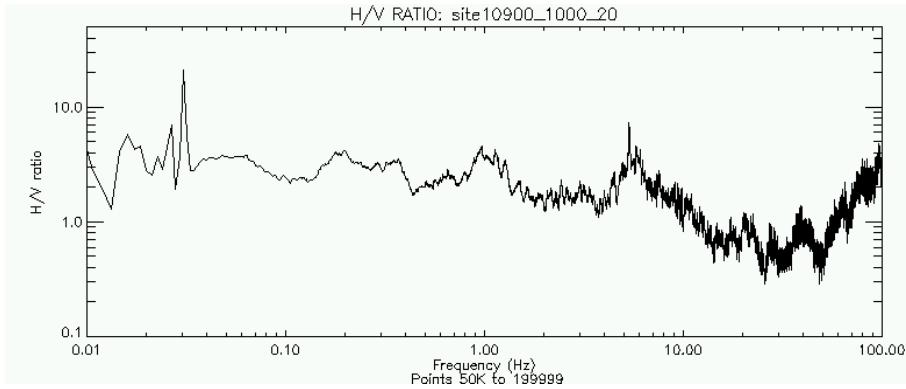
Her ne kadar MMSPAC yöntemi, çözülebilen derinlikler ve yüksek modların katkısı açılarından literatürdeki diğer yöntemlerden daha doğru sonuçlar verse de, bu çalışmada MMSPAC yöntemi ile elde edilen S-dalgası hız profilleri, aşağıda açıklanmış olan HVSR yöntemiyle de doğrulanmıştır (Şekil 13). Bu projede kullanılmış olan MMSPAC yöntemi, S-dalga hızlarını detaylı olarak çözebilse de, özellikle tabaka arayüzlerini belirlerken ek olarak HVSR yöntemi de kullanılmıştır. HVSR yöntemi, dalga periyodu ve yerin elastik özelliklerine göre elliptik olarak yayılan Rayleigh dalgasının rezonans özelliklerini ampirik olarak değerlendiren bir yöntemdir (Lachet ve Bard, 1994; Tokimatsu, 1997; Scherbaum vd., 2003). HVSR yöntemi literatürde yaygın olarak, zemin tabakalarının rezonans frekanslarını zeminlerin elastik özelliklerinin derinlikle ani değişiminden yaklaşık olarak hesaplamak için kullanılmaktadır (Nakamura, 1989). Bu yöntemde temel olarak yatay yer hareketi spektrumunun düşey spektruma oranı ile elde edilen frekansa bağlı H/V değerleri zemin büyütme faktörleri olarak kabul edilmektedir. Bu çalışmada ise MMSPAC yöntemiyle elde edilen hız tabakalarından hesaplanan rezonans frekanslarını ve çok tabakalı zemin modeli varsayımını doğrulamak için kullanılmıştır.



Şekil 11. En küçük hata değerini veren uyumluluk eğrisini oluşturan model (Saha 1'deki büyük üçgen dizilimi ölçümü için örnek çözüm)



Şekil 12. En küçük hata değerini veren hız modeline ait dispersiyon eğrisinin gözlemsel dispersiyon verisi ile karşılaştırılması (Saha 1'deki büyük üçgen dizilimi ölçümü için örnek çözüm)

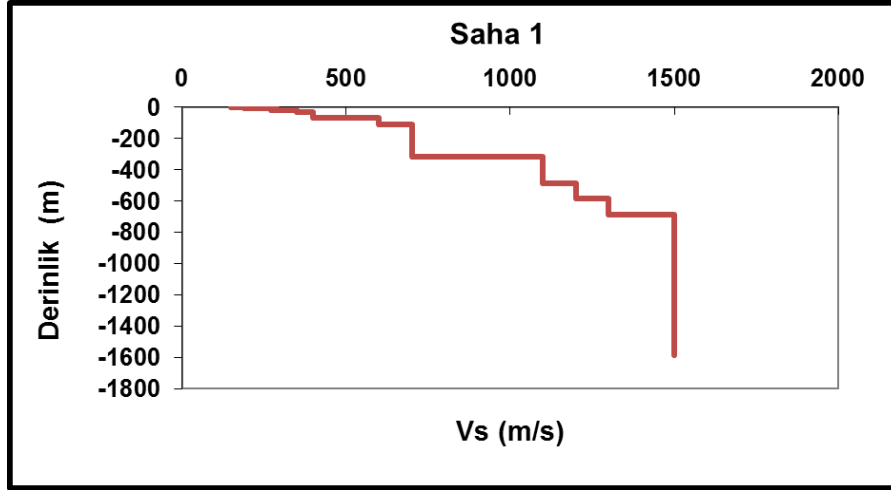


Şekil 13. Saha 1'deki büyük üçgen dizilime ait gözlemsel HVSR eğrisi

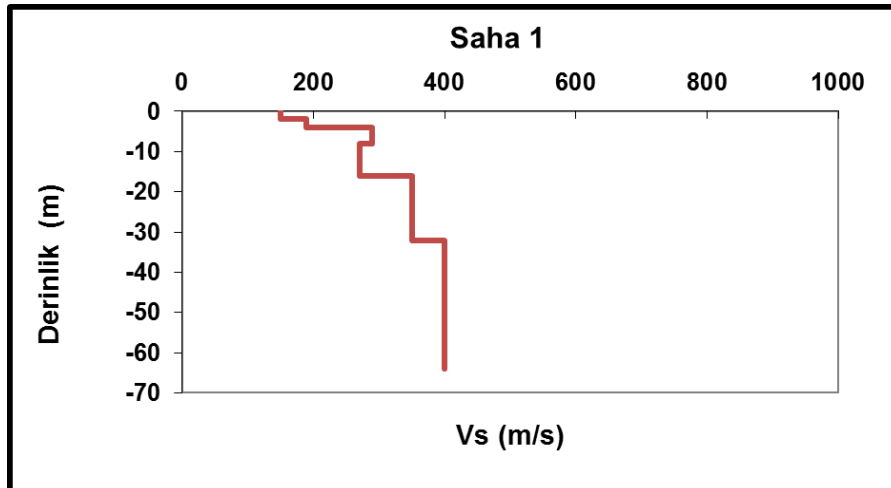
2.2.2.4 Analiz Sonuçları

Her saha için MMSPAC yöntemiyle inilen maksimum derinliğe kadar olan hız modeli ve (yüzeğe yakın detayları görebilmek amacıyla) ilk 65m'ye ait hız modeli Şekil 14-22'de ayrı ayrı verilmiştir.

Saha 1:

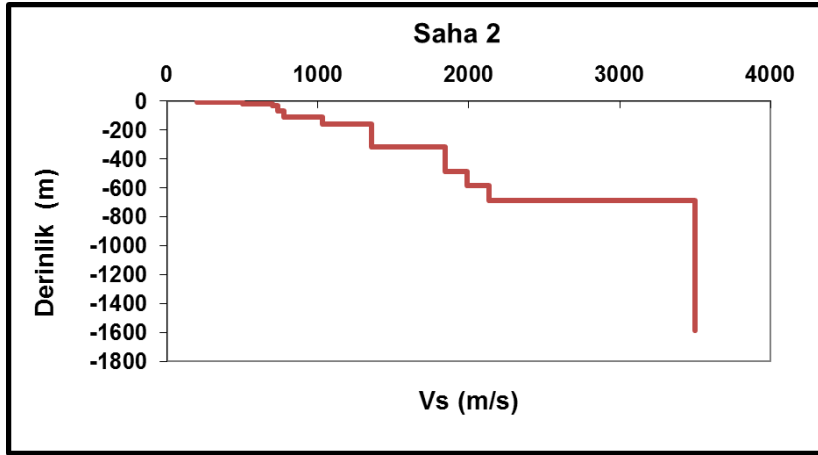


Şekil 14.a Saha 1'de elde edilmiş olan sonuçlar (Çözülebilir tüm derinlik için)

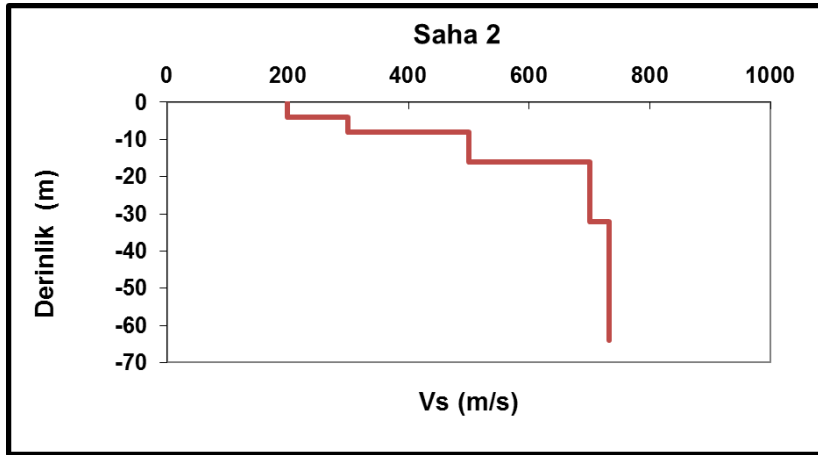


Şekil 14.b Saha 1'de elde edilmiş olan sonuçlar (İlk 65m için)

Saha 2:

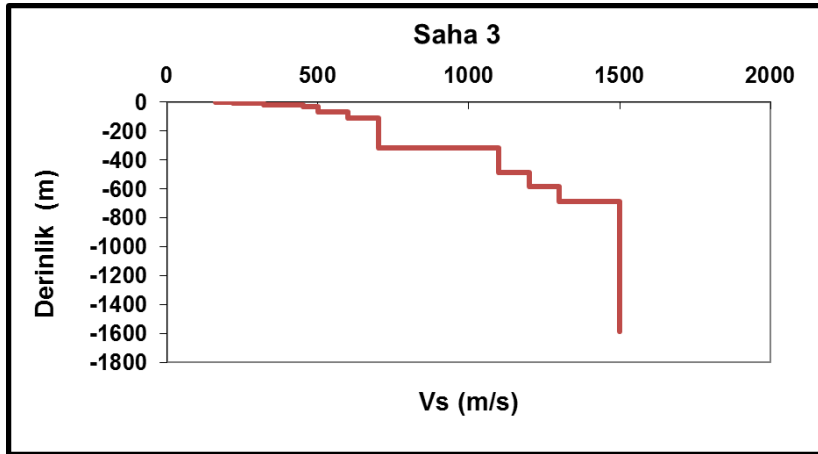


Şekil 15.a Saha 2’de elde edilmiş olan sonuçlar (Çözülebilin tüm derinlik için)

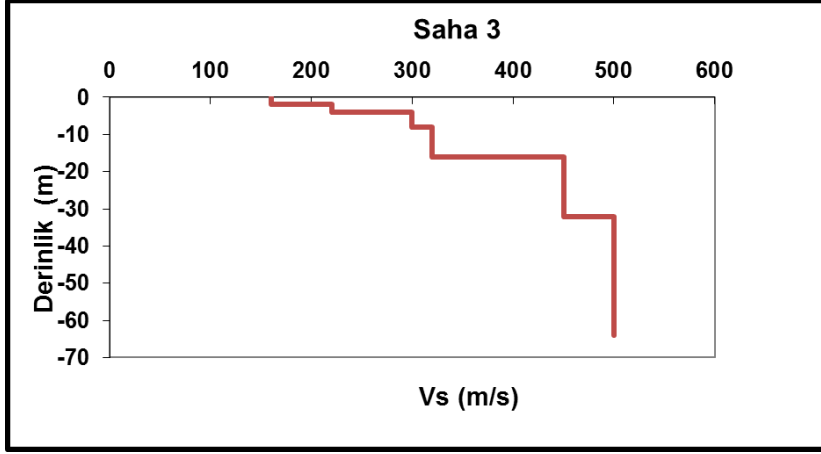


Şekil 15.b Saha 2’de elde edilmiş olan sonuçlar (İlk 65m için)

Saha 3:

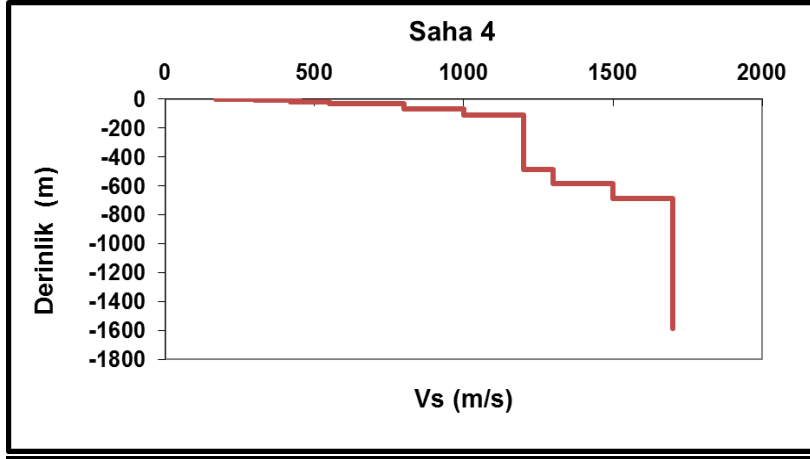


Şekil 16.a Saha 3’te elde edilmiş olan sonuçlar (Çözülebilin tüm derinlik için)

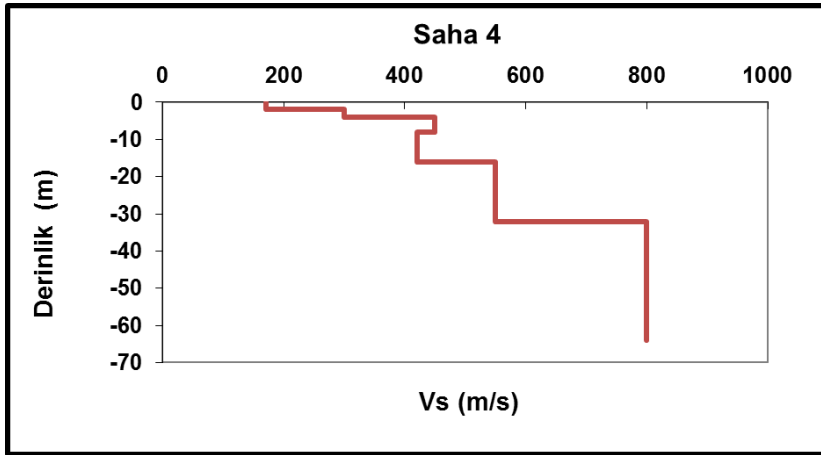


Şekil 16.b Saha 3'te elde edilmiş olan sonuçlar (İlk 65m için)

Saha 4:

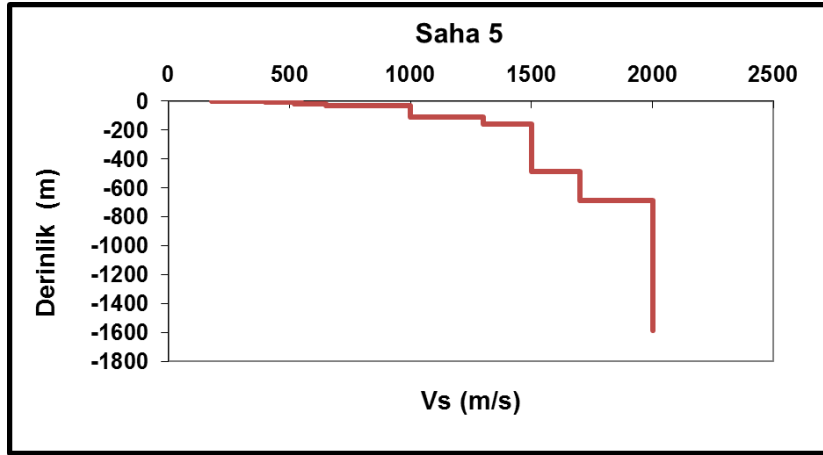


Şekil 17.a Saha 4'te elde edilmiş olan sonuçlar (Çözülebilir tüm derinlik için)

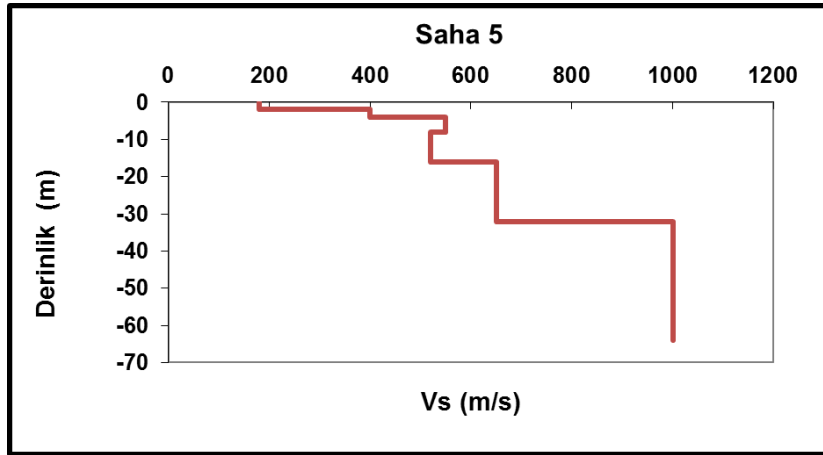


Şekil 17.b Saha 4'te elde edilmiş olan sonuçlar (İlk 65m için)

Saha 5:

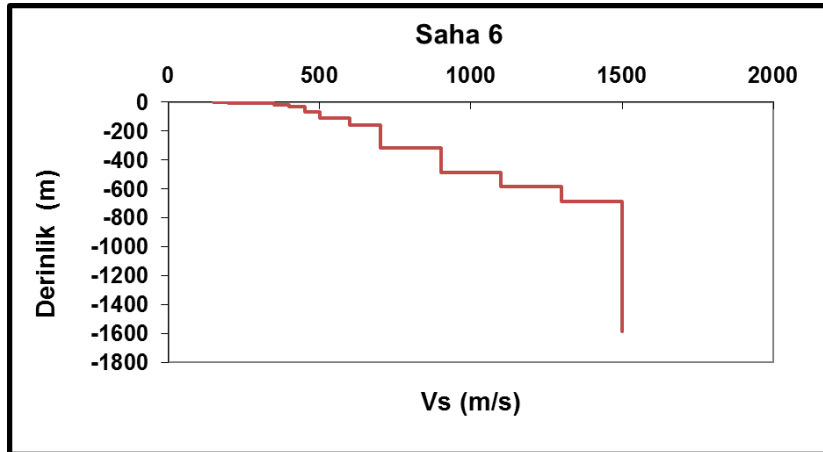


Şekil 18.a Saha 5'te elde edilmiş olan sonuçlar (Çözülebilir tüm derinlik için)

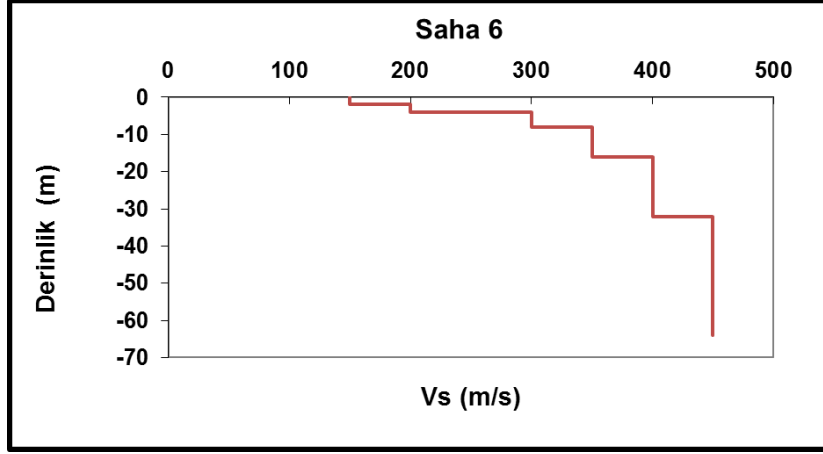


Şekil 18.b Saha 5'te elde edilmiş olan sonuçlar (İlk 65m için)

Saha 6:

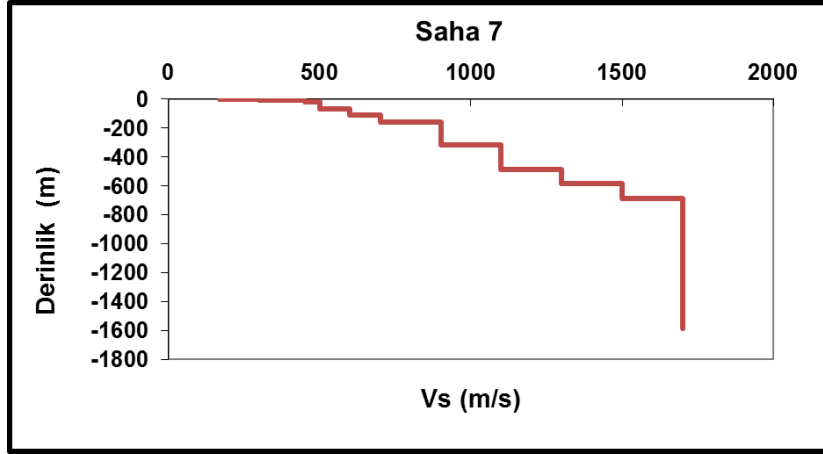


Şekil 19.a Saha 6'da elde edilmiş olan sonuçlar (Çözülebilir tüm derinlik için)

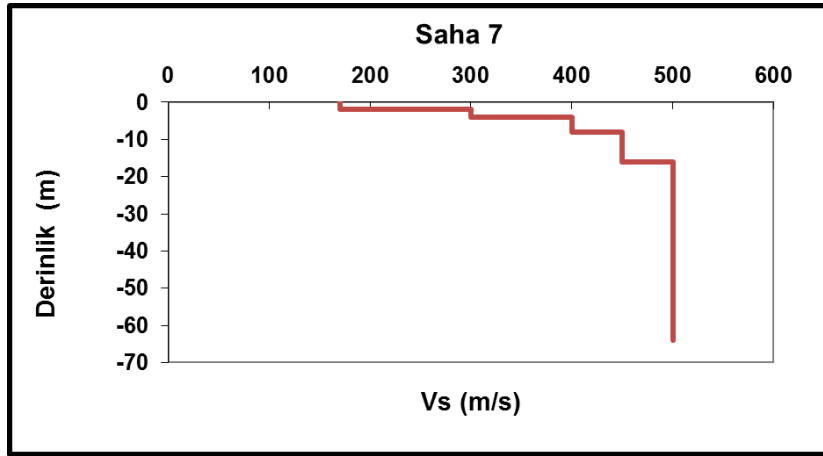


Şekil 19.b Saha 6'da elde edilmiş olan sonuçlar (İlk 65m için)

Saha 7:

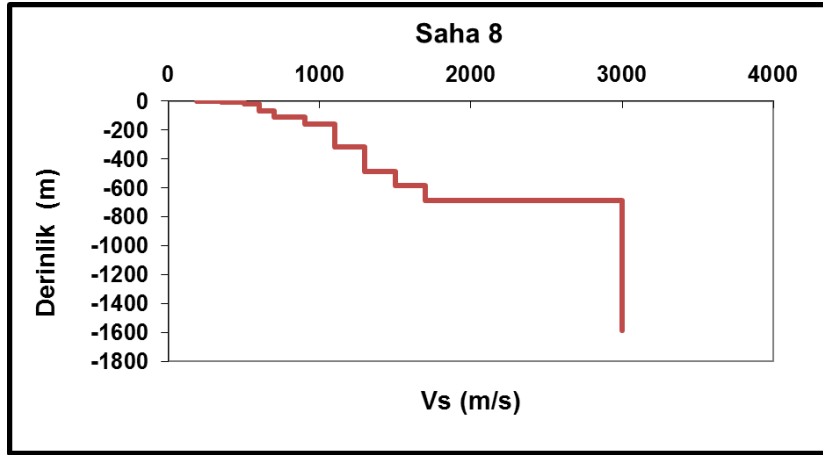


Şekil 20.a Saha 7'de elde edilmiş olan sonuçlar (Çözülebilir tüm derinlik için)

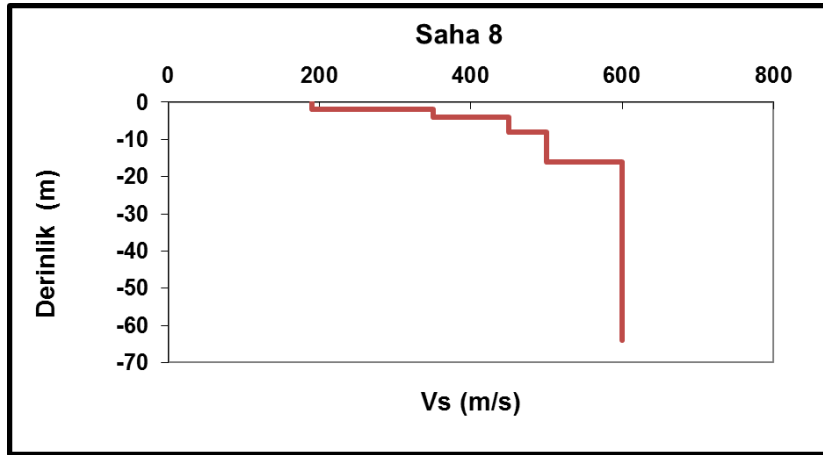


Şekil 20.b Saha 7'de elde edilmiş olan sonuçlar (İlk 65m için)

Saha 8:

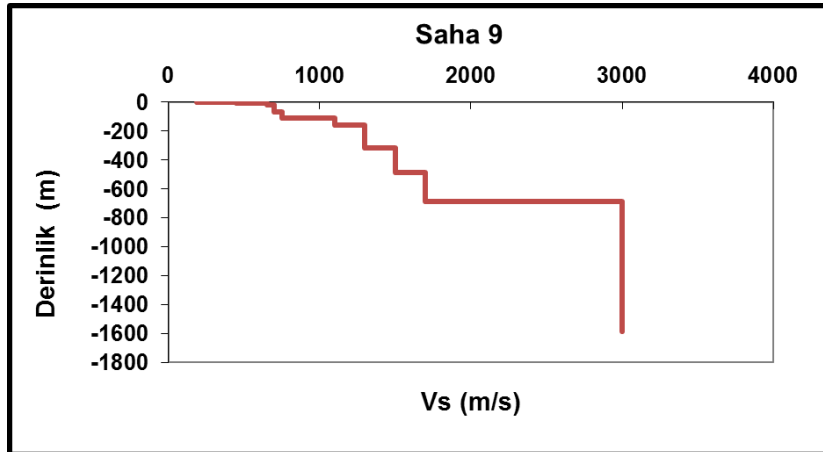


Şekil 21.a Saha 8’de elde edilmiş olan sonuçlar (Çözülebilir tüm derinlik için)

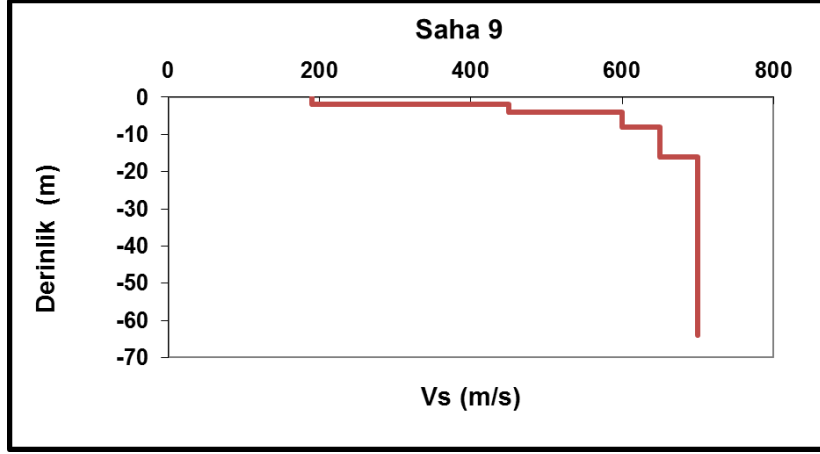


Şekil 21.b Saha 8’de elde edilmiş olan sonuçlar (İlk 65m için)

Saha 9:



Şekil 22.a Saha 9’da elde edilmiş olan sonuçlar (Çözülebilir tüm derinlik için)



Şekil 22.b Saha 9'da elde edilmiş olan sonuçlar (İlk 65m için)

Projenin bu kısmında elde edilmiş olan sonuçlar, bir sonraki aşamalardaki (Olasılıksal sismik tehlike analizlerinde ve dalga yayılım simülasyonlarında) zemin modellerinde kullanılmıştır. Bu ve benzeri hız modelleri, yalnızca bu proje kapsamında değil, ileride Erzincan ilinde yapılacak olan zemin değerlendirme, mikro-bölgeleme, dalga yayılımı gibi diğer çalışmalarda da kullanılabilir.

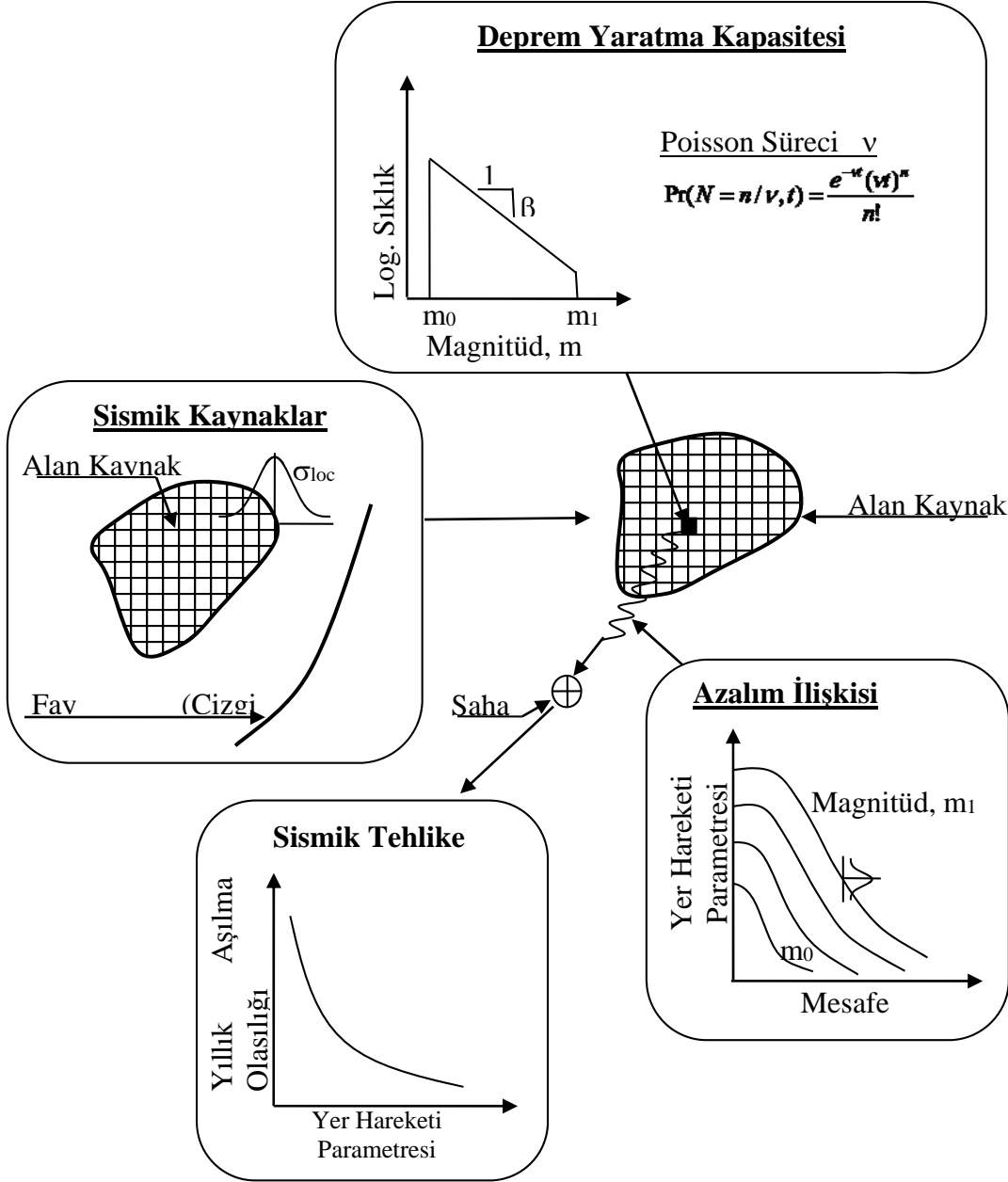
2.3 Aşama 3: Olasılıksal Sismik Tehlike Analizi

Projenin bu aşamasında önceki aşamalardaki aktif fay ve zemin koşulları bilgilerine dayanarak olasılıksal sismik tehlike analizleri gerçekleştirilmiştir. Burada önce kullanılan yöntem, sonra analizler ve sonuçları sunulacaktır.

2.3.1 Yöntem

OSTA modeli ilk olarak Cornell (1968) tarafından belirli bir sahadaki sismik tehlikeyi bir olasılık dağılımı ile nicilemek için geliştirilmiştir. Bu modelin başlıca aşamaları şunlardır: sismik kaynakların ve her bir kaynağın deprem yaratma kapasitelerinin belirlenmesi, yer hareketi (tahmin) azalım ilişkisinin seçilmesi ve sismik tehlikenin hesaplanması (Şekil 23).

Sismik tehlike analizinin ilk adımı, merkezi seçilen inşaat sahası olan dairesel bir alan içindeki sismik kaynakların belirlenmesidir. Bu dairesel alanın yarıçapı bölgenin yer hareketi azalım karakteristiğine ve bölgedeki fayların özelliklerine bağlı olarak tayin edilir. Sismik kaynakların coğrafi konumlarının belirlenmesinde jeolojik, jeofiziksel ve sismolojik veriler ile geçmiş depremlerin merkez-üstlerinin konumlarını gösteren haritalardan yararlanılmaktadır. Başlıca üç tür sismik kaynak modeli kullanılmaktadır: nokta, çizgi (fay) ve alan. Herhangi bir sismotektonik yapı veya fay ile ilişkisi kurulamayan, küçük bir bölge içinde yoğun bir şekilde toplanan ve inşaat sahasından oldukça uzak olan depremlerin bir nokta kaynaktan ortaya çıktığı varsayılabilir. Çizgi kaynak modeli iyi tanımlanmış faylar için kullanılır. Mevcut jeolojik yapı ile geçmiş deprem olayları arasında belirgin bir ilişkinin kurulamadığı ve/veya varolan deprem kayıtlarının belirli bir fay sisteminin kesinlikle ortaya çıkarılmasına yetecek doğrultuda ve sayıda olmadığı durumlarda alan kaynak modeli kullanılmaktadır.



Şekil 23. Klasik Olasılıksal Sismik Tehlike Analizinin Başlıca Aşamaları

Sismik kaynakların belirlenmesinden sonraki adım bu kaynakların her biri için deprem magnitüdlerinin olasılık dağılımının oluşturulmasıdır. Cornell (1968) tarafından geliştirilen klasik OSTA modelinde deprem magnitüdlerinin Richter (1958) tarafından önerilen doğrusal magnitüd-tekerrür ilişkisine dayanarak üstel dağılıma sahip olduğu kabul edilir. Richter (1958), Richter magnitüdü, “ m ” ile magnitüdü “ m ”ye eşit veya büyük toplam deprem sayısı arasında aşağıdaki ilişkiyi önermiştir:

$$\log N(m) = a - bm \quad (2)$$

veya

$$N(m) = e^{\alpha - \beta \cdot m} \quad (3)$$

Burada;

$$\alpha = a \times (\ln 10)$$

$$\beta = b \times (\ln 10)$$

$N(m)$: Magnitüdü “ m ”ye eşit veya büyük deprem sayısı, a and b : İncelenen bölgenin sismik özelliklerine bağlı katsayılarıdır ve geçmiş deprem verilerine en küçük kareler yöntemi ile bir çizgi uydurulması ile belirlenirler.

Büyüklik-sıklık ilişkisi genellikle hem bir m_1 üst sınırı, hem de bir m_0 alt sınırı ile budanır. Böylelikle, üst sınır ile fiziksel olarak her kaynağın üretebileceği en büyük deprem magnitüdü belirlenirken, alt sınır ile de mühendislik yapılarında hasar yaratabilecek en küçük deprem magnitüdü belirlenmiş olur.

Deprem magnitüdüleri için alt ve üst sınır tanımlanması durumunda deprem magnitüdülerinin olasılık yoğunluk fonksiyonu şu şekilde ifade edilir:

$$f_M(m) = k \beta e^{-\beta(m-m_0)} \quad (4) \quad k = \left[1 - e^{-\beta(m_1 - m_0)} \right]^{-1} \quad (5)$$

Burada, k birikimli dağılım işlevinin m_1 üst magnitüd sınırında 1.0'a eşit olmasını sağlayan bir katsayıdır.

Schwartz ve Coppersmith (1984), üstel dağılım modelinin büyük alanlardaki magnitüd dağılımını yeterli bir biçimde tanımladığını, ama fay segmentlerinde oluşan büyük magnitüdü depremlerin oluş sıklığını eksik tahmin ettiğini belirterek, karakteristik deprem modelini önermiştir. Youngs ve Coppersmith (1985), karakteristik deprem modeli için geçerli olacak bir olasılık yoğunluk işlevi çıkartmıştır. Bu modelde deprem magnitüdüleri m' değerine kadar üstel dağılımlı olarak alınmıştır. Magnitüdü m' değerinden büyük depremler karakteristik deprem olarak tanımlanmış ve bunların $m_1 - \Delta m_C$ ve m_1 arasında bir biçimli (uniform) dağılım gösterdikleri varsayılmıştır. Bu modelin kullanımı için Youngs ve Coppersmith (1985) şu basitleştirici varsayımları yapmıştır: $\Delta m_C = 0.5$, $m' = m_1 - \Delta m_C$ ve $f_M(m_C) = f_M(m' - 1.0)$. Bu varsayımların uygulanması ve olasılık yoğunluk işlevinin altındaki toplam alanın 1 olmasının sağlanması için gerekli işlemin yapılması ile, karakteristik deprem modeli için aşağıda verilen olasılık yoğunluk fonksiyonu elde edilmiştir:

$$f_M(m) = \begin{cases} k\beta e^{-\beta(m-m_0)} & m_0 \leq m \leq m_1 - 0.5 \\ k\beta e^{-\beta\left(\left(m_1 - \frac{3}{2}\right) - m_0\right)} & m_1 - 0.5 \leq m \leq m_1 \end{cases} \quad (6)$$

$$k = \left[1 - e^{-\beta(m_1 - 0.5 - m_0)} + \beta e^{-\beta(m_1 - \frac{3}{2} - m_0)} 0.5 \right]^{-1} \quad (7)$$

Depremler zaman içinde rassal olaylar olduğundan, gelecek deprem olaylarının olasılıklarını tahmin etmek için değişik stokastik modeller kullanılmaktadır. Klasik OSTA modelinde depremlerin zaman içerisindeki oluşumlarının birbirlerinden bağımsız, homojen Poisson sürecine uyduğu varsayılmıştır. Poisson modeline göre bir sismik kaynak içerisinde belirli bir t zaman aralığında magnitudü m_0 alt magnitud değerinden büyük en az bir deprem olma olasılığı şöyledir:

$$\Pr(N \geq 1) = 1 - e^{-v \cdot t} \quad (8)$$

burada, v , incelenen bölgede, birim zaman süresinde (genellikle bir yıl) meydana gelen magnitudü m_0 'a eşit veya m_0 'dan büyük depremlerin ortalama sayısını temsil etmektedir.

Sismik tehlike analizinin üçüncü adımı depremin etkinliğini yansıtan bir zemin hareketi parametresinin ve bu parametrenin mesafe ile değişimine ilişkin bir modelin seçilmesidir. Genellikle azalım ilişkisi olarak adlandırılan bu modeller, zemin hareketi parametrelerinin özelliklerinin depremin magnitudüne, depremin odak noktasına olan mesafesine ve zemin koşullarına bağlı olarak değişimini gösteren ve çoğunlukla gözlemsel yollarla elde edilen denklemlerdir.

Son adımda ise göz önünde tutulan tüm sismik kaynakların inşaat sahasındaki sismik tehlikeye katkıları birleştirilerek seçilen zemin hareketi parametresi için bir olasılık dağılımı elde edilir.

2.3.2 Erzincan İli için Sismik Tehlikenin Tayini

Bu kısımda çalışma bölgesi olan Erzincan ili için gerçekleştirilmiş olan sismik tehlike analizlerinin ve ilgili tüm parametrelerin belirlenmelerine ait detaylar sunulacaktır.

2.3.2.1 Sismik Veri Tabanı ve Sismik Kaynaklar

Sismik Veri Tabanı

Deprem katalogları, incelenen bölgede geçmişte meydana gelmiş depremlerin mekansal ve zaman içerisindeki dağılımını tasvir ettiklerinden sismik tehlike analizinde kullanılan önemli bilgi kaynaklarıdır. Erzincan ili için sismik tehlikenin tayininde $37.5^\circ - 42.0^\circ$ D boylamları ve $37.99^\circ - 40.35^\circ$ K enlemleri arasında kalan dikdörtgen bölge göz önünde tutulmuştur. Bu bölgede geçmiş yıllarda olan depremler ile ilgili sismik veri tabanının hazırlanmasında Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı Deprem Dairesi web sayfasında sunulan "1900'den Günümüze $M \geq 4$ " adlı veritabanındaki deprem verileri kullanılmıştır. Elde edilen sismik veri tabanı 1900-2012 yılları arasında meydana gelen depremleri içermektedir.

Sismik veri tabanının oluşturulmasında moment magnitudünün (M_w) kullanılmasına karar verilmiş ve deprem tehlikesi yaratabilecek en küçük depremin büyüklüğü moment magnitudüne göre 4.0 olarak belirlenmiştir. Oluşturulan sismik veri tabanındaki depremlerin magnitudleri

farklı magnitüd ölçeklerine (cisim dalga magnitüdü – M_b , süre magnitüdü – M_d , yerel magnitüd – M_L ve yüzey dalga magnitüdü – M_s) göre raporlanmıştır. Bu nedenle bu depremlerin magnitüdüleri Deniz (2006) tarafından ortogonal regresyon yöntemi ile ve son yüzyıl içerisinde Türkiye’de meydana gelmiş bütün depremlerin analizi sonucu elde edilen aşağıdaki çevirim ilişkileri kullanılarak moment magnitüd ölçeğine, M_w , dönüştürülmüştür:

$$M_w = 1.57M_L - 2.66 \quad (9)$$

$$M_w = 2.25 \times M_b - 6.14 \quad (10)$$

$$M_w = 1.27 \times M_d - 1.12 \quad (11)$$

$$M_w = 0.54 \times M_s + 2.81 \quad (12)$$

Moment magnitüdü 4’ten küçük olan depremler veri tabanından elenmiştir. Şekil 24 oluşturulan sismik veri tabanındaki depremlerin mekansal dağılımını göstermektedir.

Depremlerin oluş sürecinin tahmininde, depremlerin birbirlerinden bağımsız ya da kendilerinden önceki depremlere bağımlı olarak meydana geldiklerini varsayan çeşitli stokastik modeller vardır. Bağımsız deprem oluşum modeli olarak yaygın bir şekilde kullanılan Poisson modeli depremlerin gerek yer, gerekse zaman açısından birbirlerinden bağımsız bir şekilde meydana geldikleri varsayımına dayanır. Öncü ve artçı depremlerin (ikincil depremler) sismik tehlike analizinin dışında tutulması Poisson modelinin gerektirdiği bağımsızlık koşulunu sağlama açısından gerekmektedir. Literatürde öncü ve artçı şokların tayini için birçok yöntem bulunmaktadır (Gardner ve Knopoff, 1974; Prozorov ve Dziewonski, 1982; Savage ve Rupp, 2000; Kagan, 2002).

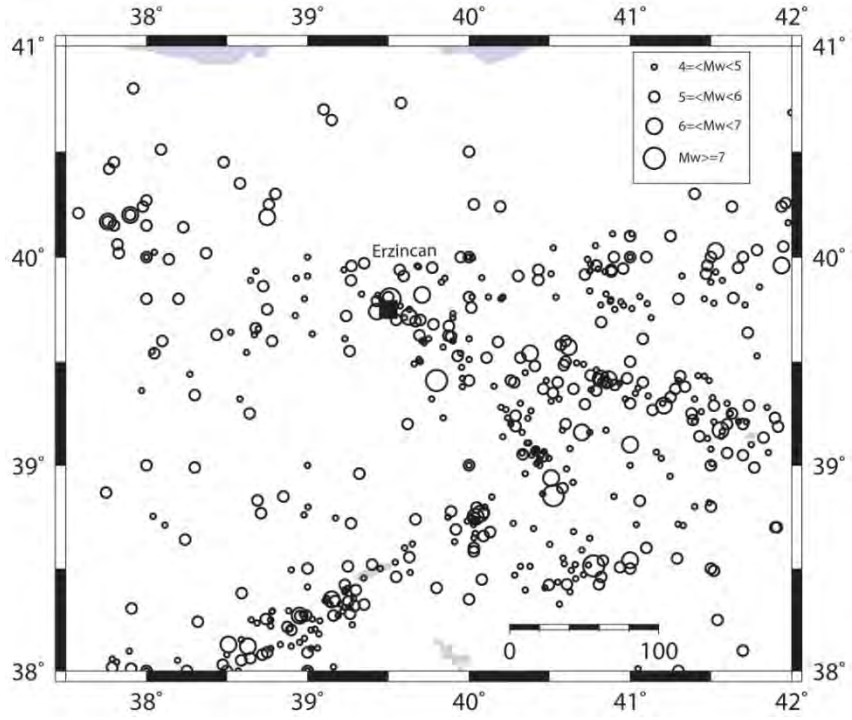
Öncü ve artçı depremler zamansal ve mekansal olarak ana şok etrafında benzer dağılımlar göstermektedirler. Bu nedenle, ikincil depremlerin tayini öncü ve artçı depremler için farklılık göstermemektedir. Sözü geçen çalışmalarda mühendislik uygulamaları için belirli bir büyüklük seviyesindeki depremlerin, deprem bölgesi, sismik kaynak, ilgili fayın uzunluğu ve çeşidi gibi ayrımlar gözatılmeksizin aynı ikincil deprem etkinliğine yol açtığı kabul edilmiştir. Burada da her bir deprem büyüklüğü seviyesi için, bu seviyede bulunan bir ana şoka belirli bir zaman ve uzaklık penceresi içinde kalan bütün depremlerin ilgili ana şokun artçı depremleri olduğu kabul edilmiştir. Bir depremin öncü deprem sayılabilmesi için ise, kendi büyüklük seviyesi için belirlenmiş olan zaman ve uzaklık pencerelerinin içerisinde, kendisinden daha büyük bir deprem bulunması gerekmektedir. Böyle durumlarda magnitüdü daha büyük olan ikinci depremin ana şok olduğu varsayılmıştır. Yukarıdaki varsayımlara göre Deniz (2006) tarafından önerilen ve Tablo 3’te gösterilen zaman ve uzaklık pencereleri ikincil depremlerin belirlenmesi için kullanılmıştır. Tablo 3’te yer almayan magnitüd değerleri için zaman ve uzaklık değerleri sırasıyla lineer ve log-lineer interpolasyon uygulanarak elde edilmiştir. 4.5’den küçük magnitüd değerleri için ise uzaklık ve zaman pencerelerinin boyutları ekstrapolasyon yapılarak elde edilmiştir. Ayrıca magnitüdü 6.0’dan büyük olan depremler yukarıda bahsedilen yöntemle göre bir ana şokun ikincil depremi olarak belirlenseler bile ana şok olarak kabul edilmiştir. Şekil 25

bu şekilde belirlenen ana şokları içeren sismik veritabanındaki depremlerin mekansal dağılımını göstermektedir.

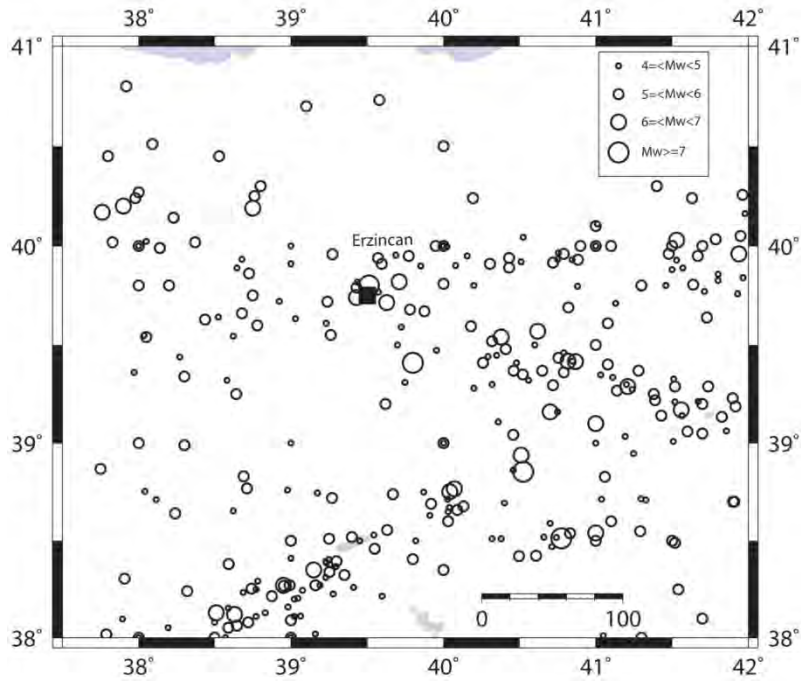
Tablo 3. İkincil depremlerin ayırt edilmesinde kullanılan uzaklık ve zaman pencereleri (Deniz, 2006).

Magnitüd	Uzaklık (km)	Zaman (gün)
4.5	35.5	42
5.0	44.5	83
5.5	52.5	155
6.0	63.0	290
6.5	79.4	510
7.0	100.0	790
7.5	125.9	1326
8.0	151.4	2471

Günümüzde küçük, büyük tüm depremler kaydedilirken, çok eski kayıtlar sadece büyük depremleri içermektedir. Ayrıca kaydedilmiş depremler daima yerleşim bölgelerinde olup, buralardan çok uzak yerlerde olan büyük depremler bile kayda geçmeyebilmektedir. Dolayısı ile deprem kataloglarındaki bu eksiklikler veri tabanında hem zamanda, hem de mekanda yanlışlıklara sebep olmaktadır. Buna bağlı olarak da bulunan tekerrür ilişkileri uzun süreli oluş sıklıklarını gerçekçi bir biçimde vermeyebilmektedir. Bu nedenle, belirli bir magnitüd aralığına düşen depremlerin eksiksiz olarak kayda geçirildiği zaman dilimini belirlemek ve bu magnitüd aralığındaki depremlerin oluş sıklığını sadece o zaman diliminde oluşan depremleri göz önünde tutarak hesaplamak gerekmektedir. Her iki sismik veri tabanındaki (tüm depremleri ve sadece ana şokları içeren sismik veri tabanları) eksikliklerin belirlenmesi işlemi şu şekilde gerçekleştirilmiştir: Sismik veri tabanlarının moment magnitüd değeri 5.5'e eşit ve büyük olan depremlerin sayısı bakımından eksiksiz olduğu kabul edilmiştir. Ancak eksiksiz kayıt durumunun moment magnitüdü 4.0-5.0 arasında olan depremler için 1990'dan, 5.0-5.5 arasında olan depremler için ise 1948'den sonra geçerli olduğu varsayılmıştır.



Şekil 24. Tüm depremleri içeren sismik veritabanında yer alan depremlerin mekansal dağılımını gösteren harita



Şekil 25. Yalnızca ana şokları içeren sismik veritabanında yer alan depremlerin mekansal dağılımını gösteren harita

Sismik Kaynaklar

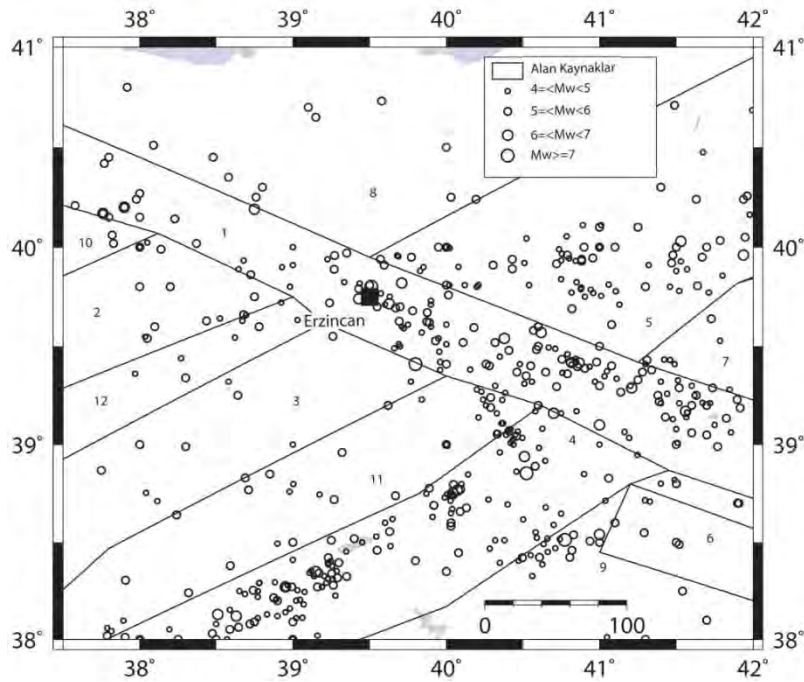
Erzincan'ın sismik tehlikesi iki farklı sismik kaynak modeli kullanılarak hesaplanmıştır. Bu modeller aşağıdaki bölümlerde anlatılmaktadır.

Model 1

Bu modelde Deniz (2006) tarafından önerilen alan kaynaklardan Erzincan ve çevresinde yer alan ve Şekil 26'da gösterilen alan kaynaklar esas alınmıştır. Tüm sismik kaynakların üstel magnitüd dağılımına sahip olduğu kabul edilmiştir. Deniz (2006) tarafından derlenen katalogdaki depremlerin bu alan kaynaklara ikincil depremler ve eksik verilere ilişkin herhangi bir tadilat yapılmadan dağıtılması halinde Deniz (2006) tarafından Tablo 4'te verilen depremsellik parametreleri elde edilmiştir. Gutenberg-Richter büyüklük-sıklık ilişkisinin her bir sismik kaynak bölgesi için hesaplanmasında hem doğrusal regresyon hem de en büyük olasılık istatistiksel tahmin yöntemleri kullanılmıştır. İkincil depremlerin ayıklanması ile Deniz (2006) tarafından elde edilen depremsellik parametreleri Tablo 4'ün bir sonraki kolonunda verilmiştir.

Deniz (2006), her bir kaynak bölge için depremlerin geriye doğru Stepp (1973) tarafından önerilen yöntemle 10 ve 10 yılın katları dönemlerde incelenmesi ile her bir büyüklük seviyesinin eksiksiz raporlanma yıllarını belirlemiştir. Sadece eksiksiz raporlanma sürelerinde geçerli olan sismisite özelliklerinin kullanılması ile Deniz (2006) tarafından elde edilen sonuçlar Tablo 5'te gösterilmiştir.

Tablo 4 ve 5'te β değerlerinin mutlak değerleri verilmiştir. λ (göz.) değerleri ise, gözlenen (ya da eksik raporlanma analizi ile düzeltilen) deprem sayılarının gözlem süresine bölünmesi ile bulunmuştur.



Şekil 26. Model 1'de esas alınan alan kaynaklar

Tablo 4. Model 1’de esas alınan alan kaynaklar için katalog bilgilerinde eksik verilere ilişkin herhangi bir tadilat yapılmaması durumunda deprensellik parametreleri (Deniz 2006)

Alan Kaynak	Bütün depremler				Sadece ana şoklar			
	Standart en küçük kareler regresyonu		En büyük olabilirlik yöntemi		Standart en küçük kareler regresyonu		En büyük olabilirlik yöntemi	
	β	$\lambda(göz.)$	β	$\lambda(göz.)$	β	$\lambda(göz.)$	β	$\lambda(göz.)$
1	1.784	1.619	1.142	1.619	1.544	0.962	0.979	0.962
2	1.554	0.314	1.918	0.314	1.484	0.276	1.347	0.276
3	1.618	0.571	1.55	0.571	1.491	0.457	1.46	0.457
4	2.042	1.524	1.95	1.524	1.879	1.01	1.63	1.01
5	1.852	1.505	1.844	1.505	1.64	0.867	1.679	0.867
6	1.466	0.124	1.466	0.124	1.204	0.095	1.204	0.095
7	1.856	0.79	1.676	0.79	1.618	0.505	1.6	0.505
8	3.102	0.848	3.102	0.848	2.931	0.714	1.695	0.714
9	2.006	2.01	2.006	2.01	3.427	1.524	1.902	1.524
10	0.811	0.029	3.155	0.029	0.811	0.029	3.155	0.029
11	2.197	0.2	2.602	0.2	2.305	0.181	2.625	0.181
12	2.464	1.59	2.464	1.59	2.395	1.2	2.395	1.2

Tablo 5. Model 1’de esas alınan alan kaynaklar için katalog bilgilerinde eksik verilere ilişkin bir tadilat yapılması durumunda deprensellik parametreleri (Deniz 2006)

Alan Kaynak	Bütün depremler				Sadece ana şoklar			
	Standart en küçük kareler regresyonu		En büyük olabilirlik yöntemi		Standart en küçük kareler regresyonu		En büyük olabilirlik yöntemi	
	β	$\lambda(göz.)$	β	$\lambda(göz.)$	β	$\lambda(göz.)$	β	$\lambda(göz.)$
1	1.817	1.898	1.778	1.898	1.57	1.07	1.347	1.07
2	1.764	0.619	2.855	0.619	1.72	0.56	2.74	0.56
3	1.961	1.21	3.454	1.21	1.832	1.008	3.431	1.008
4	2.304	3.117	2.304	3.117	2.14	2.161	2.14	2.161
5	1.946	2.167	2.74	2.167	1.715	1.141	2.162	1.141
6	1.758	0.166	2.487	0.166	1.819	0.176	2.947	0.176
7	2.068	1.347	2.993	1.347	1.752	0.734	2.878	0.734
8	2.93	0.713	3.362	0.713	2.964	0.738	3.27	0.738
9	2.006	3.796	2.006	3.796	3.427	3.148	1.902	3.148
10	2.197	0.075	2.197	0.075	2.197	0.075	2.197	0.075
11	2.197	0.7	2.602	0.7	2.305	0.636	0.625	0.636
12	2.464	2.71	2.464	2.71	2.395	1.996	2.395	1.996

Sismik tehlike analizlerinde her bir sismik kaynak bölgesinin yaratabileceği en büyük deprem magnitudünün (m_1) belirlenmesi de oldukça önemlidir. Çalışmamızda her bir alan kaynak için Deniz (2006) tarafından Tablo 6’da verilen en büyük magnitud değeri kullanılmıştır. Tüm kaynaklar için en küçük magnitud (m_0) değeri 4.5 olarak alınmıştır.

Tablo 4 ve 5’te verilen her bir deprensellik parametresi çifti (β ve $\lambda(göz.)$ değerleri) için sismik tehlike analizleri yapılmış ve elde edilen sonuçlar Tablo 7’de verilen öznel olasılık değerleri kullanılarak mantık ağacı yöntemi ile birleştirilmiştir.

Tablo 6. Alan kaynaklara atanan en büyük magnitud değerleri (Deniz 2006)

Sismik kaynak bölgesi	m ₁
1	8
2	7.1
3	7
4	7.5
5	7.8
6	6.4
7	7.3
8	5.8
9	6
10	5.4
11	5.4
12	5.6

Tablo 7. Model 1’de farklı depremsellik parametrelerinin geçerliliği için belirlenen öznel olasılık değerleri (Deniz 2006)

Alternatif varsayımlar	Öznel olasılık
Tüm katalog	0.5
Sadece ana şoklar	0.5
Eksik raporlanma ile ilgili bir tadilat yapılmaması	0.4
Eksik raporlanma ile ilgili bir tadilat yapılması	0.6
Büyüklik-sıklık ilişkisi hesabında standart en küçük kareler regresyonu	0.4
Büyüklik-sıklık ilişkisi hesabında en büyük olabilirlik yöntemi	0.6

Model 2:

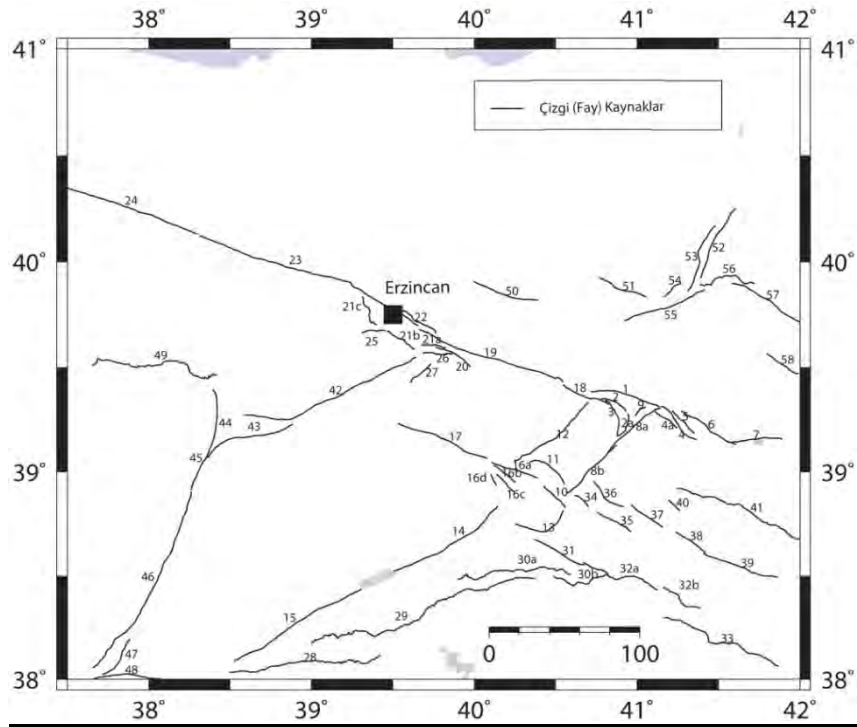
Bu modelde Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü tarafından 2012 yılında yenilenen 1/250.000 ölçekli diri fay haritalarında yer alan faylar dikkate alınarak belirlenen ve Şekil 27’de sunulan çizgi (fay) kaynaklar kullanılmıştır. Bu faylara ait depremsellik parametrelerini tayin etmek için Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı Deprem Dairesi web sayfasında sunulan “1900’den Günümüze $M \geq 4$ ” adlı veritabanındaki Erzincan ve çevresindeki deprem verileri ve belirlenen çizgi (fay) kaynaklar dikkate alınarak Şekil 28’de gösterilen alanlar belirlenmiştir. Bölüm 2.3.2.1’de bahsedilen tüm depremleri ve sadece ana şokları içeren sismik veritabanlarındaki depremler bu alanlara dağıtılmış ve eksik verilere ilişkin herhangi bir tadilat yapılması ve yapılmaması durumlarında her bir alan için depremsellik parametreleri elde edilmiştir. Belirlenen çizgi (fay) kaynaklar bu alanlar ile

ilişkilendirilmiş ve her bir alana ait λ değerleri o alanla ilişkilendirilen çizgi (fay) kaynaklar arasında boylarına göre dağıtılmıştır. Çizgi (fay) kaynakların β değerleri ise ilişkilendirildikleri alanların β değerlerine eşit alınmıştır. Ayrıca faylar ile ilişkilendirilemeyen iki alan, alan kaynak olarak modellenmiştir. Belirlenen alanlar ile ilişkilendirilemeyen depremler kullanılarak belirlenen deprensellik parametreleri, hiçbir alan ile ilişkilendirilemeyen faylara yukarıda bahsedildiği şekilde dağıtılmıştır. Faylara ait en büyük magnitüd değerleri geçmiş depremler ve Wells and Coppersmith (1994) tarafından moment magnitüdü (M_w) ile yüzey kırığı boyu (SRL) arasında önerilen aşağıdaki ilişki kullanılarak atanmıştır:

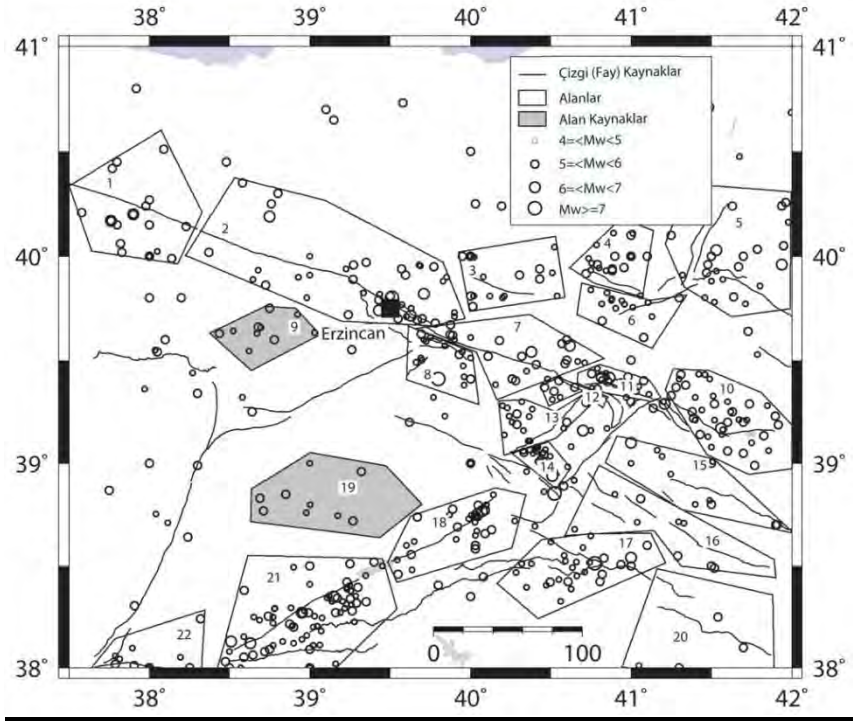
$$M_w = 5.08 + 1.16 \log(\text{SRL}) \quad (13)$$

Bu denklemde her bir fay için SRL değerinin, o fayın boyuna eşit olduğu varsayılmıştır. Tüm kaynaklar için en küçük magnitüd (m_0) değeri 4.0 olarak alınmıştır.

Bu şekilde çizgi (fay) ve alan kaynaklar için elde edilmiş olan deprensellik parametreleri Tablo 8’de verilmektedir. Alan kaynaklar için üstel magnitüd dağılımı, çizgi (fay) kaynakların için ise karakteristik deprem modeli esas alınmıştır. Tablo 8’de verilen her bir deprensellik parametresi çifti (β ve λ değerleri) için sismik tehlike analizleri yapılmış ve elde edilen sonuçlar Tablo 7’de verilen öznel olasılık değerleri kullanılarak mantık ağacı yöntemi ile birleştirilmiştir.



Şekil 27. Model 2’de esas çizgi (fay) kaynaklar



Şekil 28. Deprem verileri ve faylar dikkate alınarak belirlenen alanlar (Taralı olan poligonlar alan kaynakları, diğer poligonlar ise fayları göstermektedir.)

Tablo 8. Model 2’de esas alınan çizgi (fay) ve alan kaynaklar için depremsellik parametreleri

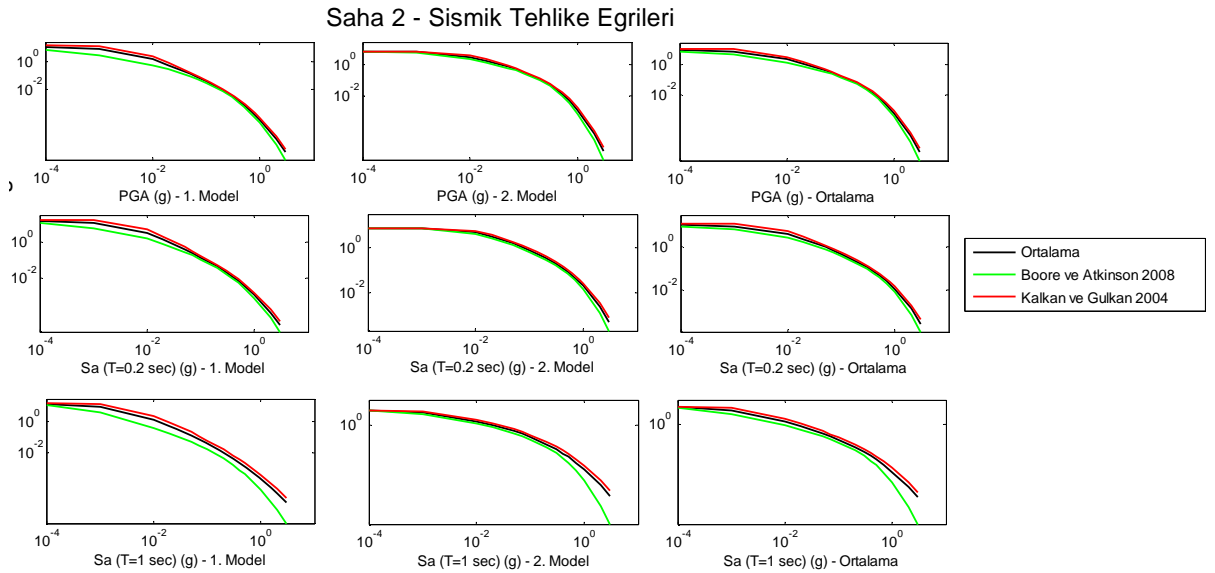
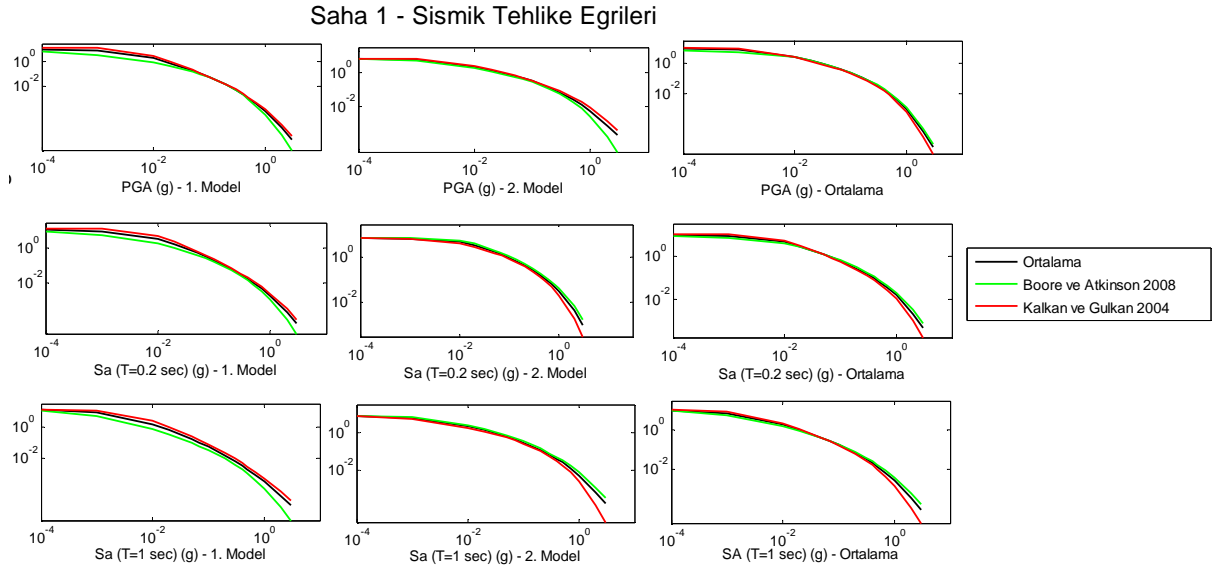
No	Adı	Türü	m ₁	Tüm depremler				Sadece ana şoklar			
				Eksik		Eksik		Eksik		Eksik	
				β	λ	β	λ	β	λ	β	λ
1	Kargapazarı (Ilipınar) Fay Parçası	Sağ Yanal Doğrultu Atımlı	6.9	1.0350	0.1681	1.5379	0.5059	0.7826	0.0796	1.2510	0.2312
2	Toklular Fay Parçası	Normal	6.5	1.5770	0.0079	1.7923	0.0168	1.3578	0.0053	1.7325	0.0119
2a	Toklular Fay Parçası	Normal	6.4	1.5770	0.0070	1.7923	0.0149	1.3578	0.0047	1.7325	0.0106
3	Bahçeköy Fay Parçası	Normal	6.6	1.5770	0.0110	1.7923	0.0234	1.3578	0.0074	1.7325	0.0166
4	Çayçatı Fay Parçası	Sağ Yanal Doğrultu Atımlı	6.7	1.5770	0.0133	1.7923	0.0282	1.3578	0.0089	1.7325	0.0200
4a	Çayçatı Fay Parçası	Sağ Yanal Doğrultu Atımlı	6.5	1.5770	0.0076	1.7923	0.0161	1.3578	0.0051	1.7325	0.0114
5	Leylekdağ Fay Parçası	Sağ Yanal Doğrultu Atımlı	6.2	1.5770	0.0085	1.7923	0.0180	1.3578	0.0057	1.7325	0.0128
6	Varto Fay Parçası	Sağ Yanal Doğrultu Atımlı	6.8	1.2722	0.1975	1.3707	0.2586	1.0198	0.0889	1.2657	0.1732
7	Akdoğan Gölü Fayı	Sağ Yanal Doğrultu Atımlı	6.8	1.2722	0.1565	1.3707	0.2049	1.0198	0.0704	1.2657	0.1373
8a	Göynük Fay Parçası	Sol Yanal Doğrultu Atımlı	7.2	1.5770	0.0184	1.7923	0.0389	1.3578	0.0123	1.7325	0.0276
8b	Göynük Fay Parçası	Sol Yanal Doğrultu Atımlı	6.8	1.5770	0.0184	1.7923	0.0391	1.3578	0.0124	1.7325	0.0277
9	Karlıova Havzasını Kontrol Eden Faylar	Normal	6.1	1.5770	0.0038	1.7923	0.0081	1.3578	0.0026	1.7325	0.0058
10	Bingöl Çek Ayır Havzası	Sağ Yanal Doğrultu Atımlı	6.5	1.5770	0.0083	1.7923	0.0175	1.3578	0.0056	1.7325	0.0125
11	Sudüğünü Fay Zonu	Sağ Yanal Doğrultu Atımlı	6.7	0.8414	0.1681	1.3111	0.6572	0.4573	0.0265	0.5701	0.0331
12	Sancak Uzunpınar Fay Zonu	Sol Yanal Doğrultu Atımlı	7.1	1.6929	0.1416	2.5531	0.5679	1.1745	0.0354	1.9144	0.1458
13	Genç Fay Parçası	Normal	6.8	1.5770	0.0159	1.7923	0.0337	1.3578	0.0107	1.7325	0.0239
14	Palu Fay Parçası	Sol Yanal Doğrultu Atımlı	7.1	1.4085	0.3009	1.9194	0.7391	0.9924	0.1416	1.3650	0.3143
15	Pütürge (Şiro) Fay Parçası	Sol Yanal Doğrultu Atımlı	7.3	1.4631	0.3334	1.9611	1.0648	1.3000	0.2167	1.7244	0.6078
16a	Karakoçan Fay Zonu	Sağ Yanal Doğrultu Atımlı	6.7	1.5770	0.0127	1.7923	0.0270	1.3578	0.0086	1.7325	0.0192
16b	Karakoçan Fay Zonu	Sağ Yanal Doğrultu Atımlı	6.4	1.5770	0.0073	1.7923	0.0155	1.3578	0.0049	1.7325	0.0110
16c	Karakoçan Fay Zonu	Sağ Yanal Doğrultu Atımlı	6.4	1.5770	0.0067	1.7923	0.0142	1.3578	0.0045	1.7325	0.0101
16d	Karakoçan Fay Zonu	Sağ Yanal Doğrultu Atımlı	6	1.5770	0.0033	1.7923	0.0071	1.3578	0.0022	1.7325	0.0050
17	Nazimiye Fayı	Sağ Yanal Doğrultu Atımlı	7.1	1.5770	0.0255	1.7923	0.0540	1.3578	0.0171	1.7325	0.0383
18	Elmalidere Fay Parçası	Sağ Yanal Doğrultu Atımlı	6.7	0.8434	0.0531	0.8434	0.0531	0.7856	0.0354	0.7856	0.0354
19	Yedisu Fay Parçası	Sağ Yanal Doğrultu Atımlı	7.3	1.1308	0.2212	1.4177	0.4417	0.8874	0.0973	1.0942	0.1120
20	Pülümür Fayı	Sağ Yanal Doğrultu Atımlı	6.6	0.9431	0.0494	1.4354	0.1823	0.4462	0.0116	0.8264	0.0315
21a	Erzincan Havzası Güney Fay Parçası	Normal	6.4	0.9431	0.0307	1.4354	0.1132	0.4462	0.0072	0.8264	0.0196
21b	Erzincan Havzası Güney Fay Parçası	Normal	6.5	1.5770	0.0090	1.7923	0.0191	1.3578	0.0060	1.7325	0.0135
21c	Erzincan Havzası Güney Fay Parçası	Normal	6.6	1.1301	0.0456	1.4239	0.1094	0.9623	0.0249	1.2029	0.0466
22	Erzincan Havzası Kuzey Fayı	Normal	6.8	1.1301	0.0539	1.4239	0.1293	0.9623	0.0294	1.2029	0.0551
23	Suşehri-Erzincan Arası Fay Parçası	Sağ Yanal Doğrultu Atımlı	7.9	1.1301	0.2898	1.4239	0.6951	0.9623	0.1581	1.2029	0.2964
24	Kelkit Vadisi Fay Parçası	Sağ Yanal Doğrultu Atımlı	7.9	1.2353	0.1681	1.1992	0.1862	0.9846	0.0973	1.1771	0.1597
25	Erzincan Güneyi-a Fayı	Sağ Yanal Doğrultu Atımlı	6.4	1.5770	0.0064	1.7923	0.0135	1.3578	0.0043	1.7325	0.0096
26	Erzincan Güneyi-b Fayı	Sol Yanal Doğrultu Atımlı	6.5	0.9431	0.0365	1.4354	0.1348	0.4462	0.0086	0.8264	0.0233
27	Heltepe Fayı	Sol Yanal Doğrultu Atımlı	6.4	0.9431	0.0338	1.4354	0.1246	0.4462	0.0079	0.8264	0.0215
28	Güneydoğu Anadolu Bindirme Zonu (Gerger Segmenti)	Ters	7.3	1.4631	0.3745	1.9611	1.1960	1.3000	0.2434	1.7244	0.6827
29	Güneydoğu Anadolu Bindirme Zonu (Cüngüş Segmenti)	Ters	7.6	1.5770	0.0705	1.7923	0.1493	1.3578	0.0474	1.7325	0.1060
30a	Güneydoğu Anadolu Bindirme Zonu (Lice Segmenti)	Ters	7.2	1.5770	0.0334	1.7923	0.0707	1.3578	0.0224	1.7325	0.0502
30b	Güneydoğu Anadolu Bindirme Zonu (Lice Segmenti)	Ters	6.8	1.0889	0.0767	1.2901	0.1223	0.8075	0.0356	1.1826	0.1100
31	Yayla Fayı	Sağ Yanal Doğrultu Atımlı	6.8	1.0889	0.0680	1.2901	0.1084	0.8075	0.0315	1.1826	0.0975
32a	Güneydoğu Anadolu Bindirme Zonu (Kulp Segmenti)	Ters	7	1.0889	0.1031	1.2901	0.1645	0.8075	0.0479	1.1826	0.1480
32b	Güneydoğu Anadolu Bindirme Zonu (Kulp Segmenti)	Ters	6.7	1.2588	0.0090	1.8522	0.0190	1.2588	0.0090	1.8522	0.0190
33	Güneydoğu Anadolu Bindirme Zonu (Kozluk Segmenti)	Ters	7.2	1.2588	0.0264	1.8522	0.0553	1.2588	0.0264	1.8522	0.0553
34	Adlandırılmamış Fay Zonu	Normal	6.2	1.5770	0.0049	1.7923	0.0105	1.3578	0.0033	1.7325	0.0074
35	Yenisu Fayı	Sağ Yanal Doğrultu Atımlı	6.6	0.8566	0.0134	1.0198	0.0249	0.7778	0.0104	1.0198	0.0249
36	Kozburnu Fayı	Sağ Yanal Doğrultu Atımlı	6.6	0.8566	0.0142	1.0198	0.0264	0.7778	0.0110	1.0198	0.0264
37	Kavakbaşı Fayı Kaleköy Segmenti	Sağ Yanal Doğrultu Atımlı	6.6	0.8566	0.0131	1.0198	0.0244	0.7778	0.0102	1.0198	0.0244
38	Kavakbaşı Fayı Kayalısı Segmenti	Sağ Yanal Doğrultu Atımlı	6.6	0.8566	0.0125	1.0198	0.0233	0.7778	0.0097	1.0198	0.0233
39	Kavakbaşı Fayı Ilıcaköy Segmenti	Sağ Yanal Doğrultu Atımlı	7	0.8566	0.0265	1.0198	0.0495	0.7778	0.0206	1.0198	0.0495
40	Adlandırılmamış Fay	Sağ Yanal Doğrultu Atımlı	6.1	0.9523	0.0105	1.3394	0.0270	0.7283	0.0061	1.2218	0.0197
41	Muş Fay Zonu	Ters	7.3	0.9523	0.0957	1.3394	0.2454	0.7283	0.0558	1.2218	0.1785
42	Ovacık Fayı Munzur Segmenti	Sol Yanal Doğrultu Atımlı	7.4	1.5770	0.0493	1.7923	0.1045	1.3578	0.0332	1.7325	0.0742
43	Ovacık Fayı Arapkir Segmenti	Sol Yanal Doğrultu Atımlı	7.1	1.5770	0.0249	1.7923	0.0528	1.3578	0.0167	1.7325	0.0375
44	Malatya Fayı Kemalîye Segmenti	Sol Yanal Doğrultu Atımlı	6.9	1.5770	0.0186	1.7923	0.0395	1.3578	0.0125	1.7325	0.0280
45	Malatya Fayı Arguvan Segmenti	Sol Yanal Doğrultu Atımlı	6.6	1.5770	0.0097	1.7923	0.0206	1.3578	0.0065	1.7325	0.0146
46	Malatya Fayı Akçadağ Segmenti	Sol Yanal Doğrultu Atımlı	7.5	1.5770	0.0557	1.7923	0.1180	1.3578	0.0374	1.7325	0.0838
47	Malatya Fayı Doğanşehir Segmenti	Sol Yanal Doğrultu Atımlı	6.7	0.8499	0.0527	1.0422	0.0790	0.8022	0.0246	1.3219	0.0649
48	Sürgü Fayı	Sol Yanal Doğrultu Atımlı	6.9	0.8499	0.0800	1.0422	0.1199	0.8022	0.0374	1.3219	0.0986
49	Divriği Fayı	Ters	7.3	1.5770	0.0391	1.7923	0.0830	1.3578	0.0263	1.7325	0.0589
50	Tercan Fayı	Sağ Yanal Doğrultu Atımlı	6.9	1.5955	0.3363	2.2388	1.1754	1.3330	0.1239	1.8609	0.2878
51	Kandıllı Fayı	Sağ Yanal Doğrultu Atımlı	6.8	1.0537	0.1681	1.6818	0.5383	1.1287	0.1062	1.7345	0.2966
52	Erzurum Fay Zonu Nenehatun Segmenti	Sol Yanal Doğrultu Atımlı	7	1.3406	0.0658	1.5886	0.1417	1.2600	0.0517	1.4889	0.1116
53	Erzurum Fay Zonu Dumlu Segmenti	Sol Yanal Doğrultu Atımlı	6.9	1.3406	0.0614	1.5886	0.1324	1.2600	0.0483	1.4889	0.1042
54	Erzurum Fay Zonu Börekli Segmenti	-	6.3	1.5770	0.0060	1.7923	0.0128	1.3578	0.0040	1.7325	0.0091
55	Palandöken Fayı	Sol Yanal Doğrultu Atımlı	7	1.1370	0.1239	1.7903	0.5244	0.5984	0.0442	1.0440	0.1331
56	Pasinler Fay Zonu	Ters	6.8	1.3406	0.0538	1.5886	0.1160	1.2600	0.0423	1.4889	0.0914
57	Karayazı Fayı	Sağ Yanal Doğrultu Atımlı	7	1.3406	0.0668	1.5886	0.1439	1.2600	0.0525	1.4889	0.1133
58	Akdağ Fayı	Sağ Yanal Doğrultu Atımlı	6.6	1.5770	0.0100	1.7923	0.0213	1.3578	0.0067	1.7325	0.0151
9**	-	Alan Kaynak	5.8	1.1073	0.0885	1.7990	0.3159	1.0578	0.0708	1.7115	0.2289
19**	-	Alan Kaynak	5.5	1.0900	0.1062	1.8306	0.2786	1.3247	0.0796	2.1624	0.2262

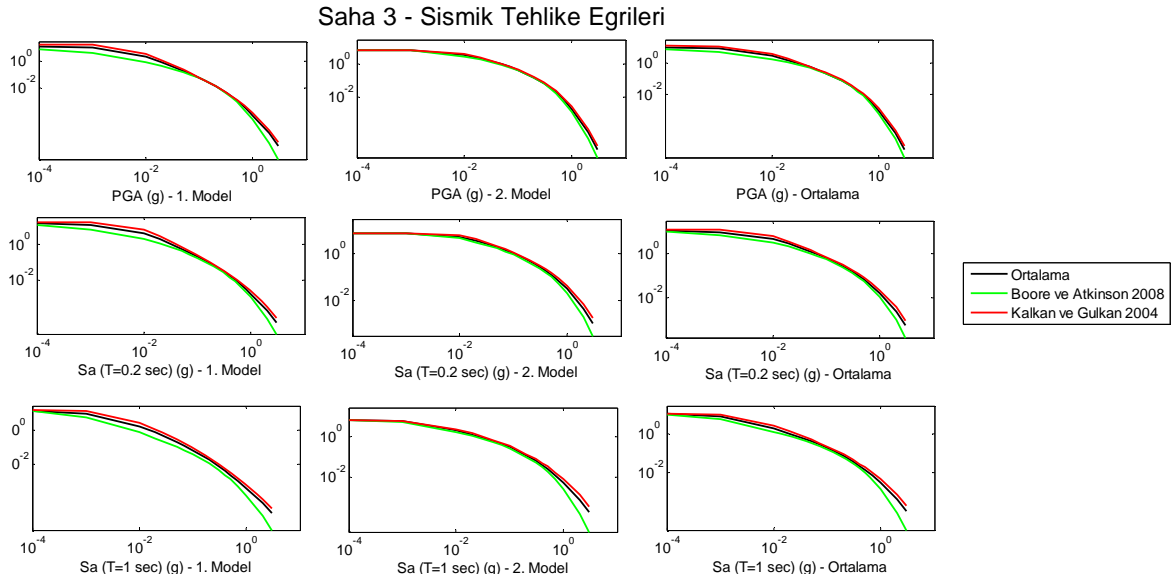
* Eksik raporlama ile ilgili tadilat yapılması durumunda mantıksız değerler elde edildiğinden tadilat yapılmadığı durumdaki değerler esas alınmıştır.

**Faylarla ilişkilendirilemediğinden alan kaynak olarak modellenmiştir.

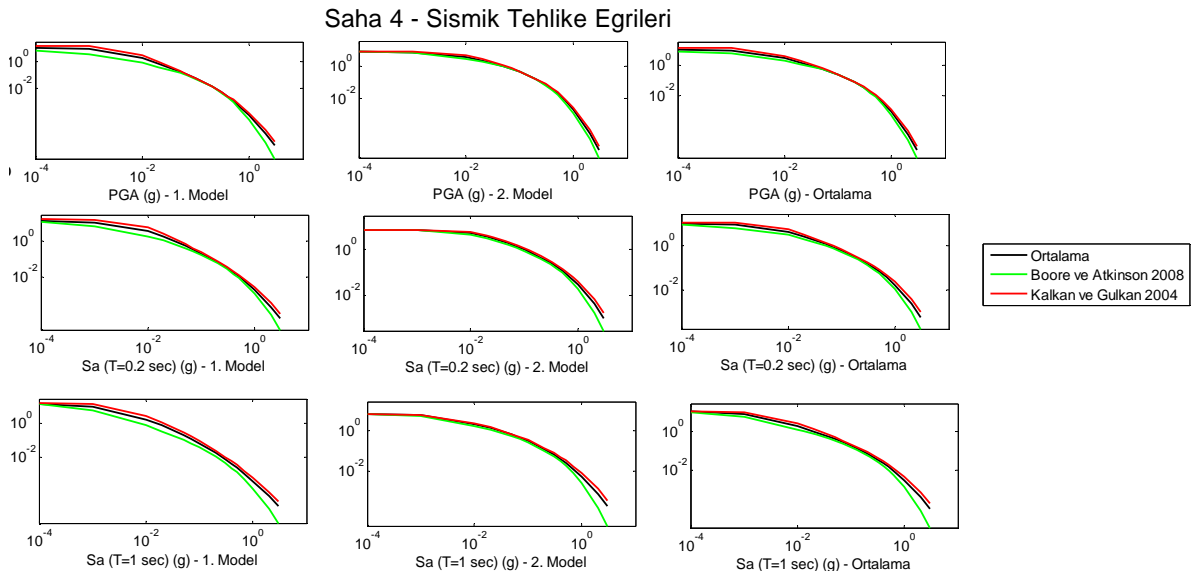
2.3.2.2 Sahaya Özel Olasılıksal Sismik Tehlike Hesapları

Bir önceki bölümde sunulmuş olan kaynak modelleri kullanılarak seçilmiş sahalarda yapılan sahaya özel sismik tehlike analizlerinin sonuçları, Şekil 29-37’de verilmiştir. Bu şekillerde, her satırda sırasıyla soldan sağa doğru Model 1, Model 2 ve ortalama sonuçlar gösterilmiştir. Azalım denkleminde zemin bilgisi olarak bir önceki kısımda detaylı olarak sunulmuş olan 1-boyutlu zemin profili bilgileri kullanılmıştır.

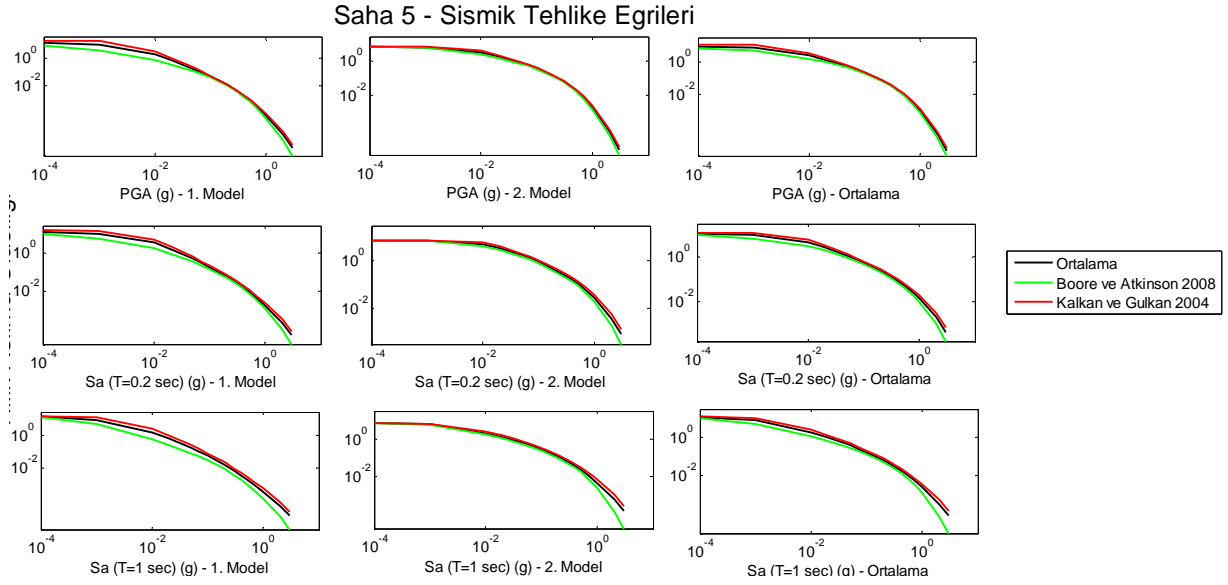




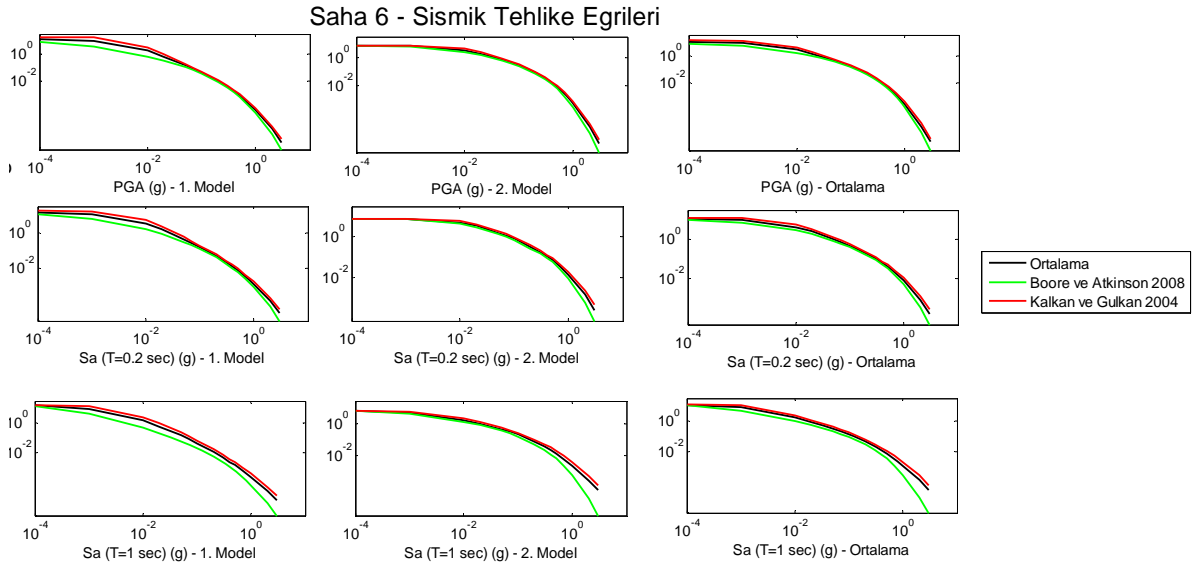
Şekil 31. Saha 3'e ait sismik tehlike eğrileri (Düşey eksen yıllık aşılma sıklığını göstermektedir)



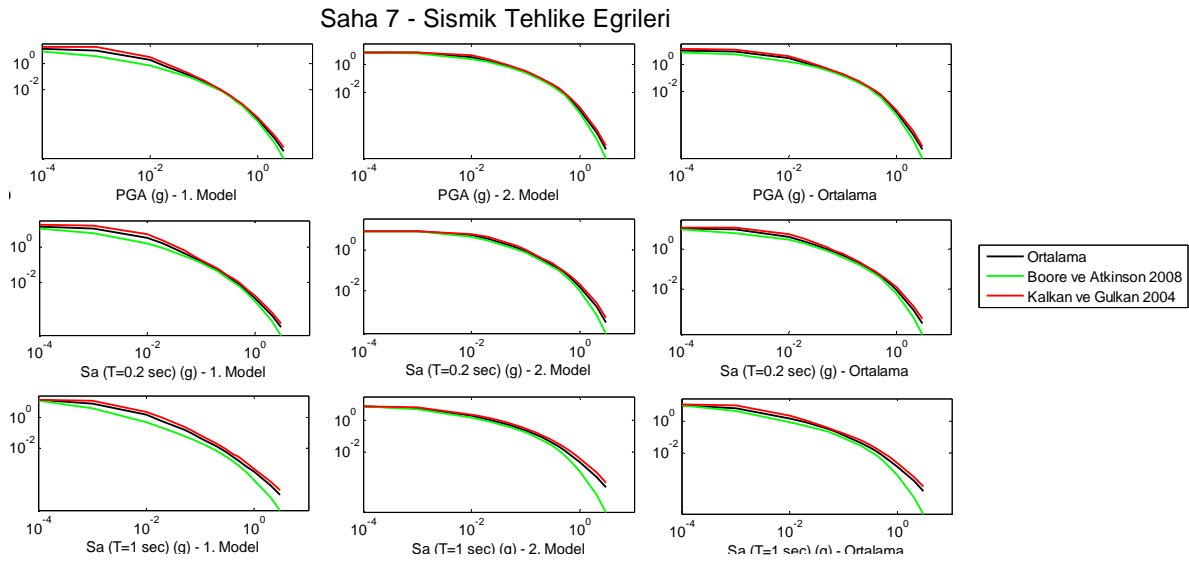
Şekil 32. Saha 4'e ait sismik tehlike eğrileri (Düşey eksen yıllık aşılma sıklığını göstermektedir)



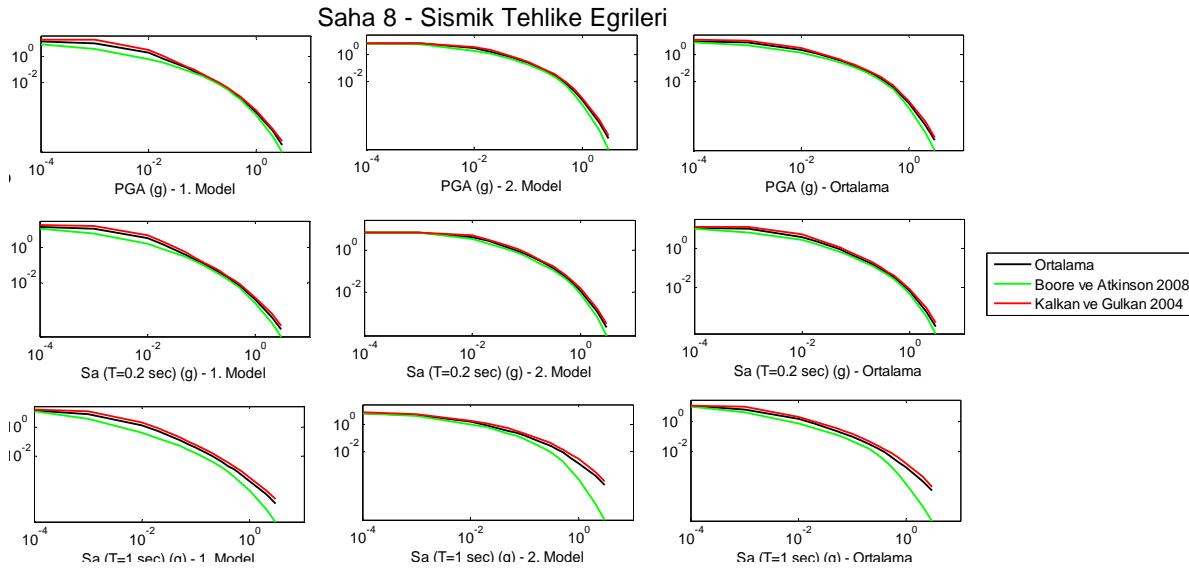
Şekil 33. Saha 5'e ait sismik tehlike eğrileri (Düşey eksen yıllık aşılma sıklığını göstermektedir)



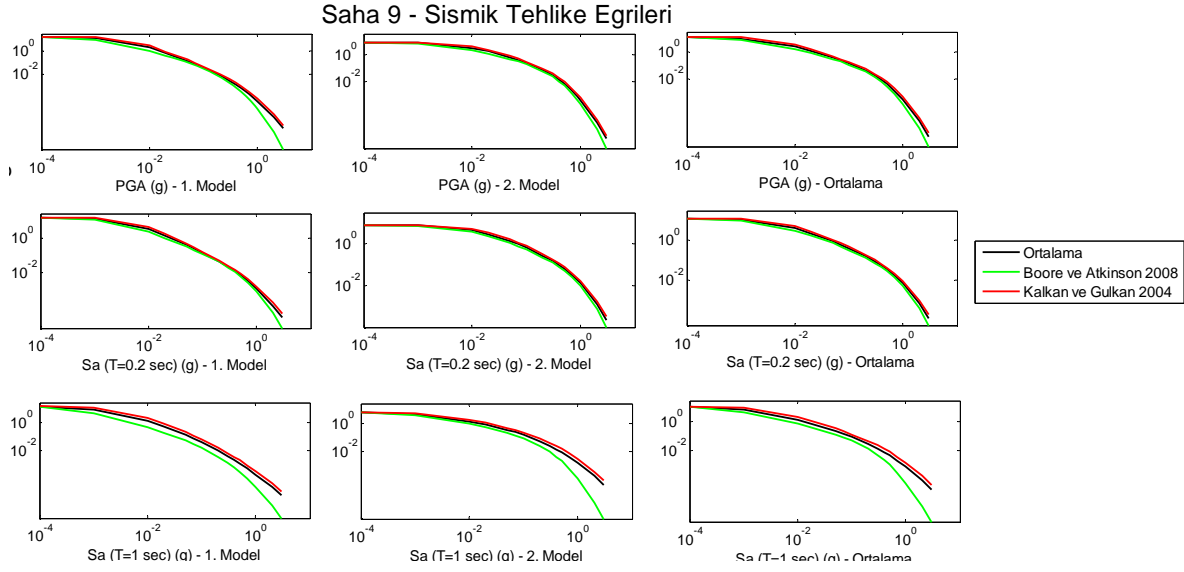
Şekil 34. Saha 6'ya ait sismik tehlike eğrileri (Düşey eksen yıllık aşılma sıklığını göstermektedir)



Şekil 35. Saha 7'ye ait sismik tehlike eğrileri (Düşey eksen yıllık aşılma sıklığını göstermektedir)



Şekil 36. Saha 8'e ait sismik tehlike eğrileri (Düşey eksen yıllık aşılma sıklığını göstermektedir)



2.3.2.3 Sahaya Özel Olasılıksal Sismik Tehlike Hesaplarından Hazırlanan Yer Hareketi Dağılım Haritaları

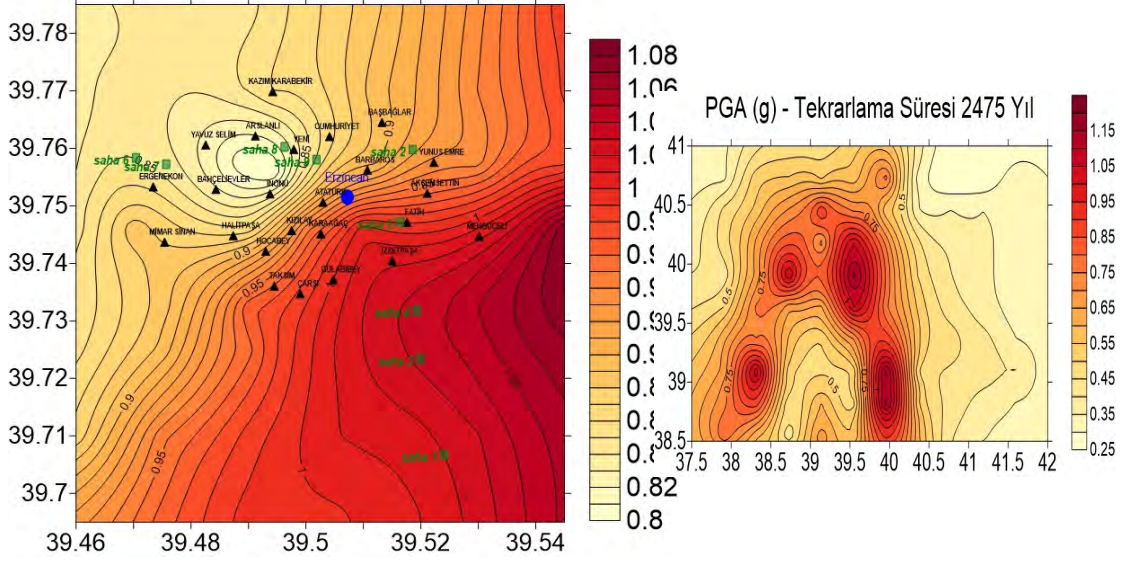
Önceki kısımlarda tarif edilmiş olan bölgesel kaynaklar, katalog bilgileri, azalım ilişkileri ve yerel zemin özellikleri ile bu kısımda Erzincan il merkezinde seçilen 123 düğüm noktasında analizler yapılmış ve farklı yer hareketi parametrelerine (maksimum yer ivmesi ve spektral ivmelere) ait olasılıksal ve mekansal dağılımlar elde edilmiştir. Bu haritaları oluşturmak için yapılan analizlerde, her bir düğüm noktasında o noktaya en yakın sahadan elde edilen zemin özellikleri Vs30 cinsinden kullanılmıştır. Yerel zemin koşullarının yer hareketlerine etkisini araştırmak için her durum için ayrıca ortalama bir zemin özelliği (Vs30=400 m/s) kullanılarak çok daha geniş bir alanda bir dağılım haritası hazırlanmıştır. Yine sismik tehlike hesaplarında çok yaygın olarak yapılan bir analiz türü de kaya koşulları (Vs30=760 m/s) için analizdir. Bu projede de bu hesaplar yapılmıştır ancak Erzincan bölgesinde basen içindeki zeminlerin yumuşak zeminler olduğu bilindiği için burada (yumuşak zemin koşullarına göre çok daha düşük yer hareketi değerleri veren) kaya koşulları varsayımına ait analiz sonuçları sunulmamıştır.

Şekil 38-46, farklı tekerrür süreleri için elde edilmiş olan haritaları sunmaktadır. Bu haritalardan görüldüğü üzere Erzincan ilinde dikkate değer bir sismik tehlike söz konusudur. Geçtiğimiz yüzyılda 1939 ve 1992 depremleri ile sarsılmış olan bu bölgenin sismik güvenliği için bu hesaplar da göz önünde bulundurularak il bazında sismik güvenlik ve depreme hazırlık faaliyetleri yapılmalıdır.

Yine bu haritalardan sahaya-özel olasılıksal sismik tehlike hesaplarında yerel zemin koşullarına ait bilgilerin önemi açıkça görülmektedir.

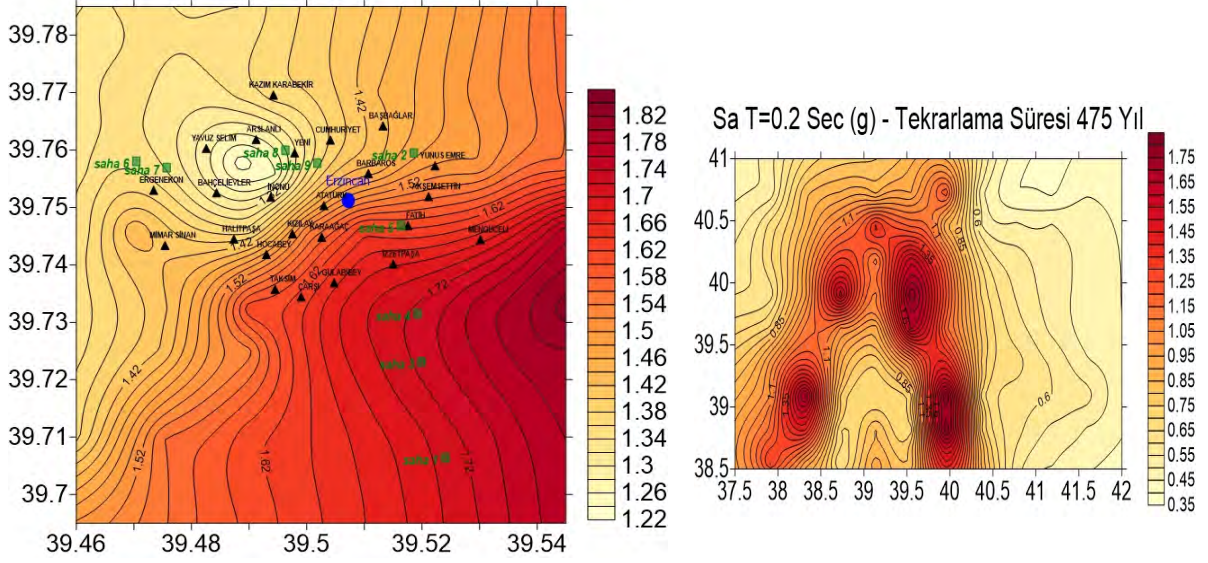
Bu kısımda sunulan yer hareketi dağılımları, olasılıksal bir çerçevede hesaplanan bölgesel sismik tehlikeyi ifade etmektedir. Bilindiği üzere, olasılıksal sismik tehlike hesapları, analiz edilen her noktada tüm dalga formunu değil, sadece seçilen bir maksimum yer hareketi değeri için sonuç verir (Örnek: maksimum yer ivmesi). Diğer taraftan, çoğu kez bir bölgedeki farklı senaryolarda açığa çıkabilecek yer hareketi değerleri ve yapıların analizi için tüm dalga formları

PGA (g) - Tekrarlanma Süresi 2475 Yıl



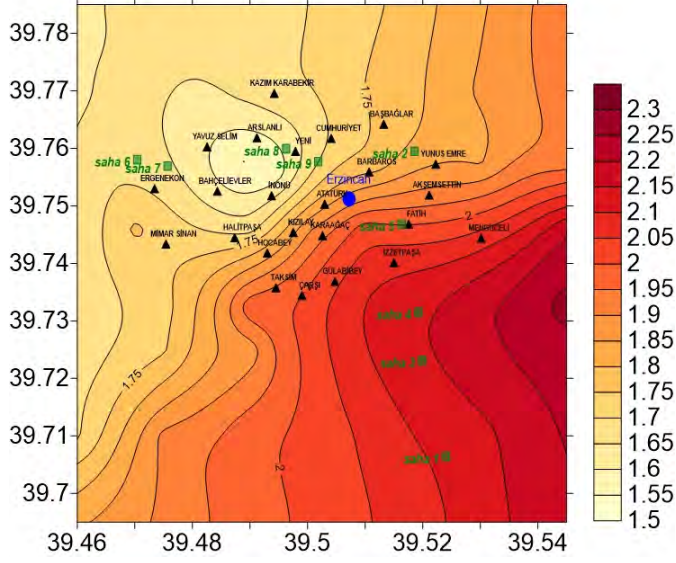
Şekil 40. 2475 yıl tekerrür süresi için maksimum yer ivmesi (PGA) cinsinden tehlike haritası (sol kolon: il merkezinde yerel zemin özellikleri ile, sağ kolon: Erzincan civarı için ortalama zemin özellikleri ile)

Sa T=0.2 s (g) - Tekrarlanma Süresi 475 Yıl

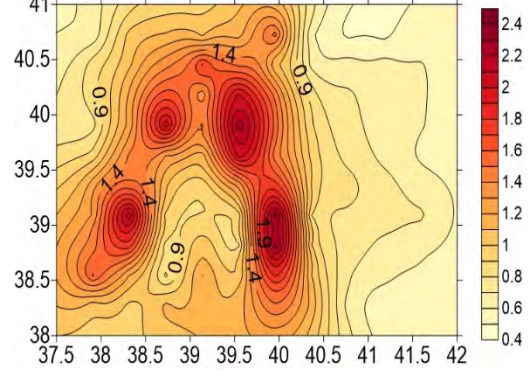


Şekil 41. 475 yıl tekerrür süresi için spektral ivme (SA=0.2 saniye) cinsinden tehlike haritası (sol kolon: il merkezinde yerel zemin özellikleri ile, sağ kolon: Erzincan civarı için ortalama zemin özellikleri ile)

Sa T=0.2 s (g) - Tekrarlanma Süresi 975 Yıl

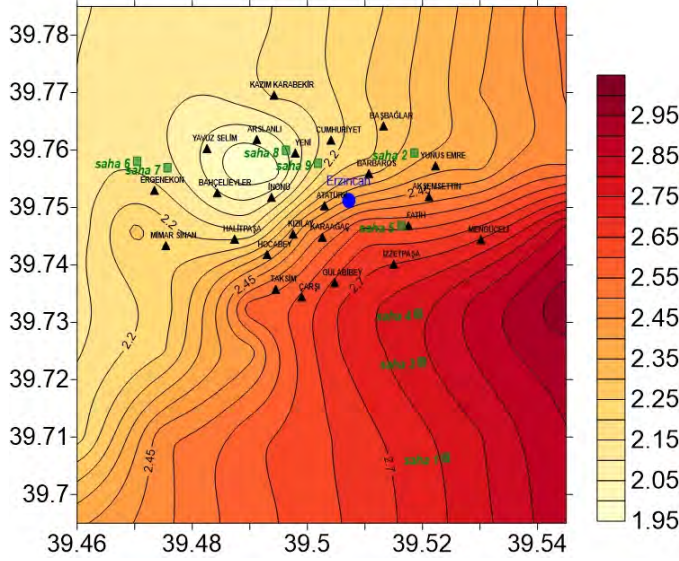


Sa T=0.2 Sec (g) - Tekrarlanma Süresi 975 Yıl

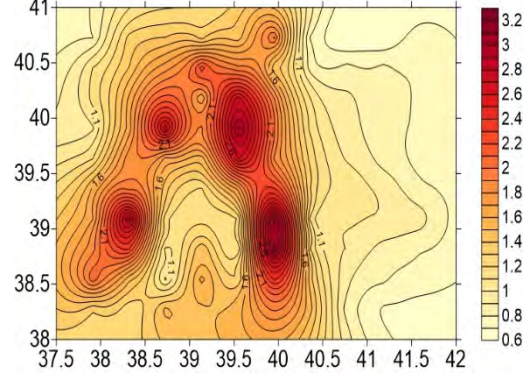


Şekil 42. 975 yıl tekerrür süresi için spektral ivme (SA=0.2 saniye) cinsinden tehlike haritası (sol kolon: il merkezinde yerel zemin özellikleri ile, sağ kolon: Erzurum civarı için ortalama zemin özellikleri ile)

Sa T=0.2 s (g) - Tekrarlanma Süresi 2475 Yıl

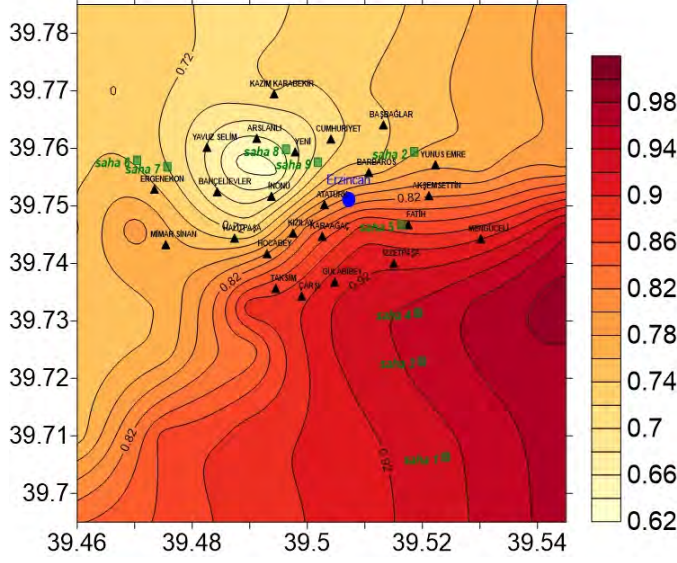


Sa T=0.2 Sec (g) - Tekrarlanma Süresi 2475 Yıl

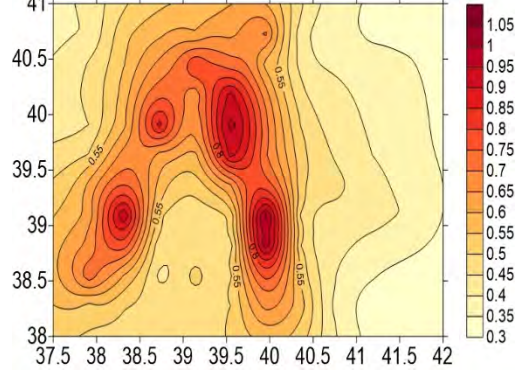


Şekil 43. 2475 yıl tekerrür süresi için spektral ivme (SA=0.2 saniye) cinsinden tehlike haritası (sol kolon: il merkezinde yerel zemin özellikleri ile, sağ kolon: Erzurum civarı için ortalama zemin özellikleri ile)

Sa T=1^s (g) - Tekrarlanma Süresi 475 Yıl

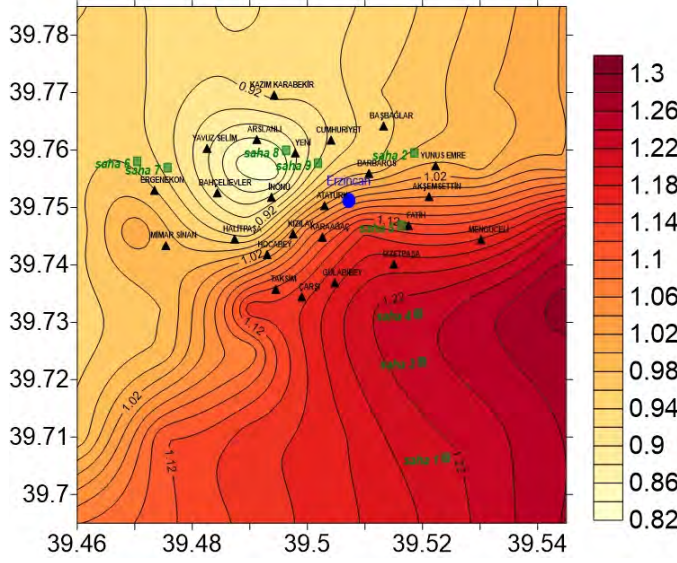


Sa T=1 Sec (g) - Tekrarlanma Süresi 475 Yıl

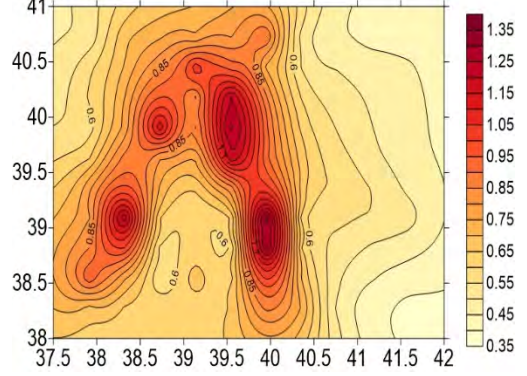


Şekil 44. 475 yıl tekerrür süresi için spektral ivme (SA=1.0 saniye) cinsinden tehlike haritası (sol kolon: il merkezinde yerel zemin özellikleri ile, sağ kolon: Erzurum civarı için ortalama zemin özellikleri ile)

Sa T=1^s (g) - Tekrarlanma Süresi 975 Yıl

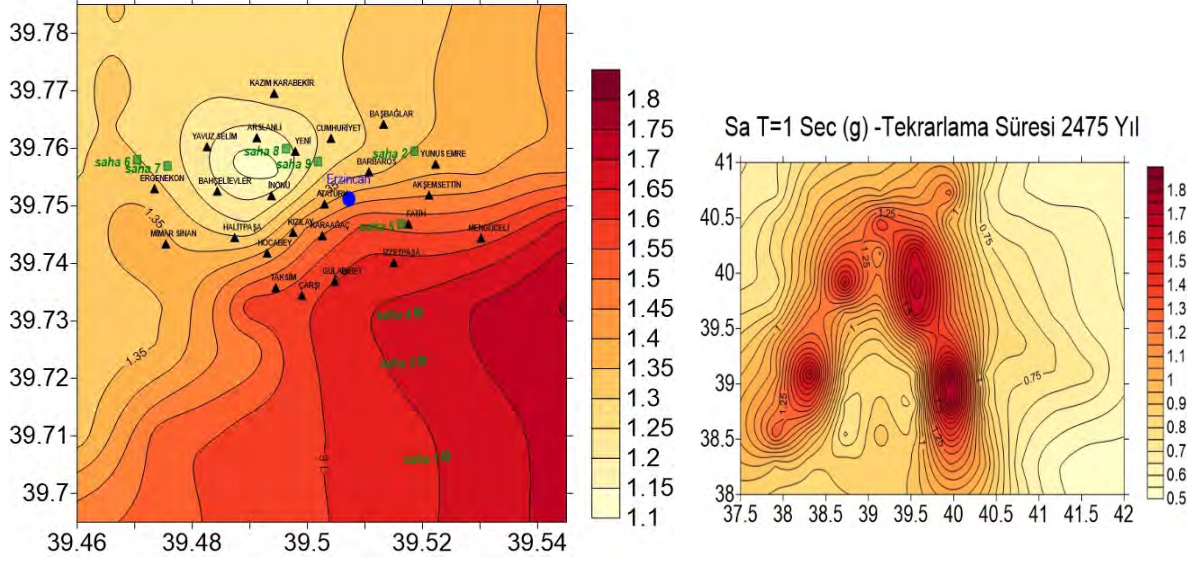


Sa T=1 Sec (g) - Tekrarlanma Süresi 975 Yıl



Şekil 45. 975 yıl tekerrür süresi için spektral ivme (SA=1.0 saniye) cinsinden tehlike haritası (sol kolon: il merkezinde yerel zemin özellikleri ile, sağ kolon: Erzurum civarı için ortalama zemin özellikleri ile)

Sa T=1 s (g) - Tekrarlanma Süresi 2475 Yıl



Şekil 46. 2475 yıl tekerrür süresi için spektral ivme (SA=1.0 saniye) cinsinden tehlike haritası (sol kolon: il merkezinde yerel zemin özellikleri ile, sağ kolon: Erzurum civarı için ortalama zemin özellikleri ile)

2.4 Aşama 4: Hasar tahmininde kullanılacak yer hareketlerinin oluşturulması

2.4.1 Aşama 4.1: Toplanan verilerle 1992 Erzurum depreminin simüle edilmesi. Elde edilen sonuçların gözlemlerle karşılaştırılması ve yer hareketi model parametrelerinin kalibre edilmesi

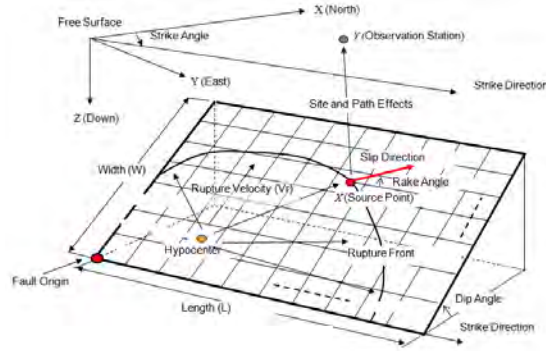
Bu ilk aşamada 1992 depremi stokastik sonlu fay yöntemi ile simüle edilmiş; gözlemlenen ve hesaplanan yer hareketlerinin karşılaştırılmasıyla simülasyon parametreleri doğrulanmıştır.

2.4.1.1 Yöntem: Stokastik Sonlu-Fay Yöntemi

Sonlu-fay modelleri, depremlerde ortaya çıkacak olan yer hareketlerini, kullanıcı tarafından seçilecek yakın-saha noktalarında fayın sonlu boyutlarını göz önüne alarak modellemeyi (simüle etmeyi) hedeflerler. Beresnev ve Atkinson (1997), çalışmalarında dikdörtgen bir fayı sonlu sayıda alt-faya bölerek, her bir alt-fayı ω^{-2} kaynak spektrumlu stokastik nokta-kaynak (Boore, 1983) olarak kabul eden bir modellemeye dayalı bir yöntem önermişlerdir. Bu yöntemde depremin odağı alt-faylardan birisine yerleştirilir ve dalgalar odaktan sabit bir yırtılma hızı ile yayılmaya başlar. Yırtılma, sırasıyla her bir alt-faya ulaştığında, o alt-faydan dalga yayılımı başlatılır (Şekil 47). Bu biçimde ana fayı oluşturan bütün alt-fayların katkısı kinematik olarak doğru gecikmelerle üst üste eklenir ve herhangi bir gözlem noktasında aşağıdaki gibi zamana bağlı ivme değerleri elde edilir:

$$A(t) = \sum_{i=1}^{nl} \sum_{j=1}^{nw} A_{ij}(t + \Delta t_{ij}) \quad (14)$$

Denklem 14'te, $A(t)$ bütün faydan elde edilen ivme kaydı; A_{ij} ise dalga alanına ij . alt-fayın ivme katkısıdır. Bu denklemde nl ve nw sırasıyla fayın uzunluğu ve genişliği boyunca alt-fay sayılarını ifade etmektedir. Her bir alt-fay için kinematik olarak hesaplanan gecikme payı Δt_{ij} , yırtılma yüzeyinin her bir sonlu elemana ulaşması için geçen süre ile S-dalgasının gözlem noktasına kadar geçirdiği sürenin toplamına eşittir (Beresnev ve Atkinson, 1997).



Şekil 47. Stokastik sonlu-fay yönteminde dalganın kinematik yayılımı (Şekil, Hisada (2008)'den olduğu gibi alınmıştır)

Beresnev ve Atkinson (1997) tarafından önerilmiş olan orijinal yöntemin temel bir kısıtı, alt-fay sayısı üzerindeki üst limit ve faydan yayılan toplam enerjinin alt-fay boyutlarına bağlı olmasıdır. Bu kısıt, Motazedian ve Atkinson (2005) tarafından tanımlanmış olan dinamik köşe frekansı kavramı ile üstesinden gelinmiştir: bu yeni modelde yayılan toplam enerji alt-fay boyutundan bağımsız olarak korunmaktadır ve düşük frekanslarda yayılan dalga genlikleri alt-fay boyutlarından bağımsız hale gelmiştir. Bu projede, sözü edilen güncellenmiş model ve EXSIM bilgisayar programı kullanılmaktadır.

Bu modelde, ij . alt-faya ait ivme değerlerinin frekans uzayında kaynak, yayılım (yol) ve saha filtreleri cinsinden spektral ifadesi $A_{ij}(f)$ aşağıdaki gibidir:

$$A_{ij}(f) = CM_{0ij}H_{ij} \frac{(2\pi f)^2}{\left[1 + \left(\frac{f}{f_{c_{ij}}}\right)^2\right]} e^{-\frac{\pi f R_{ij}}{Q(f)\beta}} G(R_{ij})D(f)e^{-\pi\kappa f} \quad (15)$$

Burada $C = \frac{\mathfrak{R}^{\theta\varphi}\sqrt{2}}{4\pi\rho\beta^3}$ ölçekleme katsayısı, $\mathfrak{R}^{\theta\varphi}$ ışınım (radyasyon) örüntüsü, ρ yoğunluk, β S-dalga hızı, $M_{0ij} = \frac{M_0 S_{ij}}{\sum_{k=1}^{nl} \sum_{l=1}^{nw} S_{kl}}$ sismik moment, S_{ij} göreceli kayma ağırlıkları, $f_{c_{ij}}(t)$ ij . alt-faya

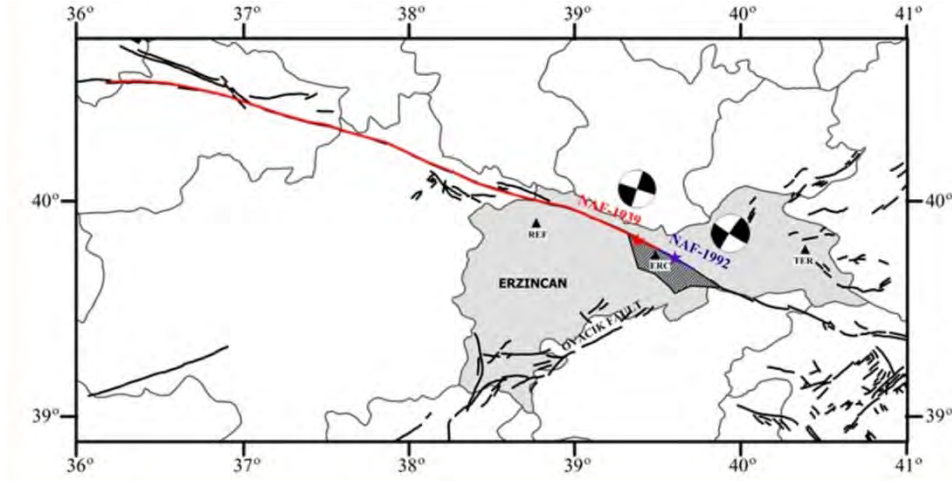
ait dinamik köşe frekansdır ve $f_{c_{ij}}(t) = N_R(t)^{-1/3} 4.9 \times 10^6 \beta \left(\frac{\Delta\sigma}{M_{0ave}}\right)^{1/3}$ olarak tanımlanmıştır. Yine burada $\Delta\sigma$ gerilim düşümü, $N_R(t)$ herhangi bir t zamanında kırılmış olan toplam alt-fay sayısı ve $M_{0ave} = M_0/N$ alt-fayların toplam sismik momentidir. R_{ij} gözlem noktasından uzaklık, $Q(f)$ kalite faktörü, $G(R_{ij})$ geometrik yayılım faktörü, $D(f)$ saha büyütme filtresi, $e^{-\pi\kappa f}$ zeminlerin yüzeye yakın azalım özelliklerini ifade eden (kappa faktörü) yüksek frekans filtresidir (Anderson and Hough, 1984). Yine bu denklemde, H_{ij} yüksek frekansların genliklerini düzenleyen bir filtre olup aşağıdaki gibi ifade edilmektedir:

$$H_{ij} = \left\{ N \frac{\left[\frac{\sum \left[\frac{f^2}{1 + \left(\frac{f}{f_c} \right)^2} \right]}{\sum \left[\frac{f^2}{1 + \left(\frac{f}{f_{c_{ij}}} \right)^2} \right]} \right]^{1/2}} \right. \quad (16)$$

2.4.1.2 13 Mart 1992 (Mw=6.6) Erzincan Depremi'nin Kuvvetli Yer Hareketi Simülasyonu

Bu çalışmada öncelikle Erzincan bölgesine ait kaynak, yayılım ve saha bilgilerine ait girdi parametrelerini doğrulamak amacıyla 13 Mart 1992 Erzincan depremi simüle edilmiştir. Şekil 48'de görüldüğü gibi bu deprem KAFZ'nin Doğu bölgesinde KAFZ ve Ovacık faylarının kesişiminde meydana gelmiştir. Mülga Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Deprem Araştırma Dairesi tarafından açıklanan verilere göre depremin odağı (39.716°K, 39.629°D) noktasıdır. Şekil 48, 1939 ve 1992 Erzincan depremlerinin merkezlerini ve odak mekanizmalarını; yakın çevredeki aktif fayları ve 1992 depremini kaydetmiş olan kuvvetli yer hareketi istasyonlarının Erzincan basenine göre konumlarını göstermektedir. Bu deprem büyüklük olarak orta ölçekte olsa da oluşturduğu yapısal hasar ve meydana gelen can kayıpları nedeniyle Türkiye'de gerçekleşmiş olan büyük doğal afetler arasında yer almaktadır.

Depremin anaşoku yalnızca 3 istasyon tarafından kaydedilmiştir: istasyonlara ait isim, kod, lokasyon, dışmerkezden uzaklık (R_{EPI}), maksimum yatay yer ivmesi (MYİ), maksimum yer hızı (MYH) ve saha zemin bilgileri (V_{S30}), Tablo 9'da sunulmuştur. Bu kayıtların ham halleri, Türkiye Kuvvetli Yer Hareketi veritabanında bulunmaktadır (http://daphne.deprem.gov.tr:89/2K/daphne_v4.php).



Şekil 48. 1939 ve 1992 Erzincan depremlerinin merkezleri (yıldızlar) ve odak mekanizmaları; yakın çevredeki aktif faylar ve 1992 depremini kaydetmiş olan kuvvetli yer hareketi istasyonlarının (üçgenler) Erzincan basenine göre konumları (1939 depremi merkez üssü ve odak mekanizması, Barka (1996)'dan alınmıştır; o çalışmada da Dewey (1976) ve McKenzie (1972) çalışmalarına referans verilmiştir.)

Tablo 9. 13 Mart 1992 Erzincan depremini kaydeden kuvvetli yer hareketi istasyonlarına ait bilgiler

İstasyon	Kod	Enlem	Boylam	V _{S30} (m/s)	R _{EPI}	MYİ	MYH
		(°K)	(°D)		(km)	(cm/s ²)	(cm/s)
Erzincan-Merkez	ERC	39.752	39.487	314	12.83	478.77	108.43
Refahiye	REF	39.899	38.768	433	76.45	80.61	4.27
Tercan	TER	39.777	40.391	320	65.62	40.92	4.77

Bu iş paketinin bu aşamasında temel amaç 13 Mart 1992 Erzincan depreminin simülasyonu ile bölgedeki kaynak, yayılım ve saha modellerini doğrulamaktır. Doğrulan bu model parametreleri bir sonraki kısımda deterministik senaryolar için yer hareketi dağılım haritaları oluşturmak için kullanılacaktır. Sırasıyla Tablo 10’da simülasyonlarda kullanılan kaynak ile yayılım parametreleri ve aldıkları değerler sunulmuştur. Bu parametreler, gözlemlenen kayıtlar ile simüle edilen kayıtlar arasındaki (Denklem 17’de tanımlanmış olan) hatayı en aza indiren değerlerdir.

$$E(f) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \log \left(\frac{A_i(f)_{\text{gözlem}}}{A_i(f)_{\text{sentetik}}} \right) \quad (17)$$

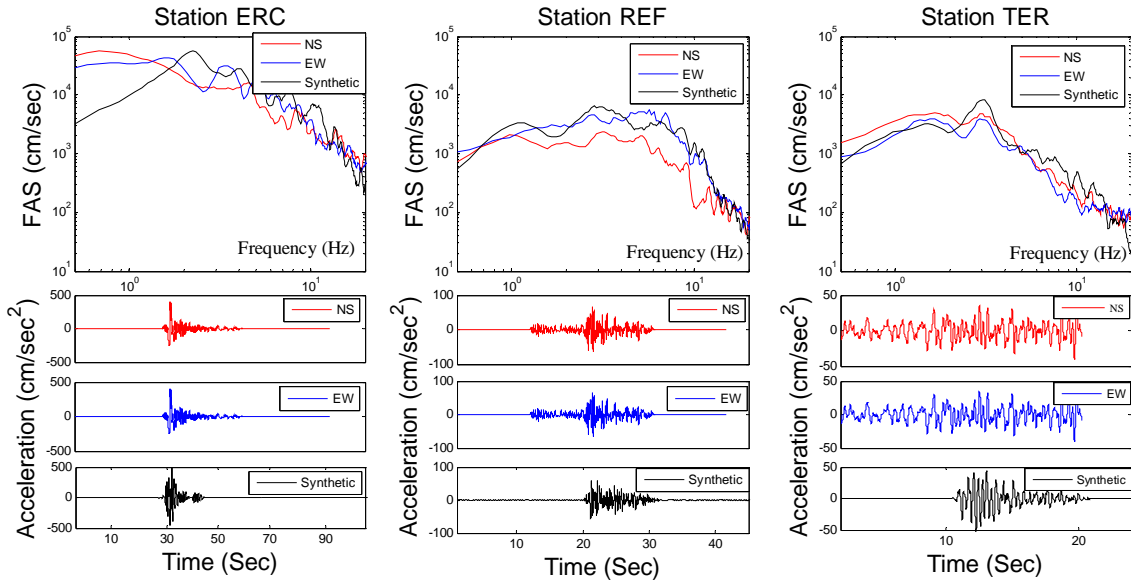
Bu denklemde $A_i(f)_{\text{gözlem}}$ ve $A_i(f)_{\text{sentetik}}$ sırasıyla gerçek ve sentetik kayıtlara ait ivme spektrumlarını, f ilgili frekansı ve n toplam frekans sayısını belirtmektedir. Bu hata fonksiyonunu minimize eden parametreler ile simülasyonlar yapılmış ve 13 Mart 1992 depremi için Şekil 49’da sunulan sentetik yer hareketleri elde edilmiştir. Bu raporda yer kısıtından ötürü uzunca bir özeti verilen bu uygulamanın tüm detayları için bu proje kapsamında yayınlanmış olan Askan et al. (2013) referansına bakılabilir.

Şekil 49’da gözlemlendiği gibi, sentetik kayıtlar, gözlemlere hem Fourier büyüklük spektrumu hem de ivme-zaman kayıtları açısından son derece yakın bulunmuştur. ERC istasyonunda düşük frekanslarda gözlemlenen farkın nedeni ise modelin o istasyonda çok düşük frekanslarda çok iyi çalışmamasıdır. Mühendislik yapılarını ilgilendiren frekanslarda ise bütün istasyonlarda etkili sonuçlar bulunmuştur. Bu sonuç, proje çıktıları açısından son derece önemlidir çünkü Kısım 2.5’te sunulan kırılma eğrilerinin çıkarılmasında stokastik yöntemle bulunan yer hareketi setleri kullanılmıştır.

Son olarak, Tablo 10’da sunulmuş olan Erzincan 1992 depremi parametrelerini, anaşoku kaydeden istasyonlarda doğruladıktan sonra aynı yöntemle il merkezinde istasyon bulunmayan (aralarında Kuzey-Güney ve Doğu-Batı yönlerinde yaklaşık olarak 1’er km mesafe bulunan) 123 düğüm noktasında yer hareketi kayıtları hesaplanmıştır. Simülasyon programına düğüm noktaları için yerel zemin özellikleri girilirken, herhangi bir düğüm noktasına en yakın olan sahadan (Kısım 2.2’de sunulmuş olan) zemin profili alınmış ve zemin büyütme bu profillere göre detaylı olarak hesaplanmıştır.

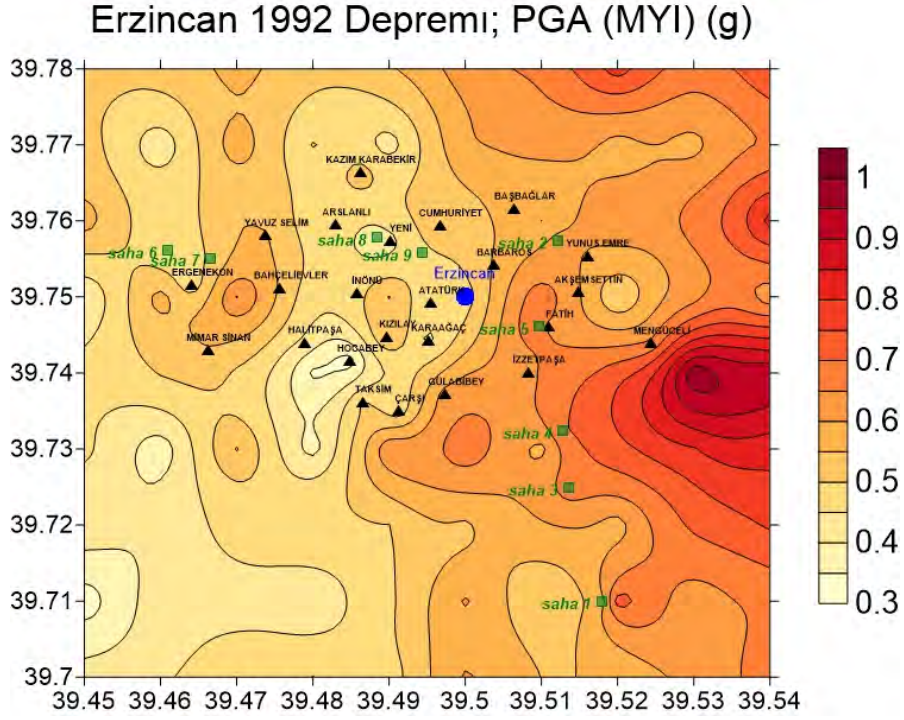
Tablo 10. 13 Mart 1992 Erzincan depremi için kullanılan kaynak ve yayılım parametreleri

Model Parametresi	Aldığı Değer
Odak yeri	39°42.3 K, 39°35.2 D
Odak derinliği	9 km
Fayın yüzeye olan mesafesi	2 km
Fay geometrisi	Doğrultu: 125°, Eğim: 90°
Fay boyutları	25 km x 9 km
Kabuktaki S-dalga hızı	3700 m/s
Yırtılma hızı	3000 m/s
Kabuk yoğunluğu	2800 kg/m ³
Stres düşümü	80 bars
Fay yırtılma yüzdesi	50 %
Kalite faktörü	$Q = 122 f^{0.68}$
Geometrik yayılım faktörü	$R^{-1.1}$, $R \leq 25 \text{ km}$ $R^{-0.5}$, $R > 25 \text{ km}$
Süre modeli	$T = T_0 + 0.05 R$
Kappa faktörü	Bölgesel model
Zemin büyütme faktörleri	($\sigma = 0.066$) Aşama 2.2'den gelen yerel zemin modelleri

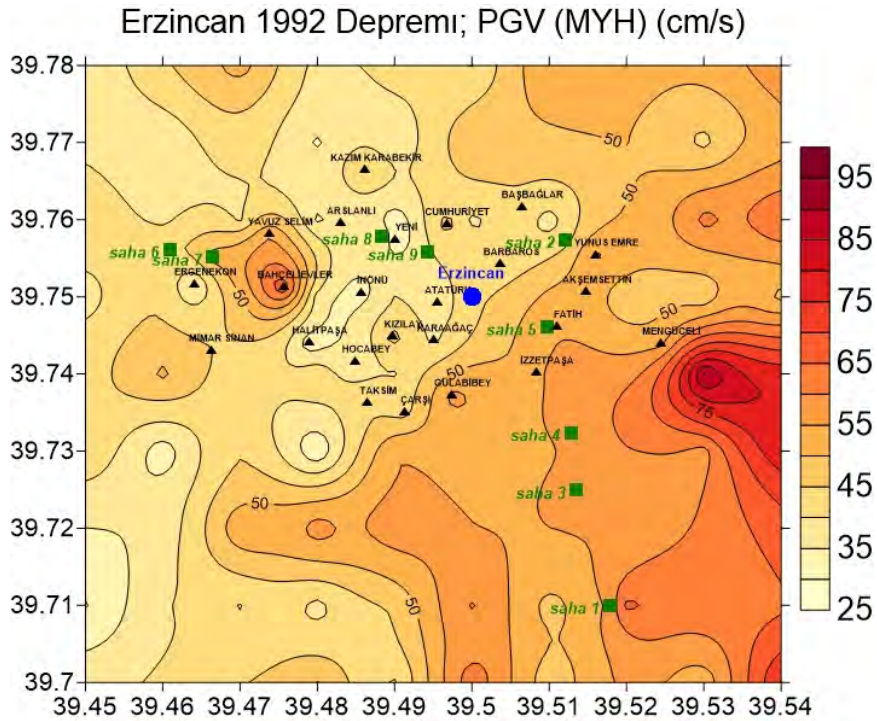


Şekil 49. 13 Mart 1992 Erzincan depremi gerçek ivme kayıtlarının sentetikler ile ivme-zaman kaydı ve Fourier büyüklük spektrumu cinsinden karşılaştırılması (Kırmızı eğri KuzeyGüney, mavi eğri Doğu-Batı bileşenlerini, siyah eğri ise sentetik kayıtları göstermektedir)

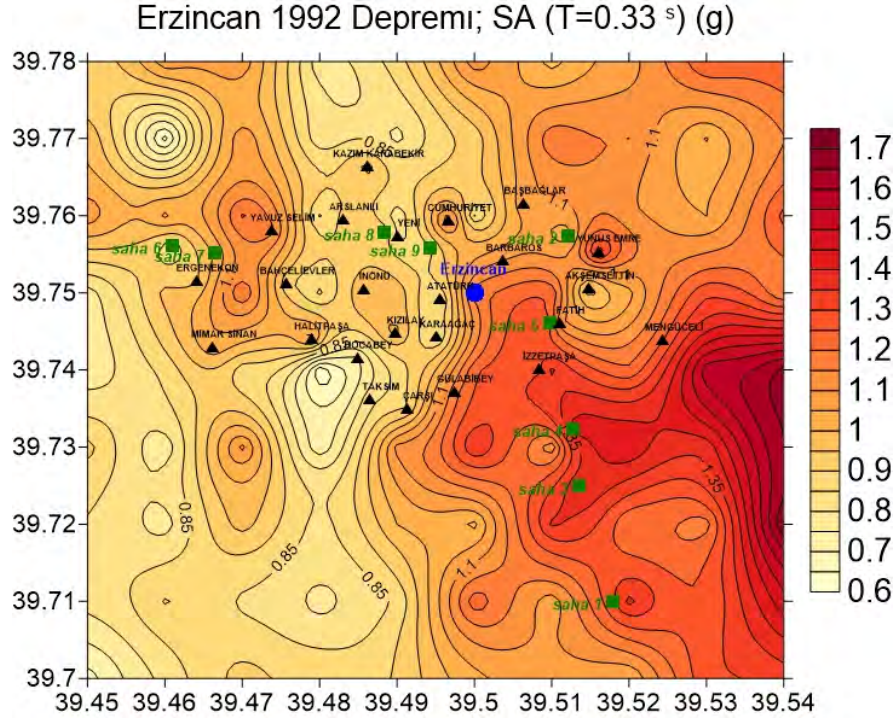
Bu raporda yer kısıtlamasından ötürü 123 noktadaki tüm dalga formlarını sunmak mümkün olmadığı için seçilen yer hareketi parametrelerinin dağılım haritaları sunulacaktır. Şekil 50-54, 1992 depremi sırasında ortaya çıkmış olması muhtemel yer hareketlerini sırasıyla maksimum yer ivmesi, maksimum yer hızı, 0.33, 1 ve 2 saniyedeki spektral ivmeler cinsinden sunmaktadır. Bu şekillerden de görüleceği gibi il merkezi faya çok yakın mesafede olduğu ve yumuşak zeminler üzerinde bulunduğu için il içerisinde bazı yerleşim merkezleri çok yüksek seviyeli yer hareketlerine maruz kalmıştır. Bu analiz sonuçları ve gözlemler, 1992 Erzincan depreminin büyüklüğü 7.0'nin altında bir deprem olmasına rağmen şehir merkezinde neden çok yoğun hasara ve çok sayıda can kaybına sebep olduğunu da açıklamaktadır.



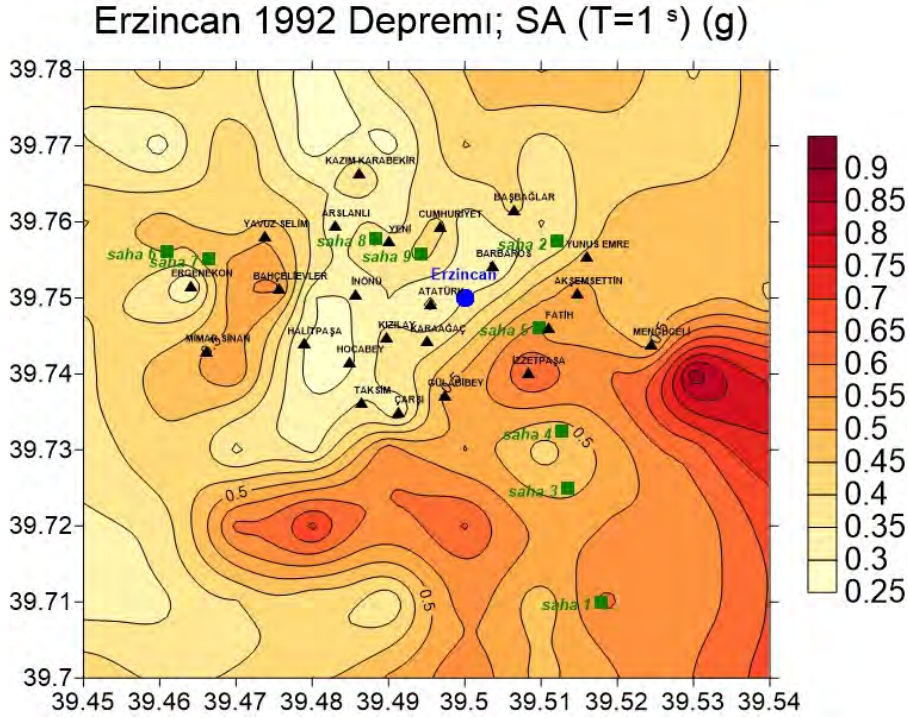
Şekil 50. Simülasyon sonuçlarına göre Erzincan 1992 depremi sırasında il merkezinde gözlemlenmiş olması muhtemel maksimum yer ivmesi dağılımı



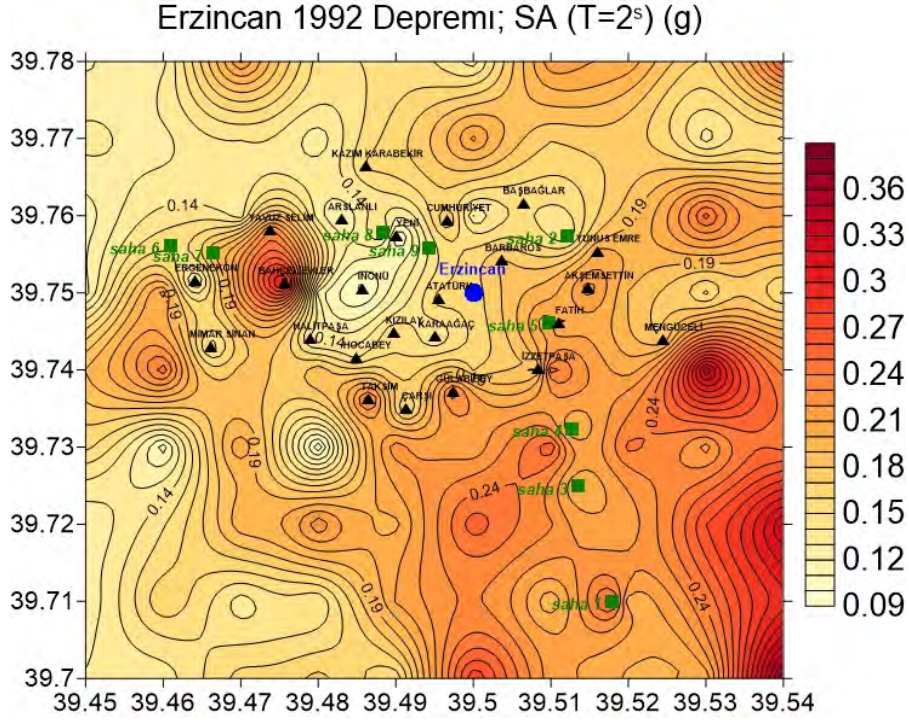
Şekil 51. Simülasyon sonuçlarına göre Erzincan 1992 depremi sırasında il merkezinde gözlemlenmiş olması muhtemel maksimum yer hızı dağılımı



Şekil 52. Simülasyon sonuçlarına göre Erzincan 1992 depremi sırasında il merkezinde gözlemlenmiş olması muhtemel spektral ivme (T=0.33 san.) dağılımı



Şekil 53. Simülasyon sonuçlarına göre Erzincan 1992 depremi sırasında il merkezinde gözlemlenmiş olması muhtemel spektral ivme (T=1 san.) dağılımı



Şekil 54. Simülasyon sonuçlarına göre Erzincan 1992 depremi sırasında il merkezinde gözlemlenmiş olması muhtemel spektral ivme (T=2 san.) dağılımı

2.4.2 Aşama 4.2: Erzincan bölgesi için çeşitli senaryo depremlerin üretilmesi ve bu depremlerin yer hareketi dağılım haritalarının hazırlanması

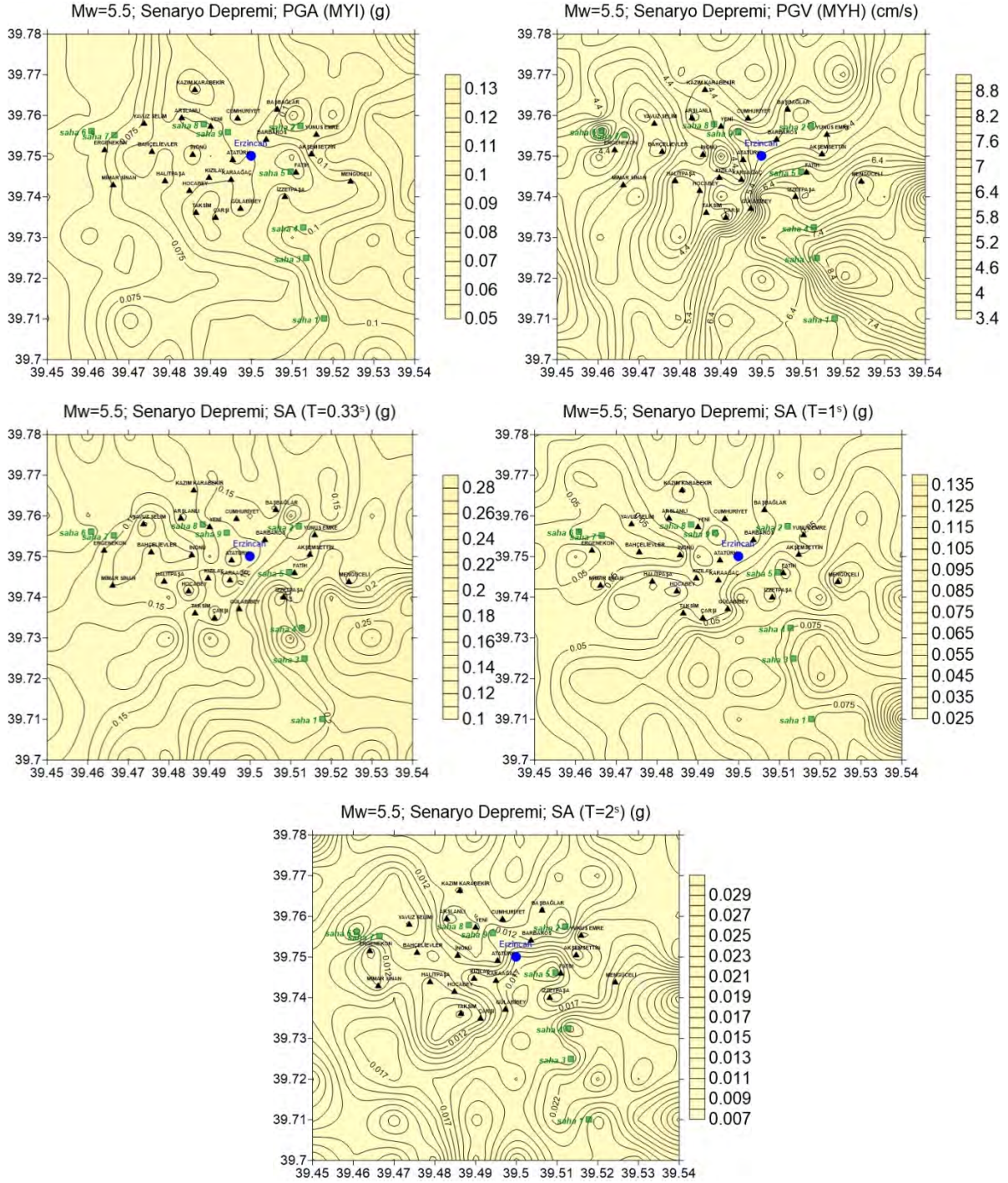
Sismik olarak tehlikesi yüksek olan bir bölgede yapılması gerekli çalışmalardan bir tanesi de potansiyel depremlerde açığa çıkacak yer hareketi kayıtlarının tüm dalga formunu (ivme-zaman kaydını) elde etmektir. Bu amaçla, çoğunlukla incelenen bölgeye yakın mesafedeki belirli bir aktif fay üzerinde senaryo depremler modellenerek sonuçlar irdelenir. Bu ve benzeri çalışmalar, şehirleşmiş alanlarda ortaya çıkması muhtemel yer hareketlerini, dolayısıyla da bölgedeki yapıların ömürleri boyunca maruz kalabilecekleri dinamik kuvvetleri belirlemede kullanılabilir.

Bu proje kapsamında da bu amaçla Şekil 48’de gösterilmiş olan fayda senaryo depremler oluşturulmuştur. Erzincan il merkezi için kritik mesafede ve sismik aktivite açısından belirgin olan bu fay üzerinde Şekil 48’de yeri gösterilmiş olan Erzincan 1992 dışmerkezi sabit tutularak farklı deprem büyüklükleri için simülasyonlar yapılmış ve yine bir önceki kısımda sözü edilen 123 düğüm noktasında yer ivmesi cinsinden tüm dalga formları elde edilmiştir. Benzer biçimde bu dalga formlarından bir yer hareketi veritabanı oluşturulmuştur. Rapordaki yer kısıtından ötürü, incelenen her bir deprem büyüklüğü için 123 tane ivme-zaman grafiği sunmak yerine, bu aşamada başlıkta belirtildiği gibi yer hareketi parametrelerinin dağılım haritaları sunulacaktır. Şekil 55-58, büyüklükleri Mw=5.5, Mw=6.0, Mw=7.0 ve Mw=7.5 olan potansiyel depremler sırasında ortaya çıkabilecek yer hareketlerinin Erzincan il merkezindeki dağılımlarını ifade etmektedir. Büyüklüğü Mw=6.5 olan senaryo depremi için yapılan hesaplar sunulmamıştır çünkü bu deprem Şekil 50-54’te sunulan 1992 depremi (Mw=6.6) dağılım haritalarına çok yakın sonuçlar vermiştir. Tüm bu hesaplar sırasında her bir düğüm noktasındaki yerel zemin koşulları, tıpkı 1992 depremi simülasyonunda olduğu gibi en yakın sahadan

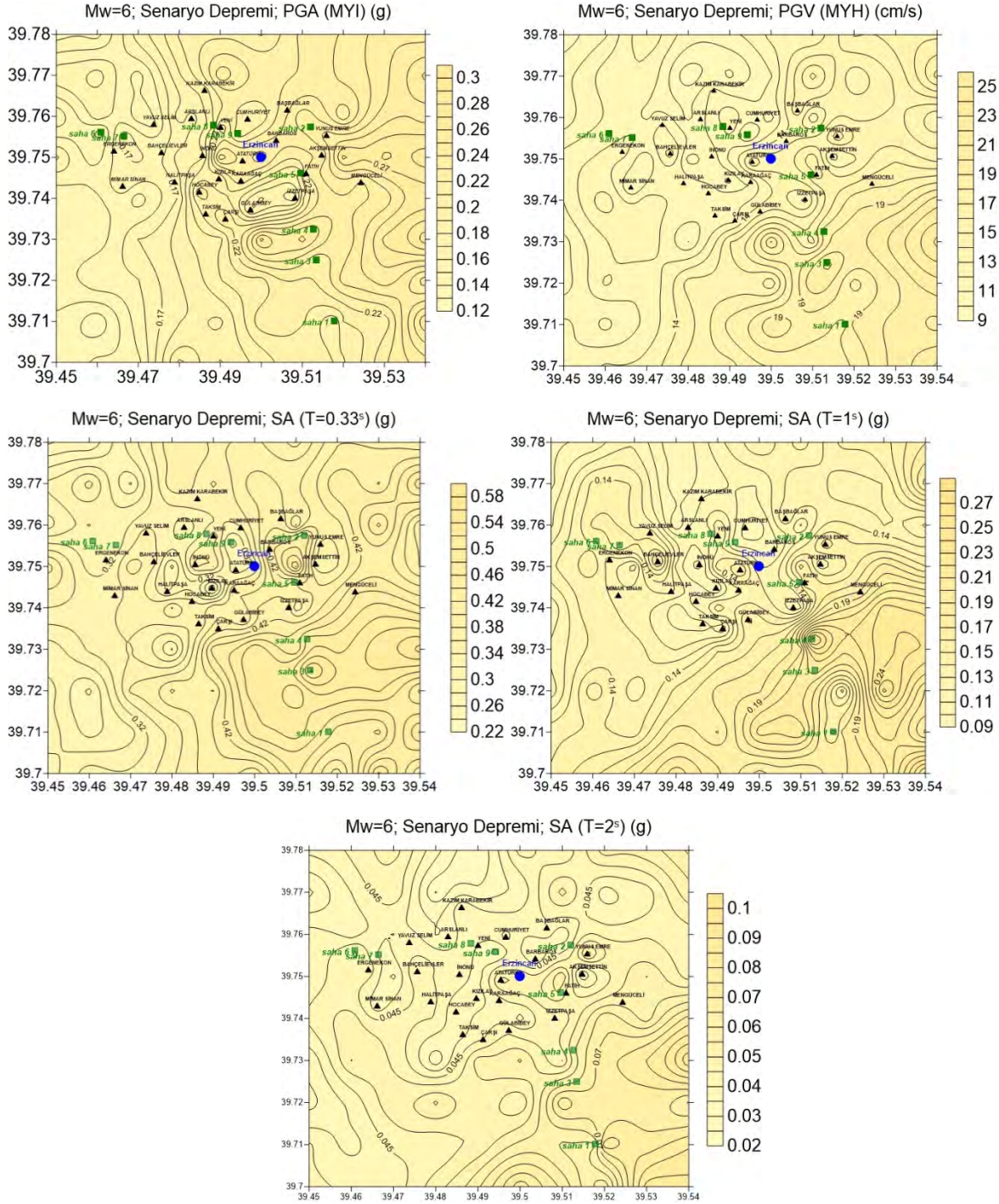
alınmıştır. Şekil 57-58’de gözlemlendiği gibi Erzincan il merkezinin, (temel olarak kuzeyde fay hattına çok yakın olduğu için) $M_w=7.0$ ve üzeri olası depremlerde çok yüksek seviyelerde yer hareketlerine maruz kalacağı gözlemlenmiştir. $M_w=7.0$ ve 7.5 senaryo depremlerinde bazı yerleşim merkezlerinde $1g$ ’nin üzerinde maksimum yer ivmesi gözlemlenirken, $M_w=7.5$ depremi için elde edilen düşük periyot spektral ivme değerlerinin bazı bölgelerde $2g$ ’nin üzerinde olduğu görülmektedir. Büyük yer hareketleri çoğunlukla kaynaktan kısa mesafe ve yumuşak zemin tabakaları ile açıklanmaktadır: Erzincan il merkezinde güneye doğru yüzeyde daha yumuşak zemin tabakaları yer aldığı için yer hareketleri büyümekte iken; kuzey mahallelerde ise faya yakın mesafede buldukları için büyük yer hareketleri oluşmaktadır.

Şu önemli noktayı belirtmekte fayda vardır: burada sunulan senaryo depremlere ait sonuçlarda (yöntemdeki varsayımlardan ötürü) bir belirsizlik (hata payı) mutlaka bulunmaktadır. Ek olarak, bu senaryo depremler Erzincan il merkezinde en büyük hasarı oluşturabilecek biçimde bir dışmerkez üzerinde (1992 depremi dışmerkezinde) oluşturulmuştur. Ancak gelecek depremlerin dışmerkez dağılımı ve büyüklükleri önceden kestirilemediği için en kötü durum senaryoları dikkatlice incelenmeli ve Erzincan il merkezinde olası gelecek depremlerde açığa çıkabilecek sismik hasarları azaltma çalışmaları başlatılmalıdır.

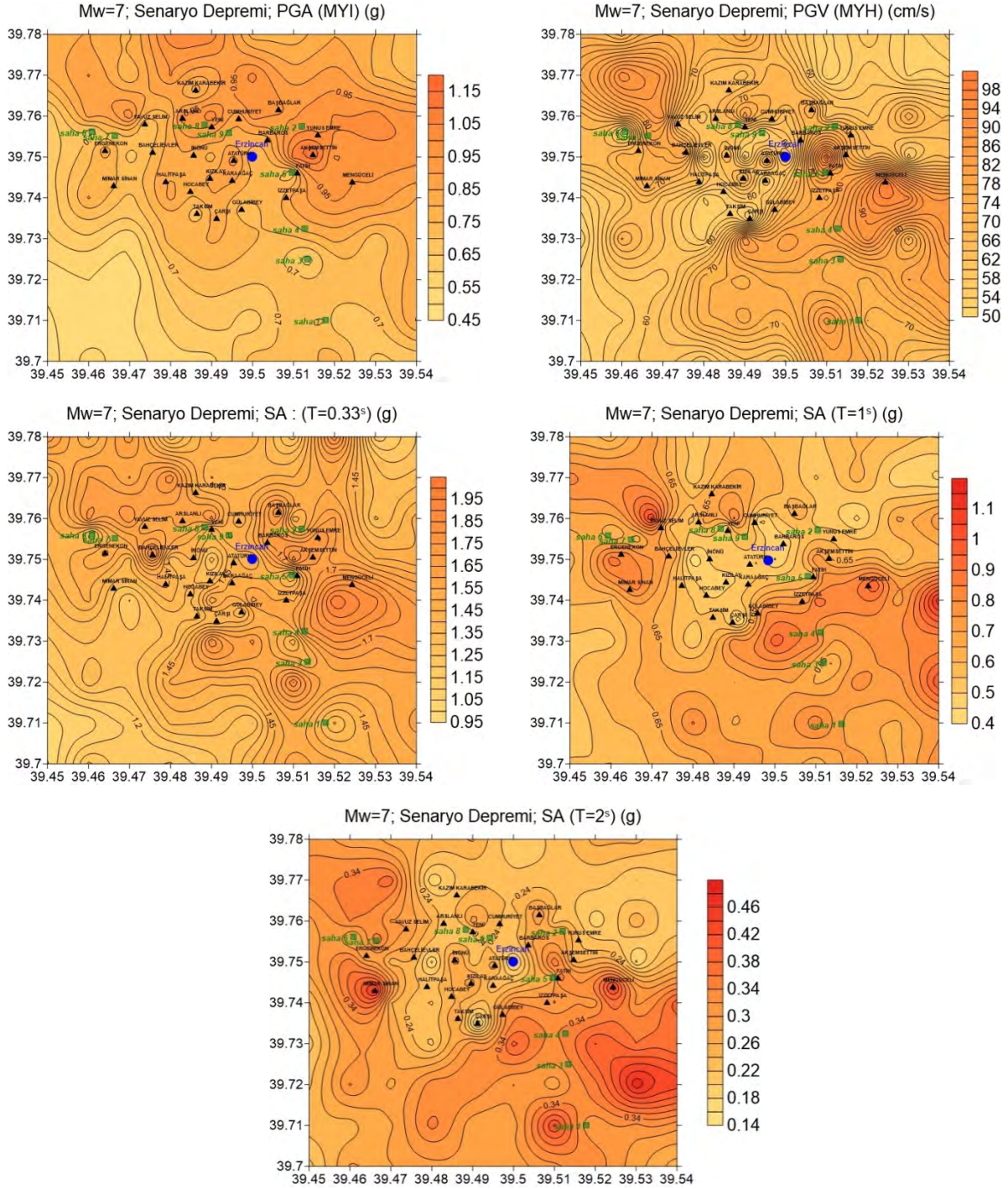
Burada sunulmuş olan bölgeye-özü yer hareketi setleri, Kısım 2.5’te detaylı olarak ifade edilmiş olan kırılma eğrisi hesaplarında kullanılmıştır.



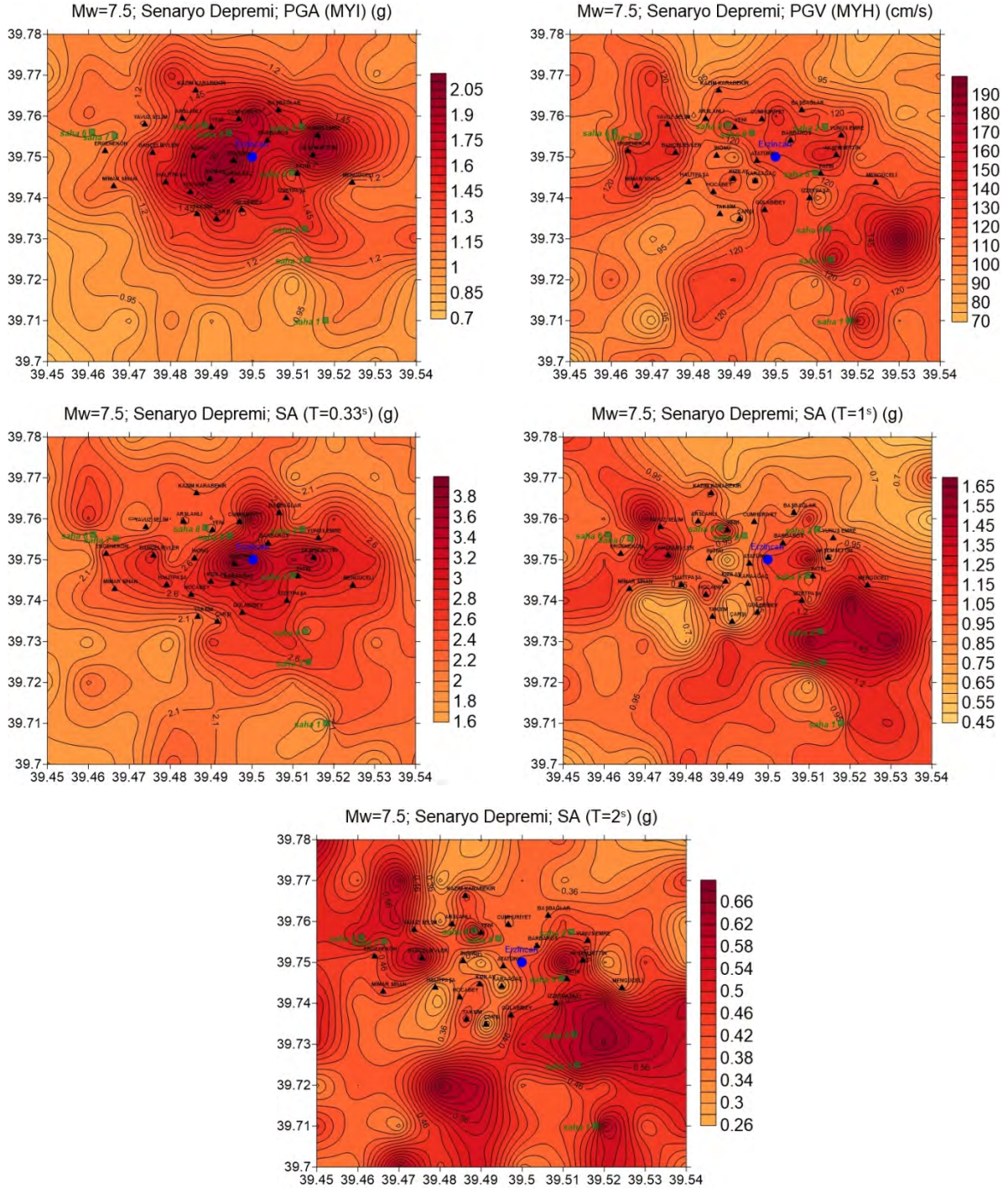
Şekil 55. Mw=5.5 senaryo depremi simülasyon sonuçlarına göre Erzincan il merkezinde yer hareketi dağılımları (sırasıyla maksimum yer ivmesi, maksimum yer hızı, 0.33 san., 1 san. ve 2 saniyedeki spektral ivme dağılımları)



Şekil 56. Mw=6.0 senaryo depremi simülasyon sonuçlarına göre Erzurum il merkezinde yer hareketi dağılımları (sırasıyla maksimum yer ivmesi, maksimum yer hızı, 0.33 san., 1 san. ve 2 saniyedeki spektral ivme dağılımları)



Şekil 57. Mw=7.0 senaryo depremi simülasyon sonuçlarına göre Erzurum il merkezinde yer hareketi dağılımları (sırasıyla maksimum yer ivmesi, maksimum yer hızı, 0.33 san., 1 san. ve 2 saniyedeki spektral ivme dağılımları)

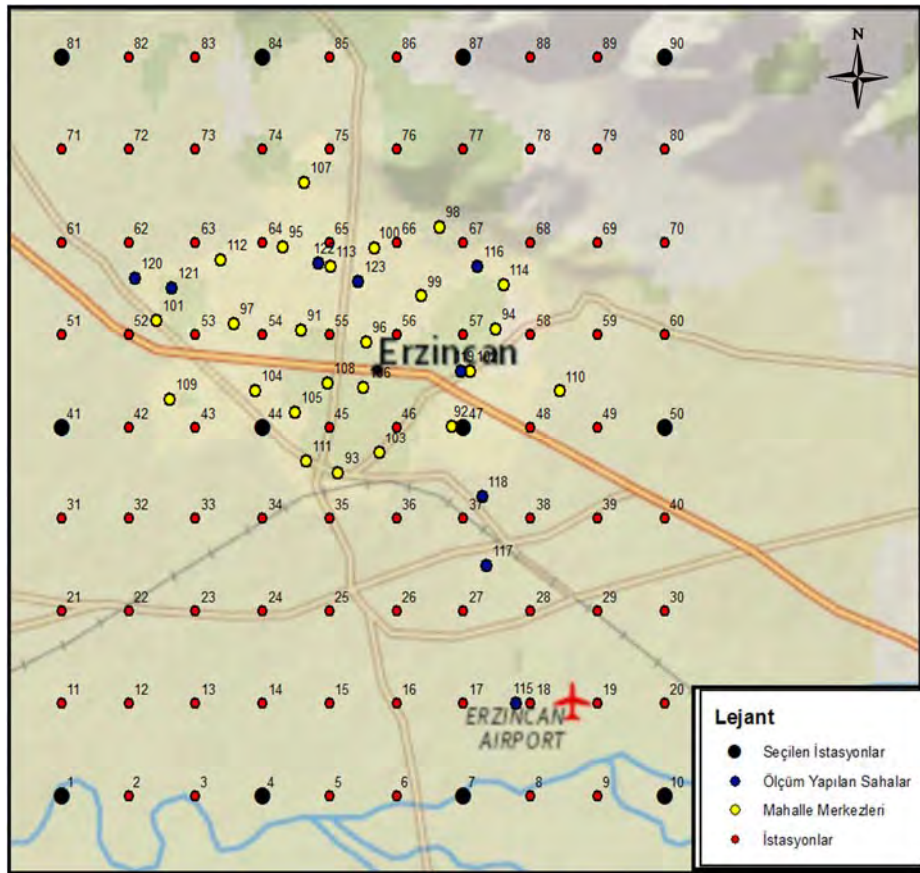


Şekil 58. Mw=7.5 senaryo depremi simülasyon sonuçlarına göre Erzincan il merkezinde yer hareketi dağılımları (sırasıyla maksimum yer ivmesi, maksimum yer hızı, 0.33 san., 1 san. ve 2 saniyedeki spektral ivme dağılımları)

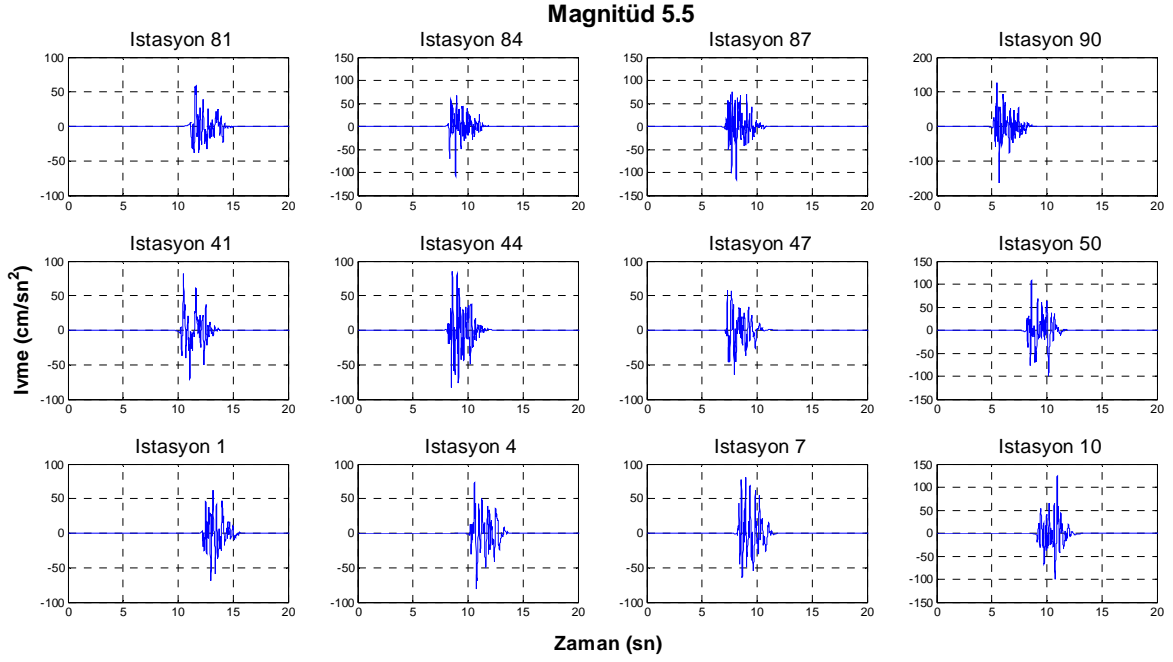
2.4.3 Aşama 4.3: Üretilen senaryo depremlerle elde edilecek yapay yer hareketleriyle bir veri tabanı oluşturulması

Bu iş paketinin amacı Erzincan bölgesinde üretilcek senaryo depremlerde açığa çıkan yer hareketlerinden sentetik bir veri tabanı oluşturmaktır. Bir önceki kısımda sunulduğu üzere,

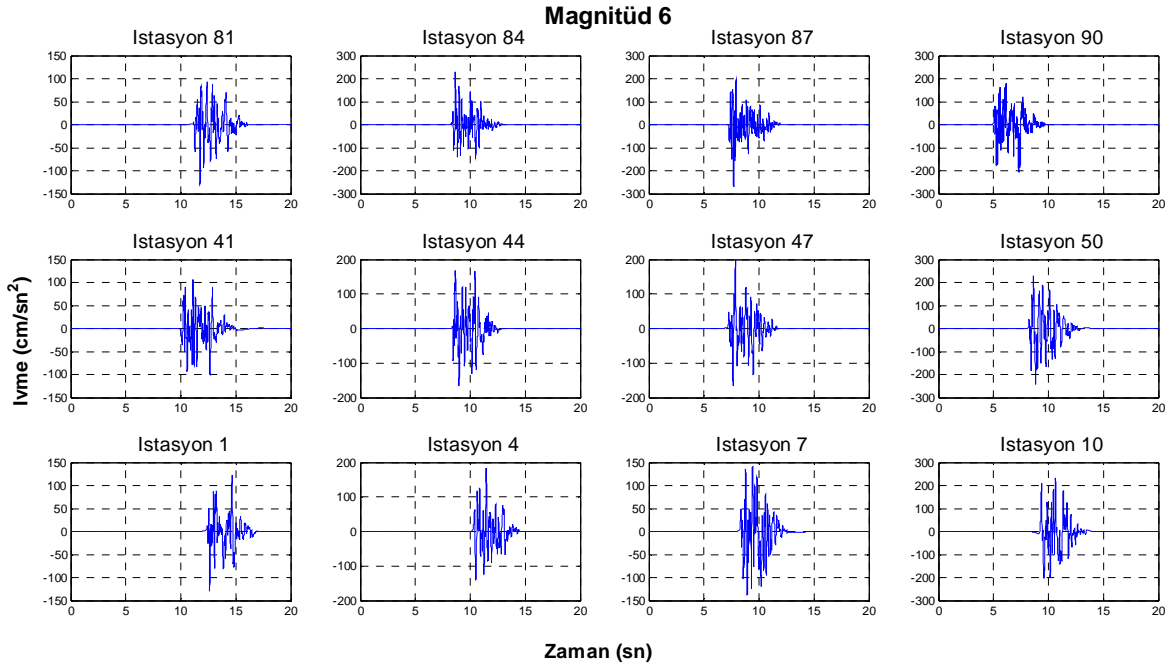
hazırlanan senaryo depremlerde sözü edilen 123 düğüm noktasında elde edilen yer hareketlerinden sentetik bir yer hareketi veritabanı oluşturulmuştur. Bu veritabanı, dünyanın sismik olarak en kritik bölgelerinden birisi olan ancak ülkemizin Batı bölgelerine kıyasla çok daha az sayıda ivme ölçer bulunan Erzincan’da ileride yapılacak ve deprem kaydı gerektirecek tüm çalışmalarda kullanılabilir. Rapordaki yer kısıtından ötürü, incelenen her bir deprem büyüklüğü için 123 tane ivme-zaman grafiği sunmak yerine Şekil 59’da gösterildiği gibi bölgede seçilen 12 düğüm noktasında (sanal istasyonda) ivme-zaman grafikleri sunulacaktır. Şekil 60-64’te sunulan bu ivme-zaman eğrilerine, taban-çizgisi düzeltmesi (baseline correction) yapılmış ve 0.25-25 Hz arasında geniş-bantlı Butterworth filtresi ile işlenmiştir. Burada yer kısıtından ötürü sadece bir kısmı sunulan yer hareketi veritabanı, proje tamamlandıktan sonra internet üzerinden araştırma ve eğitim amaçlı kullanıma açılacaktır.



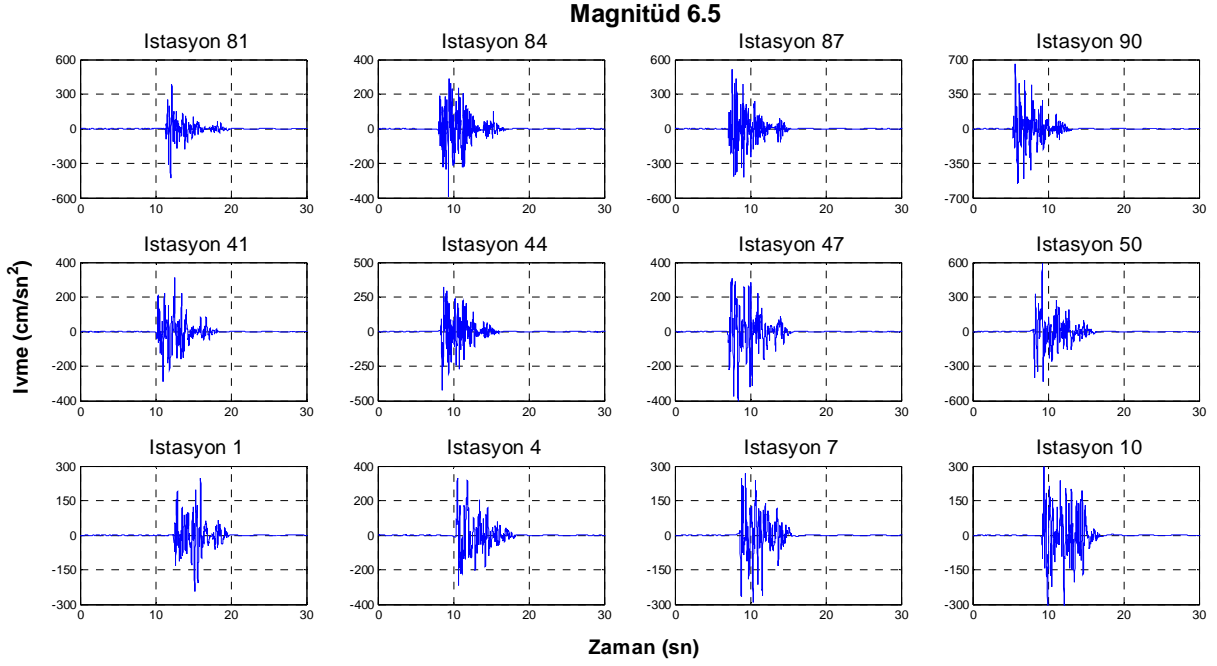
Şekil 59. Erzincan ilinde senaryo depremlerde sentetik kayıt elde etmek amacıyla istasyon olarak kullanılan 123 düğüm noktası, (buradaki yer kısıtından ötürü tüm ivme-zaman grafikleri gösterilemediği için) örnek ivme-zaman grafikleri için seçilen istasyonlar, bu istasyonların mahalle merkezleri ve ölçüm yapılan sahalara göre konumları



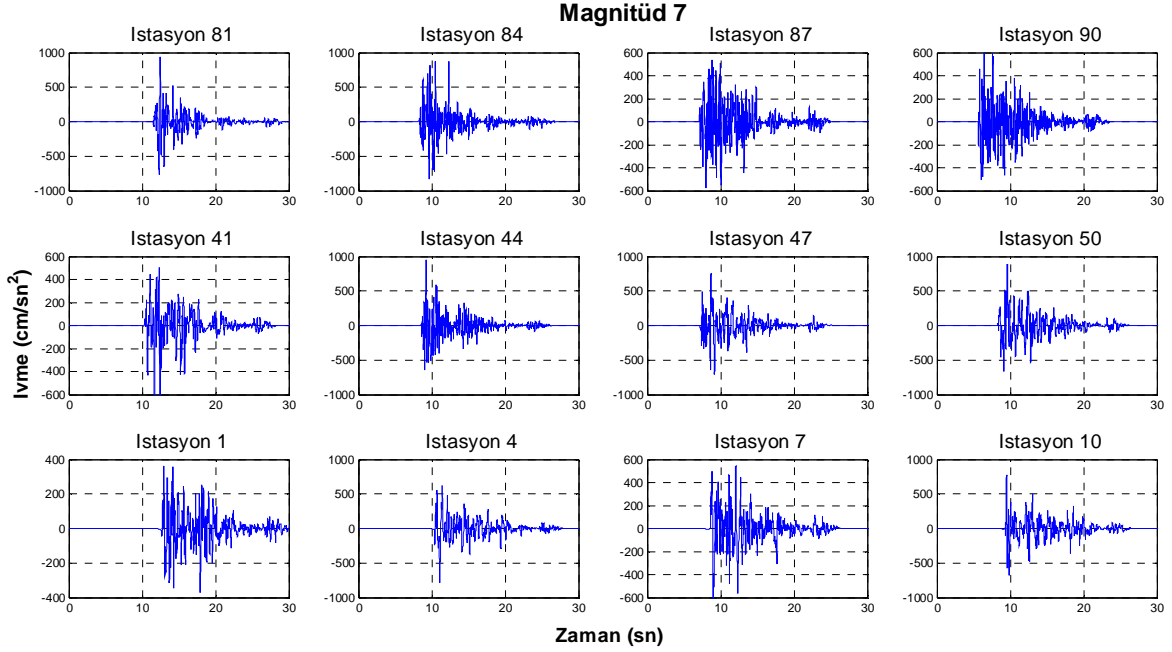
Şekil 60. Mw=5.5 senaryo depremi simülasyon sonuçlarına göre Erzincan il merkezinde seçilen 12 (yapay) istasyondaki ivme-zaman kayıtları (İstasyon konumları için Şekil 59'a bkz)



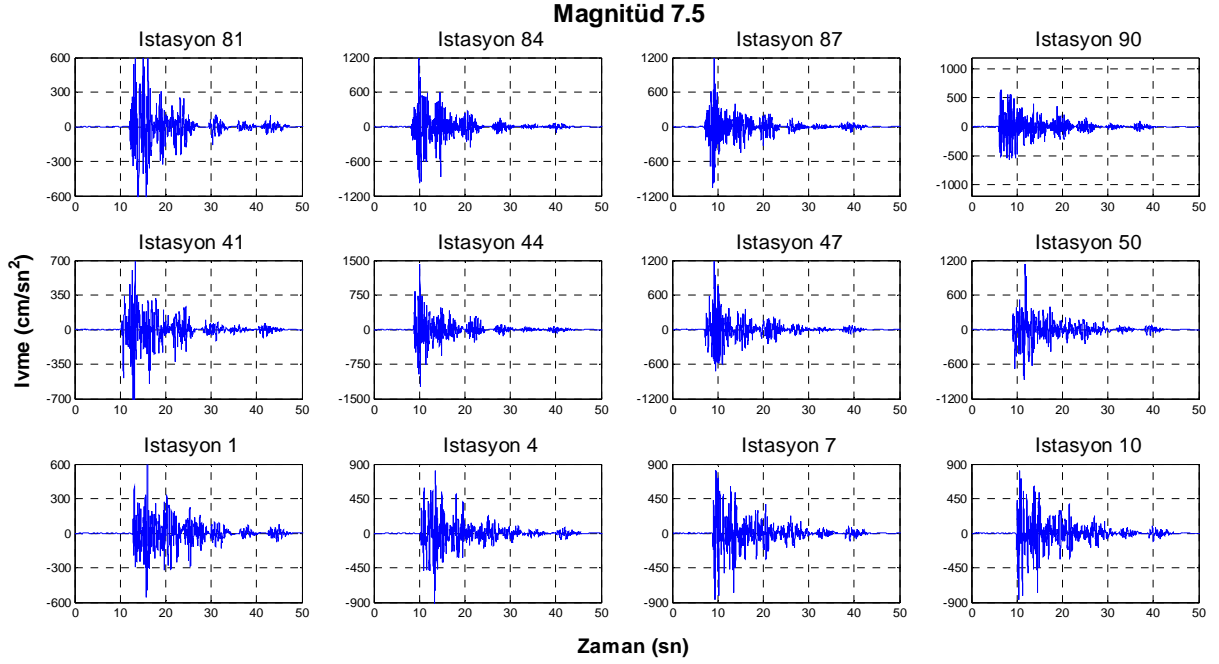
Şekil 61. Mw=6.0 senaryo depremi simülasyon sonuçlarına göre Erzincan il merkezinde seçilen 12 (yapay) istasyondaki ivme-zaman kayıtları (İstasyon konumları için Şekil 59'a bkz)



Şekil 62. Mw=6.5 senaryo depremi simülasyon sonuçlarına göre Erzincan il merkezinde seçilen 12 (yapay) istasyondaki ivme-zaman kayıtları (İstasyon konumları için Şekil 59'a bkz)



Şekil 63. Mw=7.0 senaryo depremi simülasyon sonuçlarına göre Erzincan il merkezinde seçilen 12 (yapay) istasyondaki ivme-zaman kayıtları (İstasyon konumları için Şekil 59'a bkz)



Şekil 64. Mw=7.5 senaryo depremi simülasyonu sonuçlarına göre Erzincan il merkezinde seçilen 12 (yapay) istasyondaki ivme-zaman kayıtları (İstasyon konumları için Şekil 59'a bkz)

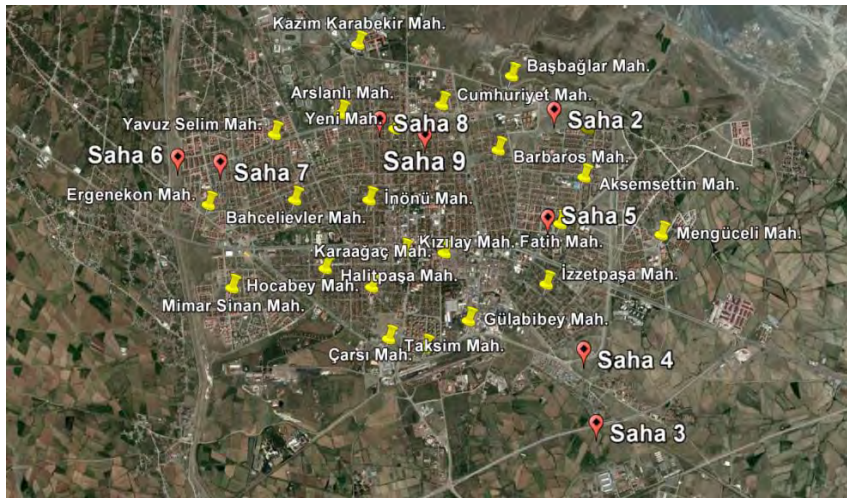
2.5 Aşama 5: Yapı Hasargörebilirliğinin belirlenmesi

Projenin 5. aşaması, Erzincan'daki konut tipi yapıların hasargörebilirliğinin belirlenmesini kapsamaktadır. Projenin bu iş paketindeki nihai amaç, mahalle bazında dağılımları elde edilen bu yapılara (zemin ve deprem simülasyonu iş paketlerinde hesaplanacak olan) etkimesi muhtemel yer hareketleri altında yapı hasar olasılıklarını hesaplamaktır. Söz konusu iş paketi dört farklı alt aşamada incelenmiştir. Öncelikle Erzincan'ın yapı stoğunun özellikleri ile ilgili bilgi toplanması ve bu bilginin bina sınıflandırması için kullanılması amacıyla bir saha çalışması yapılmıştır (Aşama 5.1). Daha sonra Aşama 5.1'de toplanmış olan verilere ve belirlenmiş olan bina alt-sınıflarına dayanarak betonarme ve yığma binaların analitik modelleri bölgesel inşaat tekniklerini ve yapı özelliklerini göz önüne alacak şekilde oluşturulmuştur (Aşama 5.2). Bu iş paketinin geriye kalan iki alt-aşamasında (Aşama 5.3 ve 5.4), Erzincan'daki betonarme ve yığma binalar sentetik yer hareketleri kullanılarak analiz edilmiş ve bu analizler sonucunda hasar potansiyeli eğrileri oluşturulmuştur. Tüm bu alt aşamalar ile ilgili detaylı bilgiler, aşağıda yer alan bölümlerde verilmektedir.

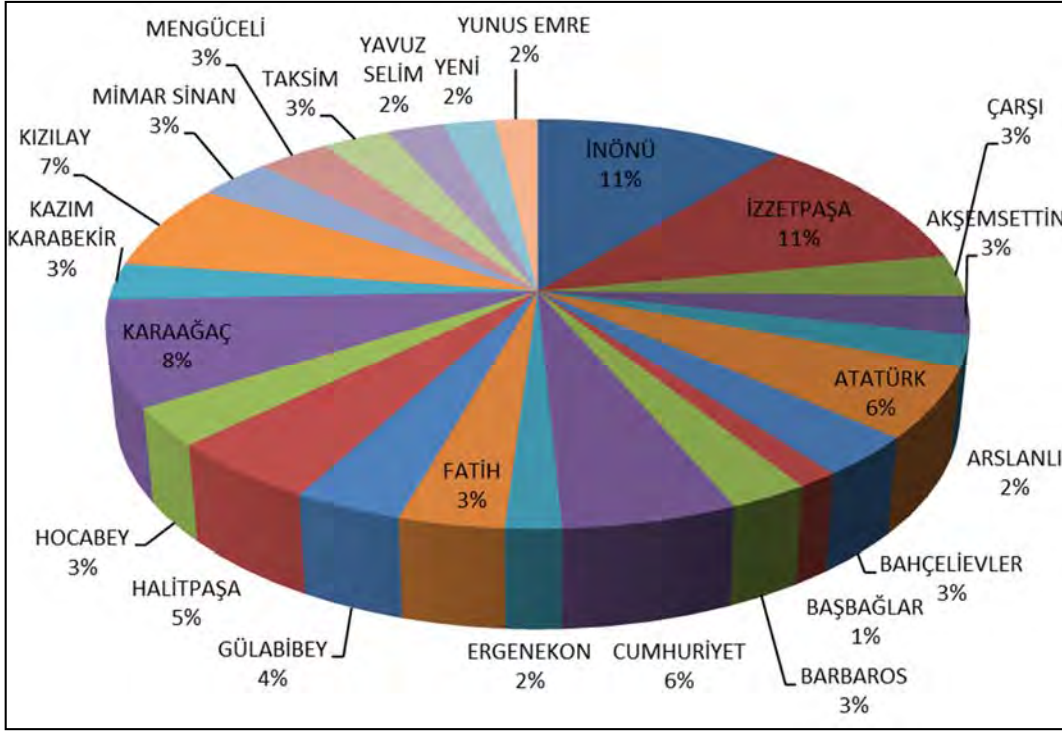
2.5.1. Aşama 5.1: Erzincan bölgesindeki yapılar hakkında bilgi toplanması ve binaların sınıflandırılması

Proje ekibi, bu aşamada öncelikle TÜİK verilerini derlemiş, Erzincan il merkezinde bulunan binaları, farklı yerleşim birimlerindeki yapı tipi, kullanım amacı, kat sayısı bilgilerine göre incelemiştir. Erzincan il merkezindeki yerleşim birimlerinin zemin çalışması yapılan sahalara göre konumu Şekil 65'te gösterilmektedir. TÜİK verilerini esas alarak, Erzincan il merkezindeki binaların mahalle bazında yüzde olarak dağılımı Şekil 66'da sunulmuştur. Bu veriler ışığında toplam bina sayısının %22'sinin İnönü ve İzzetpaşa mahallelerinde bulunduğu söylenebilir. Erzincan'daki binaların kat sayısına göre dağılımı ise Şekil 67'de yer almaktadır. Bu dağılım göz önüne alındığında, Erzincan il merkezindeki binaların yarısından fazlasının (%53) tek katlı yapılar olduğu ortaya çıkmaktadır. Elde edilen verilere göre geriye kalan yapıların da yaklaşık olarak yarısı 2 katlıdır. Bu durumda 1 veya 2 katlı binalar Erzincan'daki

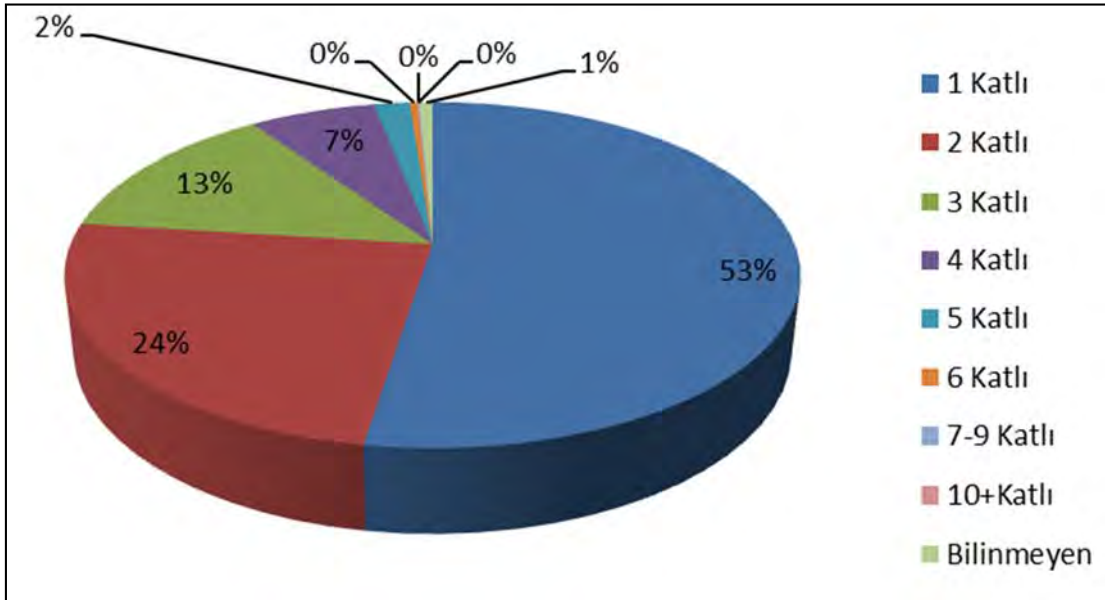
tüm yapı stoğunun %75'ini oluşturmaktadır. Diğer binalar ise 3 veya 4 katlıdır. Elde bulunan verilere göre il merkezinde 4 kattan fazla olarak inşa edilmiş bina sayısı oldukça azdır. Erzincan'da çok katlı binaların tercih edilmemiş olması yapıların deprem güvenliği açısından genel olarak olumludur. Mevcut deprem yönetmeliği (2007), özellikle yığma binalar için kat sayısına sınırlama getirmektedir. Erzincan gibi 1. derece deprem bölgesi olan yerleşim alanlarında yığma binalar için izin verilen en çok kat sayısı 2'dir. Mevcut veriler, Erzincan'da bulunan yığma yapılar açısından bu kuralın çok fazla ihmal edilmediğini göstermektedir. Betonarme yapıların kat sayısı ile ilgili olarak deprem yönetmeliğinde herhangi bir kısıtlama yoktur.



Şekil 65. Erzincan ili yerleşim birimlerinin zemin çalışması yapılan sahalara göre konumu; (a) harita, (b) uydu görüntüsü



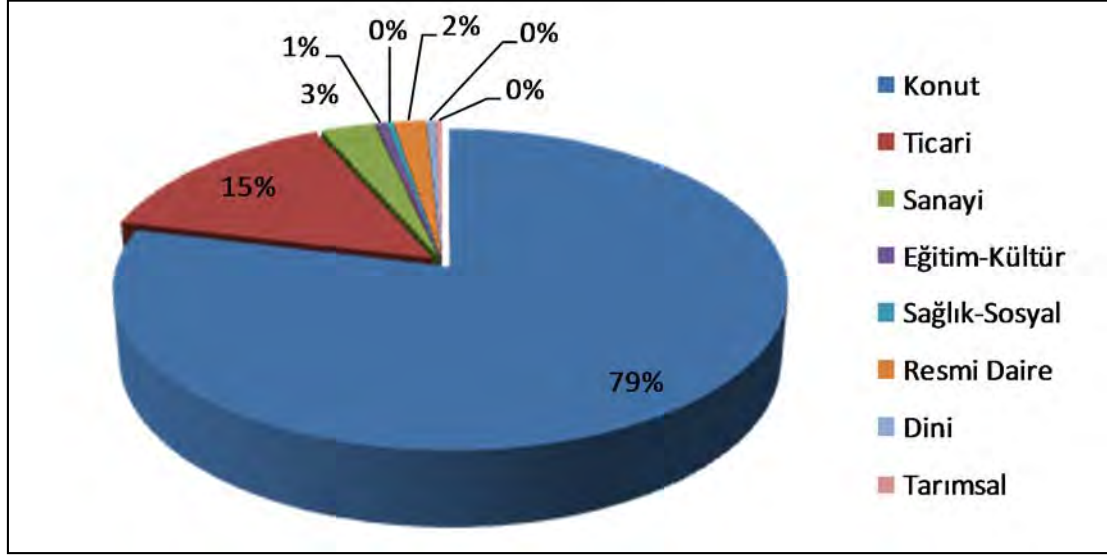
Şekil 66. TÜİK verilerine göre Erzincan'daki binaların yüzde bazında mahallere göre dağılımı



Şekil 67. TÜİK verilerine göre Erzincan'daki binaların kat sayısına göre dağılımı

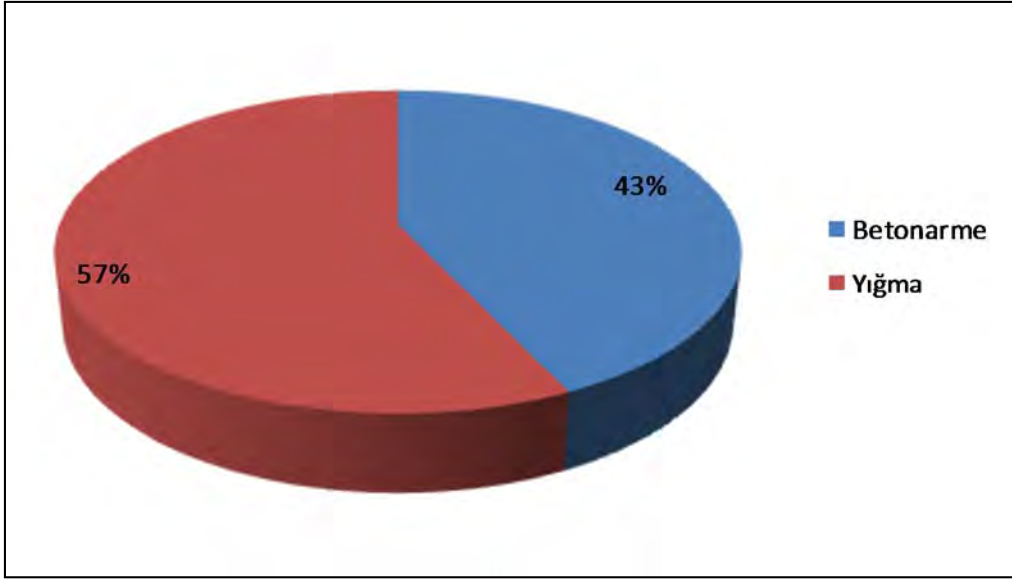
Erzincan'daki yapıların kullanım amacına göre dağılımı Şekil 68'de verilmektedir. Bu dağılım yapıların yaklaşık %80'inin konut amaçlı kullanıldığını göstermektedir. Bu proje kapsamında değerlendirilmiş olan binalar da bu kullanım türüne sahip yapılardır. Ticari amaçlı kullanılan

binalar ise toplam bina stoğunun %15'ini oluşturmakta ve genellikle şehrin merkezindeki mahallelerde (Kızılay, İnönü, Karaağaç) yoğunlaşmaktadır.



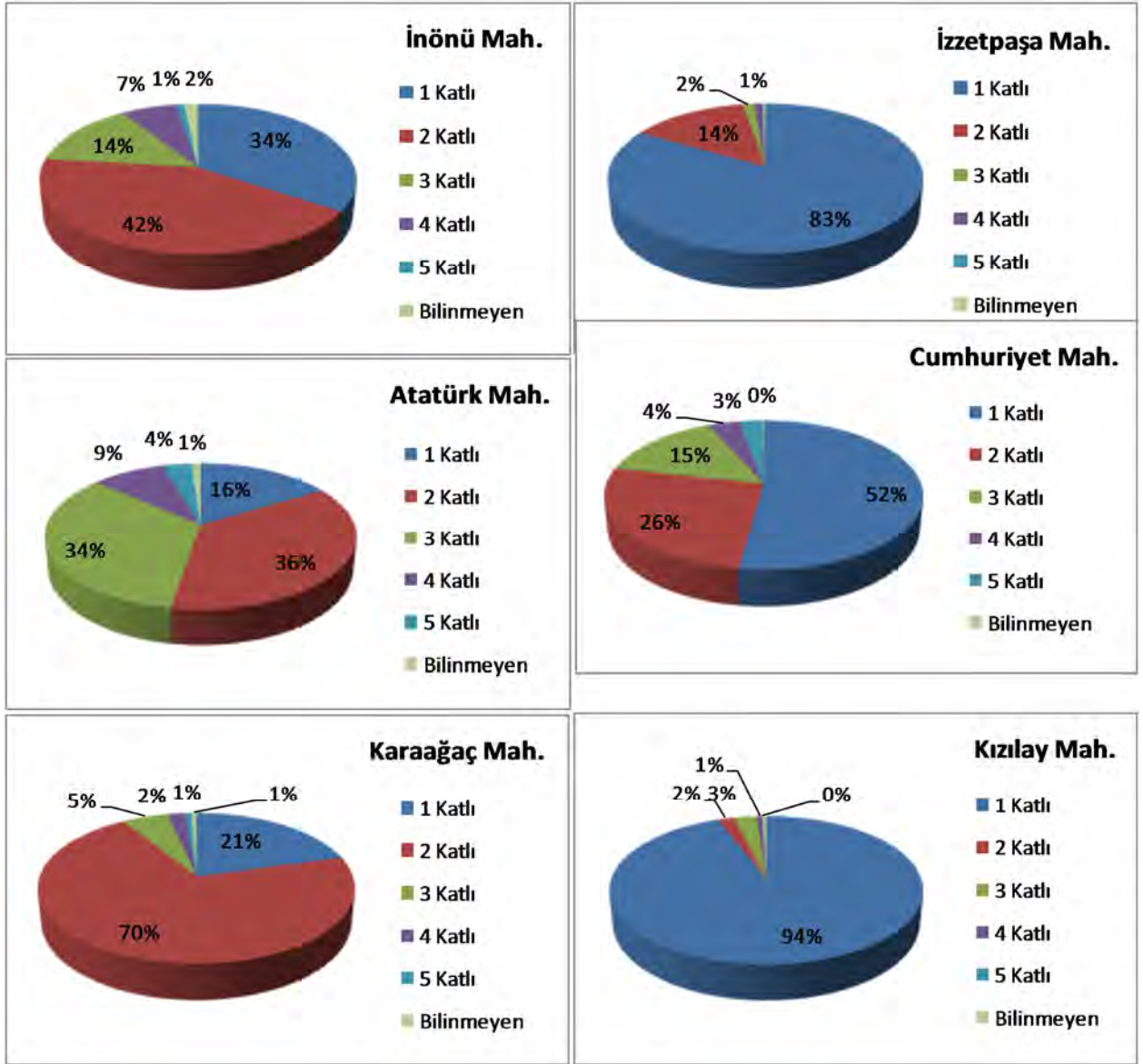
Şekil 68. TÜİK verilerine göre Erzincan'daki binaların kullanım amacına göre dağılımı

Son olarak TÜİK verilerine göre Erzincan'daki binaların yapı türüne göre dağılımı Şekil 69'da verilmektedir. Bu bilgiler ışığında Erzincan il merkezinde yığma yapı türünün oldukça yaygın olduğu (57%) görülmektedir. Günümüzde kentsel anlamda yığma yapı tasarımı ve inşaatının çok yaygın olmadığı düşünülürse, bu binaların çoğunun eski yapılar olduğu ortaya çıkmaktadır. Bu binalar özellikle Erzincan'ın eski yerleşim bölgelerinde ve mahallelerinde (İzzetpaşa, Halitpaşa, Hocabey) bulunmaktadır. Durum betonarme binalar açısından biraz daha farklıdır. Önemli bir bölümü 1992 Erzincan depremi sırasında ciddi hasar görmüş ve yıkılmış olan bu tür yapıların yerine nispeten yeni yerleşim bölgelerinde (Mimar Sinan, Ergenekon, Yavuz Selim, Arslanlı) modern ve deprem ilkeleri açısından daha güvenli betonarme yapılar inşaa edilmektedir. Ancak %43'lük pay içerisinde halen deprem açısından riskli çok sayıda betonarme bina olduğu da göz ardı edilmemelidir.

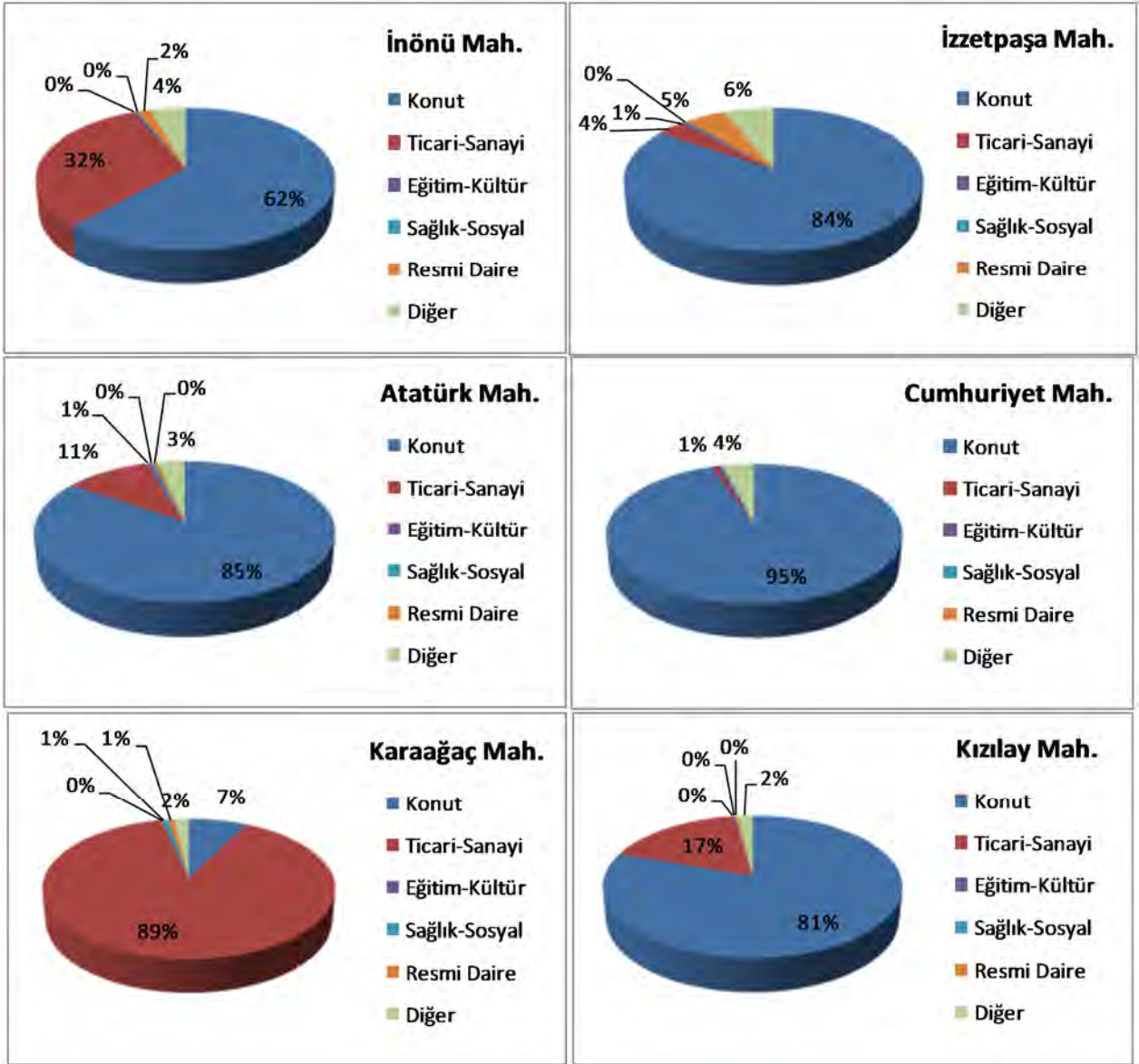


Şekil 69. TÜİK verilerine göre Erzincan'daki binaların yapı türüne göre dağılımı

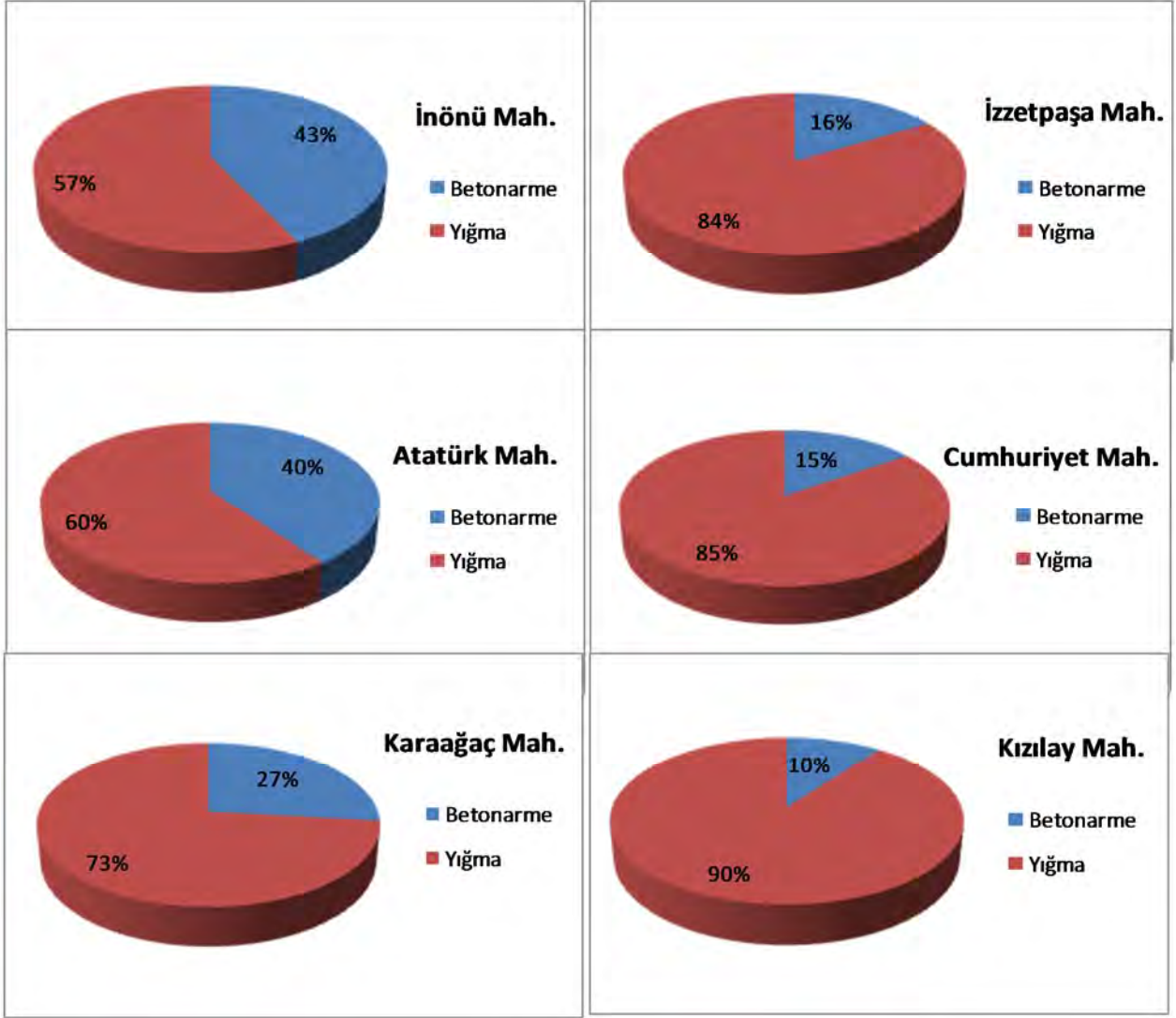
Erzincan ilinin bina sayısı açısından en büyük altı mahallesi İnönü, İzzetpaşa, Atatürk, Cumhuriyet, Karaağaç ve Kızılay mahalleleridir. Bu mahallelerdeki bina sayısı Erzincan'daki toplam bina sayısının %5'inden fazladır. Bu altı mahallenin kat sayısı, kullanım amacı ve yapı türü açısından dağılımları Şekil 70-72'de verilmiştir. Bu şekillerden görüldüğü üzere söz konusu parameteler açısından mahallelerin özellikleri farklıdır. Örneğin İzzetpaşa ve Kızılay mahallelerinde tek katlı yapıların yüzdesi oldukça fazla iken Karaağaç mahallesinde 2 katlı yapıların ağırlıkta olduğu görülmektedir. Atatürk mahallesinde ise tek katlı bina yüzdesi nispeten az iken 3 kat ve üzeri olan yapıların toplam binalara oranı %50'ye yaklaşmaktadır. Kullanım türüne bağlı olarak bina dağılımları incelendiğinde İzzetpaşa, Atatürk, Cumhuriyet ve Kızılay mahallelerinin çok büyük bir bölümünün konut amaçlı kullanılan binalardan meydana geldiği, Karaağaç mahallesinin ise tam tersi ağırlıklı olarak ticari-sanayi amaçlı kullanılan binalardan oluştuğu görülmektedir. İnönü mahallesinde daha dengeli (konut % 62, ticari-sanayi % 30) bir dağılım mevcuttur. Yapı türü açısından bir değerlendirme yapıldığında söz konusu tüm mahallelerde yığma bina yüzdesinin yüksek olduğu, ancak İnönü ve Atatürk mahallelerinde betonarme bina yüzdesinin nispeten belirgin olduğu görülmektedir.



Şekil 70. Erzinan'nın en büyük 6 mahallesindeki binaların kat sayısına göre dağılımı



Şekil 71. Erzincan'ın en büyük 6 mahallesindeki binaların kullanım amacına göre dağılımı



Şekil 72. Erzurum'un en büyük 6 mahallesindeki binaların yapı türüne göre dağılımı

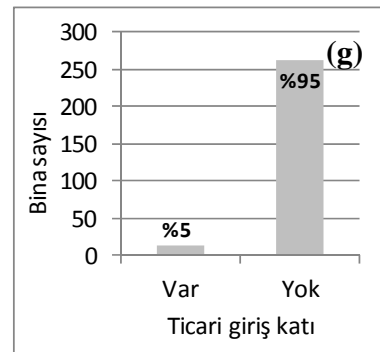
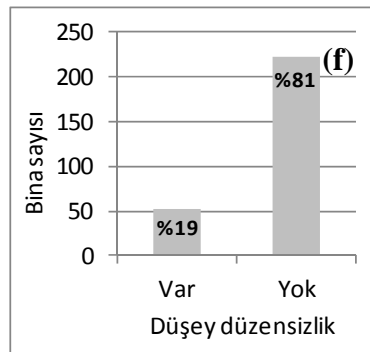
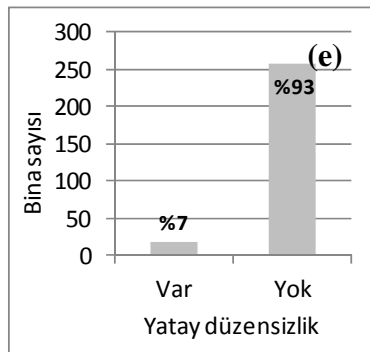
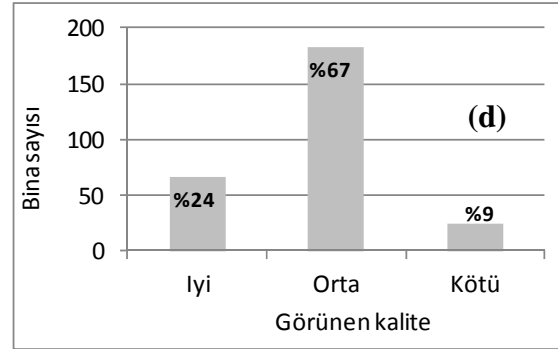
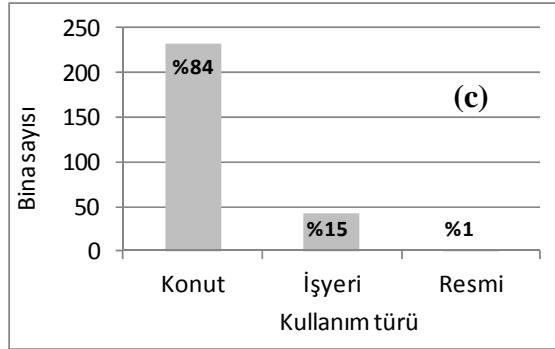
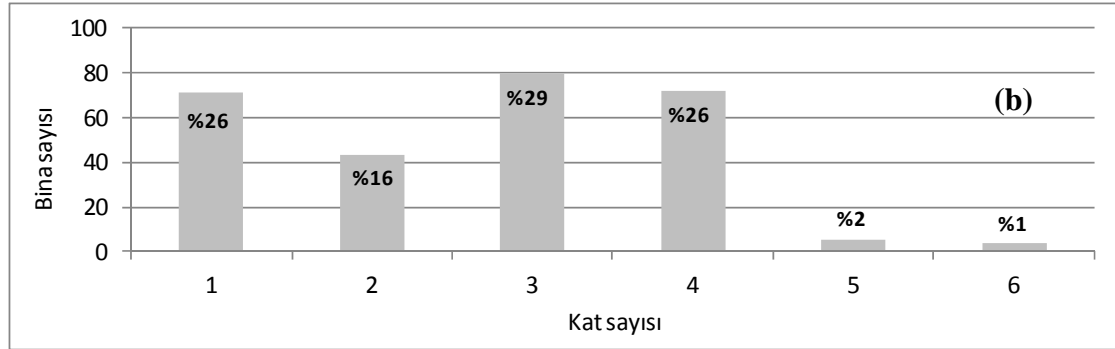
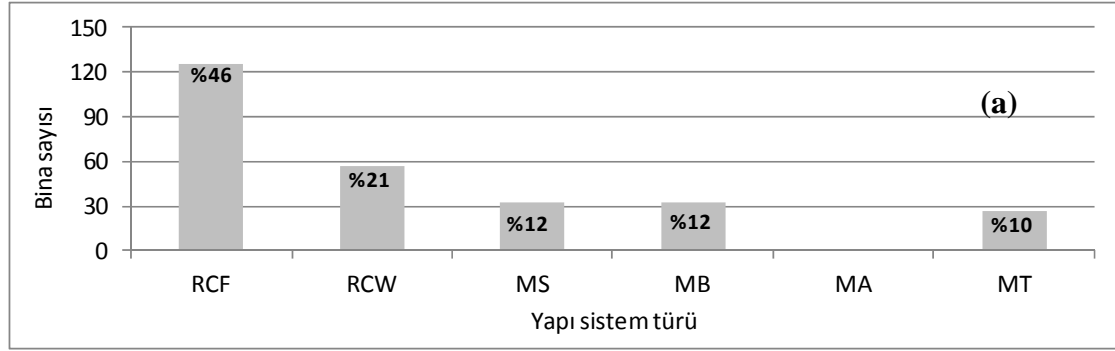
2013 yılının Mayıs ayı içerisinde Erzurum'da gerçekleştirilmiş olan saha çalışmaları esnasında değişik mahallelerde toplam 275 bina sokak taraması yöntemiyle incelenmiştir. Bu inceleme kapsamında söz konusu binalara ait basit yapısal parametreler elde edilmiştir. Böylece, hem Erzurum'daki binaların lokal özellikleri yerinde tespit edilmiş, hem de yukarıda bahsi geçen TÜİK verileri ile saha verilerinin karşılaştırılması yapılmıştır. Elde edilen yapısal parametreler aşağıda listelenmiştir:

- Binanın konumu
- Yapı sistem türü (betonarme çerçeve, betonarme perdeli, yığma taş, yığma briket, yığma kerpiç, yığma tuğla, ahşap çerçeve)

- Kat sayısı
- Bina kullanımı (konut, işyeri, resmi, eğitim, sağlık, karma)
- Yatayda düzensizlik (var/yok)
- Düşeyde düzensizlik (var/yok)
- Ticari giriş katı (var/yok)
- Binanın genel görünen kalitesi (iyi/orta/kötü)

Yukarıdaki parametreler cinsinden incelenen binaların istatistiksel dağılımı Şekil 73'te verilmektedir.

Yapı sistem türleri için kullanılmış olan RCF, RCW, MS, MB, MA ve MT kısaltmaları sırasıyla betonarme çerçeve, betonarme perdeli, yığma taş, yığma briket, yığma kerpiç ve yığma tuğla yapılar içindir. Şekil 73.a'da da görüldüğü üzere Erzincan'da çok sayıda betonarme çerçevesel bina mevcuttur. Bu yapıların önemli bir kısmı 1992 depremi öncesine aittir. Deprem sonrasında, özellikle 1997 deprem yönetmeliğinin yürürlüğe girmesiyle belli mahallelerde betonarme perde + çerçeve türü binaların inşa edilmiş olduğu gözlenmiştir (Şekil 74). Bunun yanısıra, yine deprem sonrası devlet tarafından inşa edilmiş olan ve betonarme perdeli yapı türüne giren deprem konutlarının da sayısı oldukça fazladır. Bu yapılar özellikle il merkezinin kuzey-batısındaki Yavuz Sultan Selim ve Ergenekon ile kuzey-doğusundaki Yunus Emre mahallesinde yoğunlaşmaktadır. Yığma yapılar da Erzincan il merkezindeki yapı stoğunun önemli bir yüzdesini oluşturmaktadır. Yığma malzemesi olarak briket, taş ve tuğla kullanıldığı görülmektedir (Şekil 75). İncelenen veritabanı içerisinde olmamasına rağmen Halitpaşa ve Hocabey mahallelerinde eski kerpiç yığma binaların mevcut olduğu bilinmektedir.



Şekil 73. Saha çalışmasında incelenmiş binaların basit yapısal parametreler cinsinden istatistiksel bilgileri; **a)** yapı sistem türü, **b)** kat sayısı, **c)** kullanım türü, **d)** görünen kalite, **e)** yatay düzensizlik, **f)** düşey düzensizlik, **g)** ticari giriş katı mevcudiyeti



Şekil 74. İncelenmiş olan binalardan örnekler; betonarme çerçeveli bina (solda), betonarme çerçeve + perdeli bina (sağda)

Kat sayısı açısından bakıldığında betonarme binaların genellikle 3-4 katlı olduğu gözlenmiştir. Arslanlı mahallesinde yer alan askeri lojmanlarda 5-6 katlı betonarme binalara rastlamak mümkündür (Şekil 76). Yığma yapıların ise genellikle 1-2 katlı inşa edilmiş olduğu görülmüştür. Özellikle eski mahallelerde (örneğin İzzetpaşa Mahallesi) ayırık nizam tek katlı yığma binalar çoğunluktadır. Ancak 2-3 katlı ve bitişik nizam yığma yapıların görüldüğü mahalleler de mevcuttur (örneğin Yeni Mahalle).



Şekil 75. İncelenmiş olan binalardan örnekler; tuğla yığma bina (solda), taş yığma bina (sağda)



Şekil 76. 5-6 katlı betonarme binalar olarak inşa edilmiş olan askeri lojmanlar

İncelenen binaların büyük bir bölümü sadece konut olarak kullanılmaktadır. Bu durum Erzincan'ın genel yapı stoğu özellikleri ile uyumludur. Bu binaların bazılarının giriş katlarının ticari amaçla kullanıldığı da gözlenmiştir (bakınız Şekil 74). İl merkezinin ortasında yer alan bölgede (Kızılay mahallesi) ise genellikle ticari amaçlı kullanılan binalar bulunmaktadır (Şekil 77). Biraz güneye doğru inildiğinde çoğunlukla sanayi tesislerinin yer aldığı bölgeler mevcuttur (Karaağaç mahallesi).



Şekil 77. Kızılay mahallesinde ticari amaçla kullanılmakta olan bir betonarme bina

Saha çalışmaları sırasında incelenen binalar görünen kalitesi açısından iyi, orta ve kötü şekilde sınıflandırılmıştır. Binalar ile ilgili bu kararlar verilirken binanın genel bakımı, malzeme ve işçilik kalitesi, yaşı ve herhangi bir sebepten dolayı hasar olup olmaması gibi ölçütler göz önüne alınmıştır. Şekil 73.d'ye göre binaların önemli bir kısmının görünen kalitesi orta olarak tespit edilmiştir. İyi durumdaki binalar, genellikle son zamanlarda, deprem ilkelerine uygun olarak yapılmış olan, modern betonarme yapılarıdır. Görünen kalitesi kötü olarak sınıflandırılan binalar ise eski, çoğunlukla yığma malzemesi ile yapılmış, oldukça bakımsız yapılarıdır (Şekil 78).



Şekil 78. Görünen kalite olarak “iyi” (solda) ve “kötü” (sağda) olarak sınıflandırılan binalara örnekler

Saha çalışmasında incelenmiş olan binalara istinaden Erzincan il merkezindeki binalarda yapısal düzensizlikler (yatayda düzensizlik, düşeyde düzensizlik, yumuşak kat oluşumuna yol açan ticari giriş katı) açısından fazla sorun olmadığı söylenebilir. Binaların genellikle düzgün plan geometrilerine sahip olduğu ve düşeyde yapısal anlamda önemli değişiklikler içermediği gözlenmiştir. Bu durum deprem davranışı açısından oldukça olumludur. Ayrıca buna ek olarak ticari şehir merkezi dışındaki binaların genellikle ayırık nizam olarak inşa edilmiş olduğu görülmüştür (Şekil 79). Bu demektir ki olası bir deprem esnasında değişik dinamik özelliklere sahip yapıların birbirine çarparak hasar vermesi söz konusu olmayacaktır.



Şekil 79. Ayırık nizam olarak inşa edilmiş binalara örnekler

Özetlemek gerekirse; Erzincan il merkezinde yapılan saha çalışması sonrasında yapı stoğu ile ilgili olarak aşağıdaki bilgiler elde edilmiştir:

- Bina stoğu betonarme ve yığma yapılardan oluşmaktadır. Bu yapı tiplerinin yoğunlaştığı mahalleler mevcuttur. Eski mahallelerde yığma yapı miktarı %90'lara kadar çıkmaktadır. Öte yandan, daha yeni mahallelerde 1992 depremi sonrası inşa edilmiş olan çoğunlukla perde duvarlı betonarme çerçeve yapılar bulunmaktadır. Yığma yapı malzemesi olarak briket, taş ve tuğla kullanıldığı görülmüştür. Kerpiç yığma binalar eski mahallelerde bulunmakla birlikte sayıları göreceli olarak daha azdır.

- Erzincan'daki betonarme binaların genellikle 3-4 kat, yığma binaların ise 1-2 kat olarak inşa edildiği gözlenmiştir.
- İl merkezinin orta bölümünde yer alan birkaç mahallede yoğun olarak ticari ve sanayi amaçla kullanılan yapılara rastlamak mümkündür. Ancak bunun dışındaki yapıların büyük bölümü sadece konut amaçlı olarak kullanılmaktadır. Bunların arasında az miktarda yapının ticari giriş katına sahip olduğu gözlenmiştir. Ticaret merkezi ve sanayi bölgesinde yer alan binaların genellikle bitişik nizam, diğer bölgelerde konut amaçlı inşa edilmiş olan binaların ise ayrıık nizam olarak inşa edildikleri belirlenmiştir.
- Binaların önemli bir yüzdesi yatay düzensizlik, düşey düzensizlik ve yumuşak kat gibi yapısal olumsuzluklar taşımamaktadır. Bunun en önemli nedeninin 1992 depremi ardından gerekli derslerin alınması ve yeni inşa edilen yapılarda depreme dayanıklı tasarım ilkelerine uyulması olduğu düşünülmektedir.

2.5.2 Aşama 5.2: Toplanan verilere dayanarak betonarme ve yığma binaların analitik modellerinin bölgesel inşaat tekniklerini ve yapı özelliklerini göz önüne alacak şekilde oluşturulması

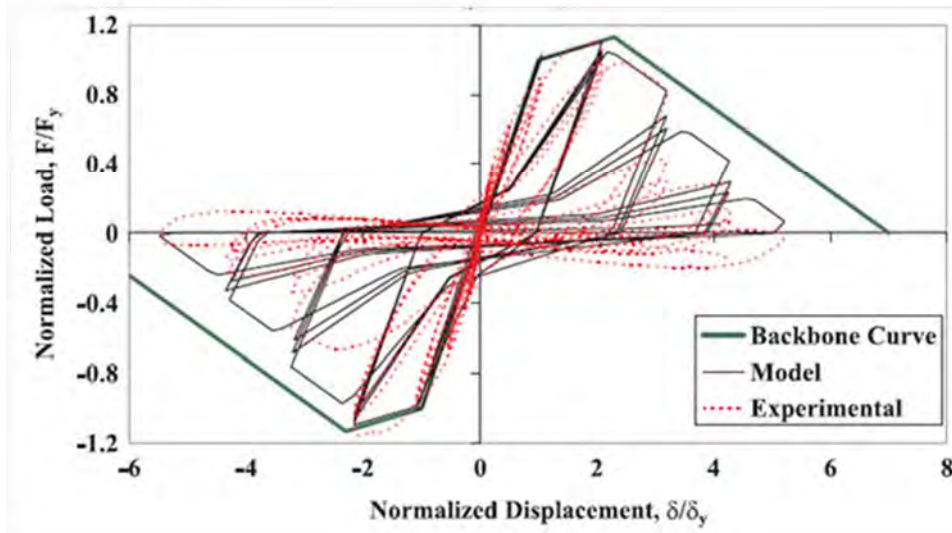
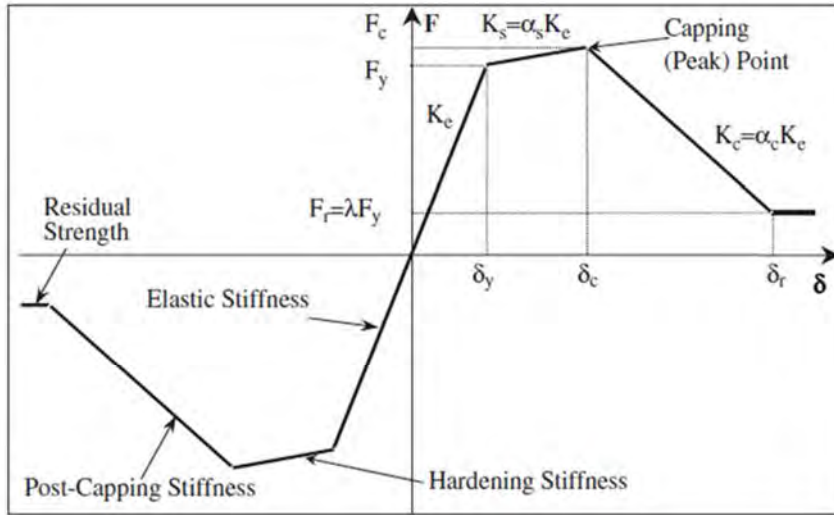
Bölgesel deprem riskinin belirlenmesi için yapılan çalışmalarda, yapı stoğunda yer alan her binayı detaylı olarak analiz etmek teknik olarak mümkün değildir. Bu gibi durumlarda daha basit ve pratik yaklaşımlar kullanmak gerekmektedir. Bu yaklaşımlar arasında en rağbet edilenlerden biri eşdeğer tek-dereceli-sistem yaklaşımıdır. Aslında çok-dereceli-sistem olarak modellenmesi gereken bir yapıyı basit yapısal parametreler sayesinde bir tek-dereceli-sisteme çevirmek analiz açısından çok büyük kolaylıklar sağlar. Literatürde bu yaklaşımı kullanan pek çok çalışma mevcuttur (Saiidi ve Sözen 1981, Fajfar ve Gaspersic 1996, Chopra ve Goel 2002, Jeong ve Elnashai 2007) Bu yöntem sayesinde elde edilen sonuçlar doğal olarak bir yaklaşıklık içerir ancak yöntemin basitliği ve pratikliği karşısında bu göze alınabilecek bir durumdur.

Bu projede de, Erzincan'daki yığma ve betonarme binaların hasargörebilirliğinin belirlenmesi için yukarıda bahsi geçen basit yaklaşımdan faydalanılmaktadır. İlk aşamada binalar alt sınıflara ayrılmıştır. Bunun nedeni sahada incelenmiş olan farklı yapı türlerinin kendine has davranış özelliklerini hasargörebilirlik analizine katmaktır. Saha verilerine dayanarak oluşturulan betonarme (çerçeve, perdeli ve çerçeve+perdeli) ve yığma yapı alt-sınıfları Tablo 11'de gösterilmiştir. Toplam 21 alt sınıftan 12 tanesi betonarme yapılara, 9 tanesi ise yığma yapılara aittir. Tablonun ikinci kolonunda her bir yapı alt sınıfı için bir kod yer almaktadır. Daha sonraki kolonlar, söz konusu alt sınıfın hangi yapı türüne ait olduğunu, kat sayısını ve deprem tasarımı ilkelerine uygunluğunu göstermektedir. Deprem tasarımı ilkelerine uygunluk, sahada toplanmış verileri kullanarak oluşturulmuş bir parametredir. Deprem tasarımı ilkelerine "tamamen uygun" olan yapılar; görünen kalitesi iyi, yapısal açıdan önemli olumsuzlukları (örneğin yatay ve düşey düzensizlikler veya yumuşak kat) olmayan binaları temsil etmektedir. Bu tür yapıların olası bir deprem esnasında belirli bir güvenlik seviyesini sağlayacakları düşünülmektedir. Öte yandan, deprem tasarımı ilkelerine "uygun olmayan" yapılar; görünen kalitesi kötü, yapısal olumsuzluklar içeren ve deprem esnasında yetersiz davranış göstermesi beklenen binalardır. Bu iki uç sınıflandırmanın ortasında ise deprem tasarımı ilkelerine "kısmen uygun" olarak kabul edilen binalar yer almaktadır. Tabloda dikkat çeken nokta, olası tüm kombinasyonların değil, sadece saha verilerine uygun olarak oluşturulmuş alt sınıfların yer almasıdır.

Tablo 11. Hasargörebilirlilik analizinde kullanılacak betonarme ve yığma yapı alt sınıfları

No	Kod	Tür	Kat Sayısı	Deprem Tasarım İlkelerine
1	RF1A	B/A Çerçeve	1-3	Uygun
2	RF2A	B/A Çerçeve	4-6	Uygun
3	RF1B	B/A Çerçeve	1-3	Kısmen Uygun
4	RF2B	B/A Çerçeve	4-6	Kısmen Uygun
5	RF1C	B/A Çerçeve	1-3	Uygun Değil
6	RF2C	B/A Çerçeve	4-6	Uygun Değil
7	RW1A	B/A Perde	1-3	Uygun
8	RW2A	B/A Perde	4-6	Uygun
9	RH1A	B/A Perde+Çerçeve	1-3	Uygun
10	RH2A	B/A Perde+Çerçeve	4-6	Uygun
11	RH1B	B/A Perde+Çerçeve	1-3	Kısmen Uygun
12	RH2B	B/A Perde+Çerçeve	4-6	Kısmen Uygun
13	MU1A	Yığma	1	Uygun
14	MU2A	Yığma	2	Uygun
15	MU3A	Yığma	3	Uygun
16	MU1B	Yığma	1	Kısmen Uygun
17	MU2B	Yığma	2	Kısmen Uygun
18	MU3B	Yığma	3	Kısmen Uygun
19	MU1C	Yığma	1	Uygun Değil
20	MU2C	Yığma	2	Uygun Değil
21	MU3C	Yığma	3	Uygun Değil

Bina alt sınıfların oluşturulmasından sonraki aşamada, her sınıfa ait bir eşdeğer tek-dereceli-sistem modeli oluşturmak ve bu modelin parametrelerini elde etmek gerekmektedir. Bu çalışmada, bina alt-sınıflarının davranış özelliklerini en iyi şekilde yansıtmak amacıyla OPENSEES analiz platformu kapsamında yer alan çok parametrelili bir sistem modeli seçilmiştir. Bu model kullanılarak yapılmış pek çok araştırma mevcuttur (Ibarra ve Krawinkler 2005, Ibarra vd. 2005, Lignos ve Krawinkler 2011, Lignos ve Krawinkler 2012). Bu modele ait kapasite eğrisi ve çevrim kuralları Şekil 80’de verilmektedir. Görüldüğü üzere, modelin kapasite eğrisi üç-doğrulu olup çevrim kuralları ise oldukça kapsamlıdır ve farklı yapı elemanlarının tersinir davranışı altında test edilmiştir (Ibarra vd. 2005).



Şekil 80. Yeni analitik çevrim modelinin (a) kapasite eğrisi, (b) çevrim özellikleri (Ibarra vd. 2005)

Bu modelde yer alan parametreler şu şekilde sıralanabilir (bakınız Şekil 80.a):

- Periyot (T , K_e ile bağlantılı)
- Akma kapasitesi (F_y , η ile bağlantılı)
- Maksimum kapasite (F_c , α_s ile bağlantılı)
- Süneklik katsayısı ($\mu = \delta_c / \delta_y$)
- Azaltılmış kapasite ($F_r = \lambda F_y$)
- Azaltılmış kapasiteye bağlı yer değiştirme (δ_r)
- Enerji tüketim kapasitesine bağlı azalım parametresi (γ)

Bu parametrelerin Tablo 11'de yer alan tüm alt sınıflar için belirlenmesi gerekmektedir. Bu şekilde, sahada incelenmiş olan mevcut yapıların gerçekçi ama aynı zamanda basit bir şekilde modellenmesi mümkündür. Her bir parametrenin alt sınıflar için nasıl belirlendiği aşağıdaki paragraflarda anlatılmaktadır.

Bu parametrelerden periyot (T), taban kesme kuvveti katsayısı ($\eta = F_y/W$, W: etkin ağırlık) ve süneklik kapasitesi (μ), bina türü yapıların deprem sırasındaki performansını en çok etkileyen parametrelerdir. Bu sebepten dolayı, hasargörebilirlik eğrilerinin çıkarılması aşamasında bu parametreler rassal değişken olarak alınmıştır. Bu parametrelerin istatistiksel özelliklerinin (ortalama değer ve standart sapma) belirlenmesi gerekmektedir.

Betonarme çerçevesel yapıların rassal değişken olarak kabul edilen model parametrelerinin belirlenmesi için farklı bina veritabanlarından (Kadas 2006, Metin 2006, Ay ve Erberik 2008, Erberik 2008a, Karaca 2014) faydalanılmıştır. Bu veritabanlarından elde edilen toplam bina sayısı 104'tür. Bu binalara ait model parametreleri, Türkiye'nin değişik bölgelerinde (Düzce, Bursa, Eskişehir) gerçekleştirilmiş olan saha çalışmaları sonucu elde edilen verilerden elde edildiği için Türkiye'deki binaların local ve karakteristik özelliklerini yansıtmaktadır. Bu binaların tümünün itme analizleri sonucu elde edilmiş kapasite eğrileri mevcuttur ve bu bilgi tek-dereceli-sistemin model parametrelerinin elde edilmesi için kullanılmıştır.

Bu veritabanında yer alan 104 bina, özelliklerine göre 6 betonarme çerçevesel yapı alt-sınıfına (RF1A, RF2A, RF1B, RF2B, RF1C, RF2C) ayrılmış ve her alt-sınıf için üç parametreye ((T, η , μ) ait ortalama ve standart sapma değerleri elde edilmiştir. Mevcut bina veritabanı kapsamında periyot parametresinin yapının depreme dayanıklı tasarım ilkelerine uygunluğu ile bağlantılı olmadığı gözlemlendiği için bu parametre için sadece az-katlı ve orta-katlı yapı alt sınıflarına göre değerlendirme yapılmıştır. Bu istatistiksel değerler her alt-sınıfa ait veri sayısı (n_s) ile beraber Tablo 12'de verilmektedir.

Tablo 12. Betonarme çerçevesel yapı alt-sınıflarına ait T, η ve μ parametrelerinin ortalama (MN) ve standart sapma (STD) değerleri

Alt-sınıf	n_s	T (s)		η		μ	
		MN	STD	MN	STD	MN	STD
RF1A	15	0.38	0.18	0.40	0.08	9.00	3.12
RF1B	13			0.30	0.11	7.30	2.02
RF1C	8			0.23	0.06	4.90	1.47
RF2A	19	0.7	0.27	0.34	0.11	7.10	2.25
RF2B	24			0.26	0.09	6.10	1.75
RF2C	25			0.17	0.06	5.10	1.38

Tablo 12'de yer alan değerlerden yola çıkarak, değişkenlik katsayısının (COV) T parametresi için 0.40-0.45 aralığında, η parametresi için 0.20-0.40 aralığında ve μ parametresi için ise 0.27-0.35 aralığında olduğu gözlenmektedir. Alt sınıflarda yer alan veri sayısı fazla olmadığı için bu mertebede bir varyasyon elde etmek olağandır. Veri sayısının fazla olduğu alt sınıflarda COV değerleri de genellikle daha düşüktür.

Maksimum kapasiteyi elde etmek için akma sonrası eğimin elastik eğime oranını (α_s) bilmek yeterlidir. Mevcut betonarme çerçevesel bina veritabanındaki değerlere bakıldığında bu parametrenin tüm alt-sınıflar için %3.5-%4 arasında değer aldığı ve varyasyonunun yüksek olduğu (COV=0.70-0.75) gözlenmiştir. Bu sonuçlar göz önüne alınarak α_s parametresi tüm alt-sınıflar için sabit (%4) kabul edilmiştir.

Azaltılmış kapasitenin (F_r) tüm alt sınıflar için akma kapasitesinin %20'si olarak alınması kararlaştırılmıştır. Bu yer değiştirme seviyesine ulaşmış bir yapı zaten oldukça hasar görmüş demektir.

Azaltılmış kapasiteye bağlı yer değiştirme parametresi (δ_r) betonarme çerçeveli yapıların göçme öncesi ötelenme oranları ile ilişkilendirilerek maksimum kapasite sonrası eğimin elastik eğime oranı (α_c) elde edilmiştir. Göçme öncesi ötelenme oranları RF1A ve RF2A alt-sınıfları için %2, RF1B ve RF2B alt-sınıfları için %1.5 ve RF1C ve RF2C alt-sınıfları için ise %1 olarak kabul edilmiştir. Bu değerlerin veritabanındaki binalara uygulanması sonucunda adı geçen alt-sınıflar için α_c parametresinin değerinin %15 ile %40 arasında çok fazla değişkenlik gösterdiği ortaya çıkmıştır. Bu sonuçlara istinaden α_c parametresinin değerinin söz konusu alt-sınıf grupları için sabit olarak sırasıyla %20, %25 ve %30 olarak alınmasına karar verilmiştir. Bu çalışmada kullanılmakta olan analitik modelde, tersinir yükler altında kapasite ve rijitlik azalımı enerji tüketim kapasitesine bağlı olarak verilmektedir (Ibarra vd. 2005). Bu yaklaşımda herhangi bir yapısal elemanın ya da sistemin toplam enerji tüketme kapasitesini belirlemek gerekmektedir.

$$E_t = \gamma F_y \delta_y \quad (18)$$

Denklem 18'de E_t toplam enerji tüketme kapasitesini, γ enerji tüketme parametresini, F_y akma kapasitesini ve δ_y akma kapasitesine bağlı yer değiştirmeyi temsil etmektedir. Analitik modeldeki formülasyona göre γ parametresi ne kadar düşük olursa kapasite ya da rijitlikteki azalım da o kadar fazla olmaktadır. Bu parametreyi belirlemenin tek yolu değişik performans seviyelerine göre tasarımı yapılmış yapısal eleman ve sistem deneylerinden çıkan sonuçlarla γ parametresini kalibre etmektir. Bu tür çalışmalar Ibarra ve Krawinkler (2005), Ibarra vd. (2005), Lignos ve Krawinkler (2011), Lignos ve Krawinkler (2012) tarafından gerçekleştirilmiştir. Ortaya çıkan sonuçlara göre, γ parametresi tasarım ve performans açısından yetersiz olan yapısal eleman ve sistemlerde 25-200 arasında değerler alırken, yönetmeliğe uygun tasarımı olan ve iyi performans göstermesi beklenen yapısal eleman ve sistemlerde ise 400 ve üzeri değerler almaktadır. Teorik olarak bu parametre sonsuz değerine sahip olduğunda bu sistemde hiçbir azalım olmadığını göstermektedir. Tüm bu bilgiler ışığında γ parametresi mevcut çalışmadaki betonarme çerçeveli bina alt-sınıfları göz önüne alındığında RF1A ve RF2A alt-sınıfları için 800, RF1B ve RF2B alt-sınıfları için 400 ve RF1C ve RF2C alt-sınıfları için ise 200 olarak kabul edilmiştir.

Proje önerisi aşamasında sadece betonarme çerçeve ve yığma yapı türleri için hasargörebilirlik eğrileri çıkarılması planlanmışken proje takvimi içerisinde yapılmış olan saha çalışmasında Erzincan il merkezinde önemli sayıda betonarme perde duvar + çerçeve (karma) ve betonarme perde duvarlı yapı bulunduğu görülmüştür. Bu yapıların çok büyük bir yüzdesi 1992 depremi sonrası inşaa edilmiştir. Betonarme perde duvarlı yapılar, deprem sonrası afet konutu olarak tünel kalıp tekniği kullanılarak yapılmış binalardır. Bu bölümde bahsi geçen yapı türlerinin, deprem güvenliği açısından genellikle bazı ilkelere uyması ve güvenli davranış göstermesi beklenir. Bu durum bu iki yapı türünün alt sınıflarını oluşturulurken dikkate alınmıştır (bakınız Tablo 11). Bu bağlamda betonarme karma yapılar için kat sayısına göre iki ve depreme mühendisliği ilkelerine uygunluğu açısından da iki olmak üzere toplam dört farklı alt-sınıf oluşturulmuştur. Betonarme perdeli yapıların zaten depreme karşı belli bir seviyede davranış gösterecekleri düşünüldüğü için bu yapı türüne ait sadece iki alt-sınıf oluşturulmuştur (bakınız Tablo 11). Böylece her iki yapı türü için toplamda altı alt-sınıf belirlenmiştir.

Bu iki yapı türüne ait model parametrelerinin belirlenmesi aşamasında, diğer türlere kıyasla, çok az sayıda bina verisi mevcuttur. Bu sebepten dolayı parametreler belirlenirken çeşitli varsayımlardan ve uzman görüşlerinden faydalanılmıştır.

Betonarme karma yapıların model parametrelerinin belirlenmesi için üç farklı kaynakta yer alan bina verileri göz önüne alınmıştır (Vuran v.d. 2008, Günel 2013, Karaca 2014). Bu

kaynaklardan elde edilen kısıtlı bilgi ile üç ana model parametresi (T , η , μ) ile ilgili değerlendirmeler yapmak mümkün olmuştur. Diğer parametreler ise daha çok çeşitli karşılaştırmalar, kabuller ve uzman görüşleri kullanılarak belirlenmiştir.

Tünel kalıp yapılar için de durum pek farklı değildir. Bu özel yapı türü ile ilgili olarak proje kapsamında kullanılacak kaynaklar kısıtlıdır (Balkaya ve Kalkan 2003, Balkaya ve Kalkan 2004, Yüksel ve Kalkan 2007, Tavafoghi ve Eshghi 2013). Bu kaynaklarda yer alan bina verileri kullanılarak yine üç ana model parametresinin tahmin edilmesi mümkündür. Diğer model parametreleri için, bir önceki yapı türünde olduğu gibi, sadece kaba tahminler yapılabilmektedir.

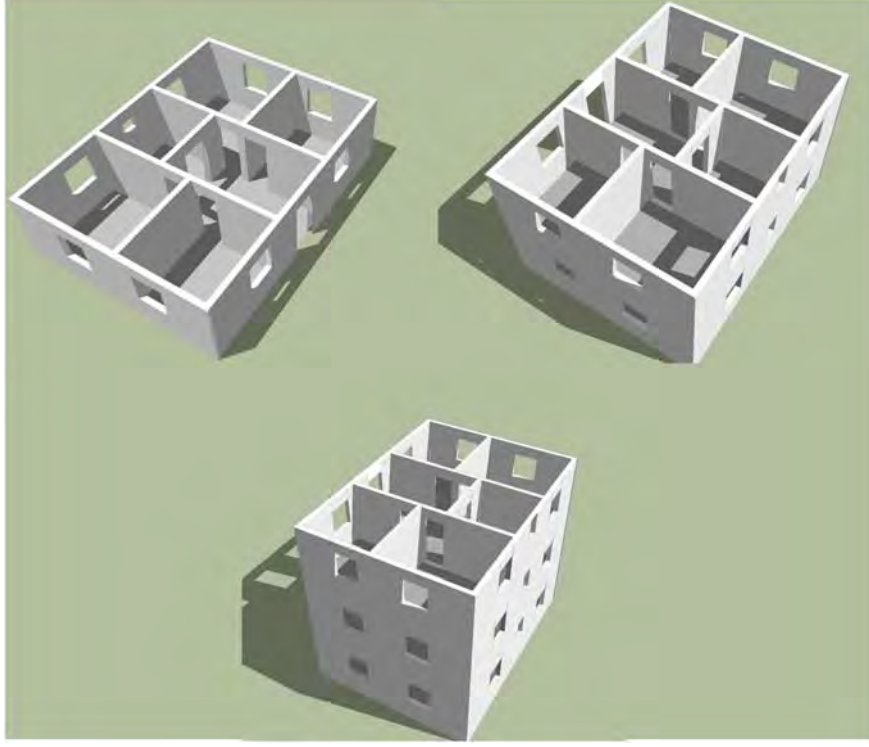
Söz konusu iki yapı türüne ait alt-sınıfların belirlenmiş olan model parametresi değerleri Tablo 13'te verilmektedir.

Tablo 13. Betonarme karma ve perde duvarlı yapı alt-sınıflarına ait model parametre değerleri

Alt-sınıf	T (s)		η		μ		α_s (%)	α_c (%)	λ	γ
	MN	STD	MN	STD	MN	STD				
RH1A	0.08	0.035	0.68	0.23	5.4	1.7	4	-20	0.2	1000
RH1B			0.56	0.18	4.5	1.4	4	-25	0.2	500
RH2A	0.43	0.18	0.59	0.17	4.9	1.4	4	-20	0.2	1000
RH2B			0.47	0.13	4.0	1.2	4	-25	0.2	500
RW1A	0.05	0.02	1.45	0.42	3.0	1.1	8	-20	0.2	1200
RW2A	0.15	0.048	0.94	0.29	2.7	0.9	8	-20	0.2	1200

Türkiye'deki yığma yapılar ile ilgili olarak, betonarme çerçeveli yapılarda olduğu gibi çok sayıda çalışma bulunmamaktadır. Bu sebepten dolayı mevcut yığma bina veritabanlarından elde edilen bilgiler ışığında hasargörebilirlik eğrileri çıkarılacak yığma bina alt-sınıflarının yapısal özelliklerini kapsayacak jenerik yapı modellerinin üretilmiş olduğu eski bir çalışmadan (Erberik 2008b) faydalanılmıştır. Bu çalışmada, modellerin oluşturulması sırasında göz önüne alınan ana yapısal parametreler kat sayısı, malzeme tipi ve kalitesi, plan geometrisi ve yapısal duvarların yapı içindeki miktarı ve dağılımıdır. Bu parametrelerin kombinasyonları düşünülerek 1-3 katlı, düzenli ya da düzensiz geometriye sahip, duvar malzemesi olarak tuğla, beton blok, taş veya kerpiç kullanılmış, taşıyıcı duvar miktarları ve dağılımları değişen 72 adet jenerik yığma bina modeli üretilmiştir (bakınız Şekil 81). Bu binaların tümünün özdeğer analizi sonuçları ile itme analizleri sonucu elde edilmiş kapasite eğrileri mevcuttur ve bu bilgi tek-dereceli-sistemin model parametrelerinin elde edilmesi için kullanılmıştır. Özdeğer ve itme analizleri, kısaltması MAS olan bir yığma yapı analiz platformu (Mengi v.d. 1992) tarafından gerçekleştirilmiştir.

Betonarme yapıların hasargörebilirlik eğrilerinin oluşturulması amacıyla kullanılmış olan çok parametrelili çevrim modeli yığma yapılara ait eğrilerin elde edilmesi için de kullanılmıştır. Yığma binaların da deprem sırasındaki performansını en çok etkileyen parametreler olan periyot, taban kesme kuvveti katsayısı ($\eta = F_y/W$) ve süneklik kapasitesi hasargörebilirlik eğrilerinin çıkarılması aşamasında rassal değişken olarak kabul edilmiştir. Bu parametrelerin istatistiksel özelliklerinin belirlenmesi için bir önceki paragrafta bahsi geçen jenerik bina veritabanından faydalanılmıştır.



Şekil 81. Jenerik yığma bina modellerinden örnekler

Bu veritabanında yer alan 72 bina, özelliklerine göre 9 yığma yapı alt-sınıfına (MU1A, MU2A, MU3A, MU1B, MU2B, MU3B, MU1C, MU2C, MU3C) ayrılmış ve her alt-sınıf için üç parametreye ait ortalama (MN) ve standart sapma (STD) değerleri elde edilmiştir. Periyot parametresinin istatistiksel değerleri modellere ait özdeğer analizleri kullanılarak elde edilmiştir. Mevcut veritabanı kapsamında periyot parametresinin yapının performansı ile bağlantılı olmadığı gözlemlendiği için bu parametre için sadece 1, 2 ve 3 katlı yapı alt sınıflarına göre değerlendirme yapılmıştır. Bu istatistiksel değerler Tablo 14’te verilmektedir.

Diğer iki parametreye (η ve μ) ait istatistiksel değerler, modellerin itme analizleri sonuçlarına göre belirlenmiştir. Analizler sonucu elde edilen kapasite eğrileri idealize edilmiş, kapasite oranı (η) hesaplanan akma kapasitesinin (F_y) etkin bina ağırlığına (W) bölünmesi ile, süneklik oranı (μ) ise maksimum yerdeğiştirmenin (δ_c) akma yerdeğiştirmesine (δ_y) bölünmesi ile elde edilmiştir. Bu parametrelere ait istatistiksel değerler Tablo 14’te verilmektedir. Genel olarak şu söylenebilir ki; betonarme çerçeve yapılarla karşılaştırıldığında göreceli olarak η parametresi daha yüksek, μ parametresi ise daha düşük değerler vermektedir. Bu gözlem ülkemizdeki mevcut binaların gerçek yapısal özellikleri ile uyumludur. Yük taşıyıcı donatısız duvar elemanlarına sahip rijit yığma yapılar, tek boyutlu çalışan ve düğüm noktasında birleşen kolon ve kiriş elemanlarından oluşan çerçeve betonarme sistemlere göre daha dayanıklı olabilirler, ancak o sistemlerin malzeme özelliklerinden dolayı sahip oldukları süneklik kapasitesine erişmeleri oldukça zordur.

Tablo 14. Alt-sınıflara ait T, η ve μ parametrelerinin ortalama ve standart sapma değerleri

Alt-sınıf	T (s)		η		μ	
	MN	STD	MN	STD	MN	STD
MU1A	0.057	0.017	0.86	0.17	3.53	0.71
MU1B			0.64	0.13	3.43	0.69
MU1C			0.38	0.08	3.32	0.66
MU2A	0.115	0.035	0.69	0.17	2.75	0.69
MU2B			0.43	0.11	2.62	0.66
MU2C			0.23	0.06	2.56	0.64
MU3A	0.173	0.052	0.43	0.13	2.20	0.66
MU3B			0.27	0.08	2.12	0.64
MU3C			0.14	0.04	2.05	0.62

Akma sonrası eğimin elastik eğime oranını temsil eden parametre (α_s), yığma yapılara ait yeterli veri bulunmadığından dolayı ve de güvenli tarafta kalmak amacıyla %0.0 olarak kabul edilmiştir. Kapasite sonrası eğimin elastik eğime oranını temsil eden parametre (α_c) ise yığma yapıların göçme öncesi ötelenme oranları ile ilişkilendirilmiştir. Göçme öncesi ötelenme oranları MU1A, MU2A ve MU3A alt-sınıfları için %0.5, MU1B, MU2B ve MU3B alt-sınıfları için %0.4 ve MU1C, MU2C ve MU3C alt-sınıfları için ise %0.3 olarak kabul edilmiştir. Bu değerlerin veritabanındaki binalara uygulanması sonucunda adı geçen alt-sınıflar için α_c parametresinin değerinin %20 ile %30 arasında çok fazla değişkenlik gösterdiği ortaya çıkmıştır. Bu sonuçlara istinaden α_c parametresinin değerinin söz konusu alt-sınıf grupları için sabit olarak sırasıyla %20, %25 ve %30 olarak alınmasına karar verilmiştir. Azaltılmış kapasitenin ise tüm alt sınıflar için aynen betonarme çerçevesel yapılarda olduğu gibi akma kapasitesinin %20'si olarak alınması kararlaştırılmıştır.

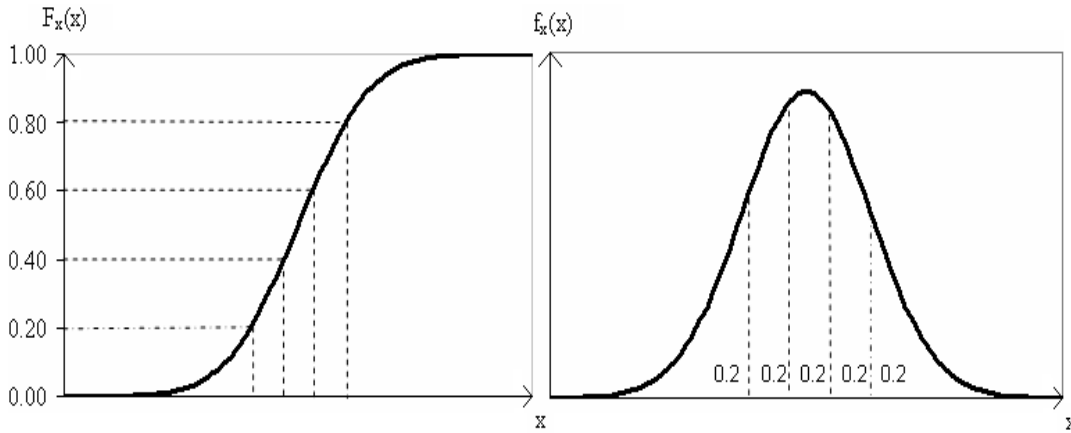
Kullanılan analitik modelde, tersinir yükler altında kapasite ve rijitlik azalmasını temsil eden enerji tüketim parametresi (γ), değişik performans seviyelerine göre tasarımı yapılmış yapısal eleman ve sistem deneylerinden elde edilen verilerin (Ibarra ve Krawinkler 2005, Ibarra vd. 2005, Lignos ve Krawinkler 2011, Lignos ve Krawinkler 2012) incelenmesi sonucunda MU1A, MU2A ve MU3A alt-sınıfları için 600, MU1B, MU2B ve MU3B alt-sınıfları için 300 ve MU1C, MU2C ve MU3C alt-sınıfları için ise 150 olarak kabul edilmiştir.

2.5.3. Aşama 5.3: Betonarme binaların sentetik yer hareketleri kullanılarak analiz edilmesi ve bu analizler sonucunda hasar potansiyeli eğrilerinin oluşturulması

Betonarme bina alt-sınıflarının hasargörebilirlik eğrilerinin oluşturulması için bir örnekleme metodu kullanarak yapısal simülasyonların elde edilmesi gerekmektedir. Örnekleme en temel anlamda anakütleyi oluşturan elemanların, geneli en iyi ifade edecek şekilde seçilme işlemi olarak tanımlanabilir. Örnekleme, en ideal durum olan anakütleyi oluşturan birimlerin tümünden bilgi almaya dayanan “tam sayım” yerine, anakütle birim sayıları çok büyük olduğunda, düşük maliyet, zamandan tasarruf, kontrol edilebilirlik, ayrıntılı analiz gibi faydaları sebebiyle seçilmektedir (Orhunbilge, 1997).

Tesadüfi örnekleme tekniklerinden biri olan Monte Carlo (Rubinstein, 1981) metodu anakütleri ifade etmekte oldukça başarılıdır. Monte Carlo metodu rasgele sayı seçimi yapar ve bu sayılardan olasılık yoğunluk fonksiyonlarına uygun kümülatif dağılım fonksiyonları ile anakütleyi ifade eden değerleri belirler. Etkili bir araç olmasına karşın, arzu edilen yaklaşıklıkta sonuçlar için oldukça fazla sayıda örnek birim kullanır. Hesap yoğunluğu yüksek veya analiz birimi fazla çalışmalarda zaman ve maliyet açısından makul değildir. Latin Hiperküp örnekleme (LHS) (McKay ve diğerleri, 1979) metodu benzer kesinlikte sonuçlar için daha az sayıda örnekleme yapar. Bu sebeple Monte Carlo metoduna alternatiftir ve birçok çalışmada tercih edilir (Ayyub ve Lai, 1989).

LHS metodu birden fazla değişkene uygulanabilen segmentasyona dayalı örnekleme tekniğidir. LHS metodunda değişkenlerin olasılık dağılımı n sayıda eşit olasılıklı segmanlara ayrılır. Böylece parametrik uzayda k adet değişkenin eşit olasılıklara sahip nk kadar hücresi olur. LHS metodu uygulanırken, değişken dağılımı birbiri üzerine binmeyen n sayıda aralığa bölünür. Böylece yoğunluk fonksiyonu altındaki her bir alan $P(X)=1/n$ olur. Şekil 82, n=5 olduğu durum için kümülatif dağılım fonksiyonu ile olasılık yoğunluk fonksiyonunu göstermektedir.



Şekil 82 (a) Kümülatif dağılım fonksiyonu ($n = 5$) **(b)** Olasılık yoğunluk fonksiyonu ($n = 5$)
LHS metodu n adet birbiri üzerine binmeyen aralık için 0 ve 1 arasında n adet rasgele sayı seçer. Bir başka deyişle her bir aralık için bir sayı rasgele belirlenir. Sonra bu sayıları Denklem 19'daki gibi kümülatif olasılıklara çevirir:

$$P_m = \left(\frac{1}{n}\right)U_m + \left(\frac{m-1}{n}\right) \quad (19)$$

Denklem 19'da m, 1'den n'e kadar aralık ifade eden tam sayıları, n aralık sayısını, U_m , 0 ve 1 arasında rasgele seçilmiş sayıyı ve P_m m'inci aralık için bulunan kümülatif olasılığı ifade eder. Denklem 20'den anlaşılacağı üzere sadece bir rasgele oluşturulmuş sayı n adet aralıktan sadece birine denk gelir:

$$\left(\frac{m-1}{n}\right) < P_m < \frac{m}{n} \quad (20)$$

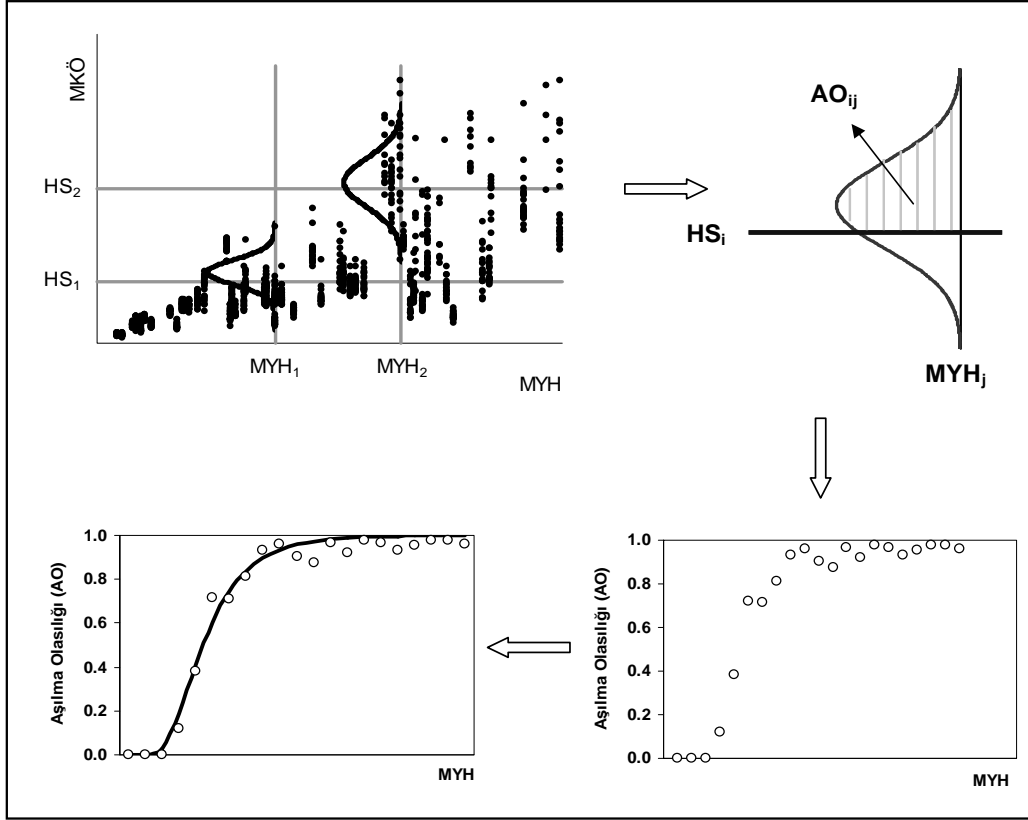
P_m değerleri her bir aralık için rasgele seçilmiş sayılar ile oluşturulduktan sonra ters dağılım fonksiyonları kullanılarak Denklem 21'deki gibi hedeflenen nihai örnekleme değerleri elde edilir:

$$X_{k,m} = F_x^{-1}(P_m) \quad (21)$$

Denklem 21'de $X_{k,m}$ m'inci aralık için oluşturulmuş k örnekleme değerini, F_x^{-1} ise ters kümülatif dağılım fonksiyonunu ifade eder.

Daha önce belirtildiği gibi LHS metodu birden fazla değişkene uygulanabilmektedir. Bunun için ayrı ayrı her bir k değişkeni için oluşturulmuş n sayıda aralıktaki $X_{k,m}$ değerleri rasgele dizilir. Bir başka deyişle her bir değişken için oluşturulan sayı dizisinin rastlantısal permütasyonu alınır ve yan yana tahsis edilerek (n x k) elemanlı örnekleme matrisi oluşturulur. LHS yukarıda bahsi geçen uygulamasıyla rastlantısal örnekleme değerlerini her bir olasılık aralığından seçer ve bu değişkenleri yine rastlantısal sıralayarak tam sayımla ulaşılamayan anakütle değerlerini örnek istatistikleri ile ifade eder.

Bu çalışmada, her bir rassal değişken için LHS metodu kullanılarak 20 adet örneklem üretilmiştir. Bu rneklem büyüklüğünün hasargörebilirlik çalışmalarında yapı sistemlerindeki değişkenliği yansıtmaq için yeterli olduğu daha önceki çalışmalarda gösterilmişti (Erberik 2008a). Bir sonraki aşamada bu örneklem, yapı simulasyonlarının oluşturulması ve değişik seviyelerdeki yer hareketleri altında analiz edilmesi için kullanılmıştır. Şekil 83'te sol st köşedeki grafikte görüldüğü üzere yapı simulasyonları değişik yer hareketi seviyeleri için seçilen tepki parametresi cinsinden düşey olarak bir dağılım göstermektedir. Şekildeki grafikte seçilmiş olan tepki parametresi maksimum kat telemesi (MK) olup yer hareketi parametresi ise maksimum yer hızıdır (MYH). Doğal olarak yer hareketi parametresi arttıķa tepki değerleri de artış göstermektedir. Grafikte yer alan yatay çizgiler, belli tanımlara ve kabullere göre daha önceden belirlenmiş hasar sınırlarına (HS) ait çizgilerdir.



Şekil 83. Hasargörebilirlik eğrilerinin oluşturulması ile ilgili yöntemin şematik olarak gösterilmesi

Şekildeki her dikey (sabit MYH değerine sahip) veri grubunun istatistiksel olarak normal veya lognormal dağılım gösterdiği kabul edilirse bu gruba ait bir ortalama ve standart sapma değeri hesaplamak mümkün olabilir. Böylece şekil üzerindeki her dikey veri grubu iki basit istatistiksel tanım parametresi ile temsil edilebilir. Bu istatistiksel veriler, hasargörebilirlik eğrilerinin oluşumu için aşılma olasılıklarının hesaplanmasında kullanılır. Aşılma olasılığı, herhangi bir MYH seviyesi için bir hasar sınırının aşılma olasılığını ifade etmektedir. Sembolik olarak:

$$AO_{i,j} = P(MKÖ \geq HS_i | MYH_j) \quad (22)$$

şeklinde ifade edilebilir. Yukarıdaki ifadede $AO_{i,j}$, j seviyesindeki maksimum yer hızı altında i'inci hasar sınırının (maksimum kat ötelemesi cinsinden) aşılma olasılığını, HS_i i'inci hasar sınırını ve MYH_j ise j'inci maksimum yer hareketi seviyesini temsil eder. Aşılma olasılığının görsel olarak ifadesi Şekil 83'te sağ üst köşede yer almaktadır.

Tüm MYH seviyeleri için aşılma olasılıkları hesaplandığı zaman, AO–MYH koordinat sisteminde monotonik olarak artan noktalardan oluşan bir grafik elde edilir (bakınız Şekil 83, sağ alt köşe). Bu hasar potansiyeli eğrisinin ham hali olup genelde matematiksel olarak daha iyi ifade edilmesi amacıyla noktalara uygun bir eğri uydurulmaktadır (bakınız Şekil 83, sol alt köşe). Bu çalışmada hasargörebilirlik eğrileri lognormal kümülatif dağılım ile bulunmuştur.

Hasargörebilirlik eğrilerinin elde edilmesi için seçilen yer hareketi kayıtları Aşama 3.4'te detayları sunulmuş olan stokastik sonlu-fay yöntemi ile elde edilmiştir. Bu kayıtlar, Erzincan ilinde oluşabilecek senaryo depremlerde bölgesel sismik kaynak ve yayılım özellikleri ile Erzincan ilindeki yerleşim bölgelerinde daha önce Aşama 2'de elde edilmiş olan yerel zemin parametreleri (saha büyütmeleri) gözönüne alınarak simüle edilmiştir. Özetle bu kayıtlar bölgesel sismik özellikleri gerçekçi biçimde yansıtmaktadır ve hasargörebilirlik eğrilerinin çıkarılması sürecinde yerel bina parametreleri ile birlikte kullanıldığında Erzincan ilinde sahaya-özel ve gerçekçi hasar dağılımları elde edilmiştir.

İl merkezinde 123 düğüm noktasında (büyüklükleri $M_w=5.5, 6.0, 6.6, 7.0$ ve 7.5 olan senaryo depremlerde açığa çıkmış olacak biçimde) üretilen toplam 625 adet sentetik yer hareketi kaydından 20 tanesi hasargörebilirlik eğrilerinin üretilmesi için seçilmiştir. Bu kayıtlar seçilirken yer hareketi parametresi olarak kullanılan maksimum yer hızının 5 cm/s ile 100 cm/s arasında düzgün bir dağılım göstermesine dikkat edilmiştir. Kullanılan sentetik yer hareketi kayıtlarının genel özellikleri Tablo 15'te verilmiştir. Tabloda M_w sentetik kayıtların üreten senaryo depremin moment büyüklüğünü temsil etmektedir. Yine Tablo 15'te Moment büyüklüğü 6.6 olan (* ile işaretlenmiş kayıtlar) 1992 Erzincan depremi senaryosuna aittir. Bir diğer parametre mesafedir ve fay kırığının izdüşümünden sahaya olan en kısa uzaklığını temsil etmektedir (Joyner-Boore mesafesi). Bir sonraki kolonda yer hareketi kayıtlarının üretildiği zeminin koşulları verilmektedir. Son iki kolon ise sentetik kayıtların yer hareketi ivmelerini ve hızlarını göstermektedir.

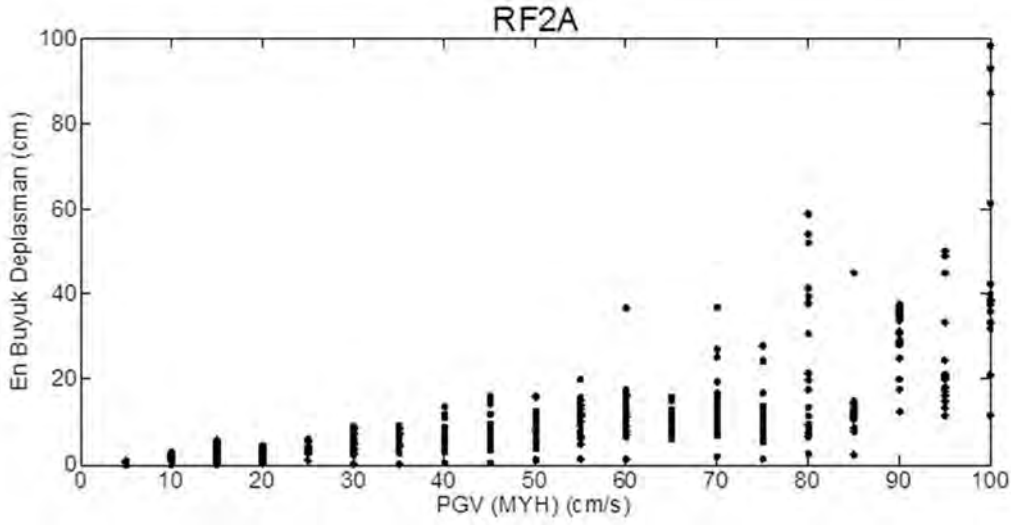
Aşılma olasılıklarının belirlenmesi için kullanılan hasar sınırlarının ya da başka bir deyişle performans limitlerinin belirlenmesi için önceki çalışmalardan faydalanılmıştır (Erberik 2008a, Ay ve Erberik 2008). Bu bağlamda, betonarme çerçeve yapılar için üç farklı hasar sınırında (az, orta ve ağır) ulaşılan ötelenme oranlarının $\%0.2, \%1$ ve $\%2$ olduğu kabul edilirse, bu değerlere karşılık gelen eşdeğer tek dereceli sistem yer değiştirmeleri her yapı alt-sınıfındaki mevcut binalar için tek tek hesaplanıp ortalaması alınmıştır. Az katlı betonarme çerçeve yapılar için yer değiştirme cinsinden hasar sınırları sırasıyla $1.5, 6$ ve 11 santimetre, orta katlı betonarme çerçeve yapılar için ise $2, 8$ ve 15 santimetre olarak elde edilmiştir. Sonuç olarak, bu yer değiştirme değerleri 6 adet betonarme çerçeve yapı alt-sınıfının hasargörebilirlik eğrilerinin türetilmesi için kullanılmıştır.

Tablo 15. Kullanılan sentetik yer hareketlerinin genel özellikleri

YH No.	M _w	Mesafe (km)	Zemin	MYI (g)	MYH (cm/s)
1	5.5	16.82	368	0.06	5
2	6	13.40	368	0.15	10
3	6	11.44	362	0.18	15
4	6	7.20	483	0.26	20
5	6.6*	2.66	483	0.64	25
6	6.6*	4.36	460	0.43	30
7	6.6*	7.35	460	0.38	35
8	6.6*	8.82	368	0.46	40
9	6.6*	3.56	483	0.50	45
10	7	0.24	368	0.85	50
11	7	0.86	460	0.97	55
12	7	4.37	368	0.61	60
13	7	1.97	247	0.82	65
14	7	1.42	297	0.88	70
15	7	2.37	368	0.67	75
16	7.5	4.05	368	0.87	80
17	7.5	1.69	474	1.35	85
18	7.5	0.75	247	1.49	90
19	7.5	1.04	460	1.40	95
20	7.5	1.39	248	1.23	100

Belirlenmiş olan yer hareketleri kullanılarak OPENSEES analiz platformunda eşdeğer tek dereceli sistem modeli kullanılarak gerçekleştirilen dinamik analizler sonucunda her alt-sınıf için Şekil 83'tekine benzer tepki istatistikleri elde edilmiştir. RF2A yapı alt-sınıfına ait grafik örnek olarak Şekil 84'te verilmiştir.

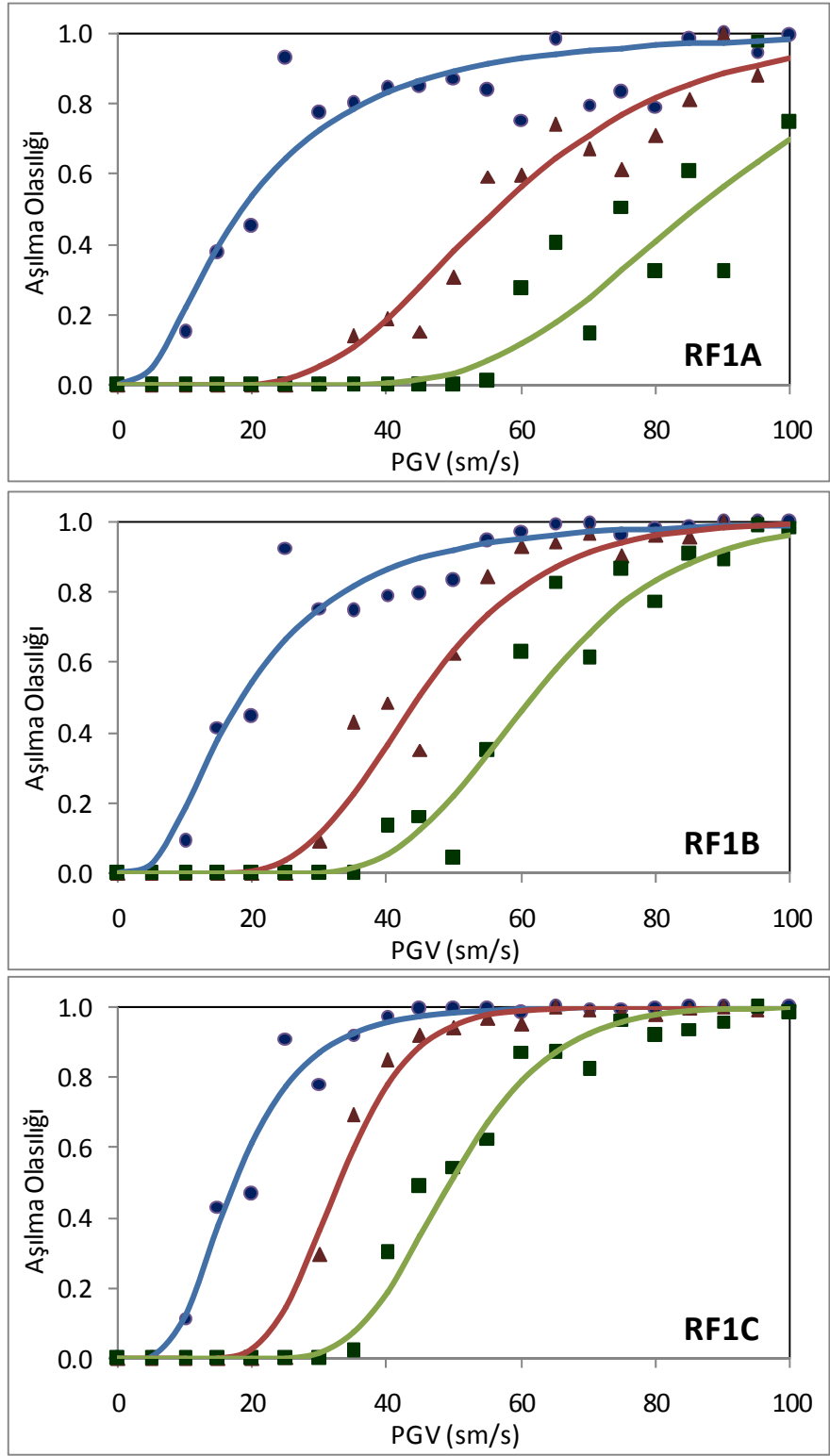
Sonraki aşamada, belirlenmiş olan hasar sınırları kullanılarak her bir yer hareketi seviyesindeki aşılma olasılığı elde edilmiştir. Bu aşılma olasılıklarını sürekli bir fonksiyon kullanarak ifade etmek için her bir veri setine lognormal kümülatif dağılım gösteren bir eğri uydurulmuştur. Üç farklı hasar sınırı (az, orta ve ağır) için elde edilmiş olan aşılma olasılığı değerleri ve bunlara karşılık gelen lognormal kümülatif dağılıma sahip hasargörebilirlik eğrileri Şekil 85 ve 86'da verilmiştir. Elde edilen hasar görebilirlik eğrilerini karşılaştırmak amacıyla aynı eğriler Şekil 87 ve 88'de bu kez hasar sınırları için bir arada gösterilmiştir.



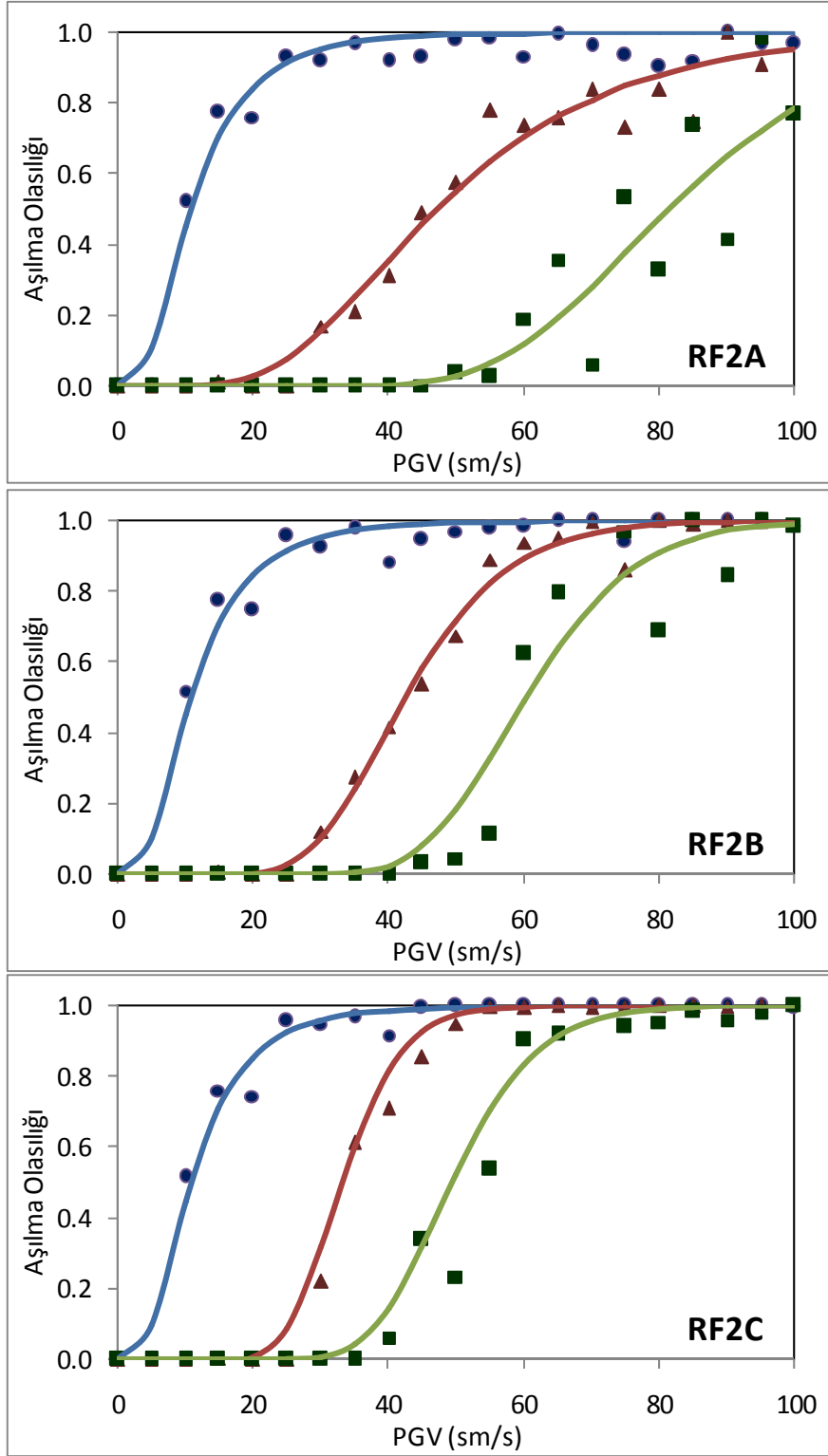
Şekil 84. RF2A yapı alt-sınıfı için yer değiştirme cinsinden elde edilen tepki istatistiği

Şekillerden görüldüğü üzere, hem az katlı hem de orta katlı betonarme çerçevesel yapılarda deprem tasarımı ilkelerine uygun olmadan inşa edilen yapıların depreme dayanıklı olan yapılara göre daha kırılabilir olduklarını hasargörebilirlik eğrileri tarafından teyit edilmektedir. (bakınız Şekil 85 ve 86). Ayrıca, ilk hasar sınırı için birbirine yakın olan eğrilerin ikinci ve özellikle üçüncü hasar sınırları söz konusu olduğunda oldukça farklı değerler verdiği gözlenmektedir (bakınız Şekil 87 ve 88). Bu sonuçlar da beklentiler ile uyumludur. Son olarak, aşılma olasılığındaki varyasyonun az katlı yapılarda daha fazla olduğu gözlenmektedir. Bunun sebebinin az katlı yapıların daha düşük periyotlu yapılar olması (ya da δ_y parametresinin değerinin genelde daha düşük olması) ve buna bağlı olarak dinamik analizler sırasında çevrim modelini bu parametreden daha çok etkilenmesi olduğu düşünülmektedir.

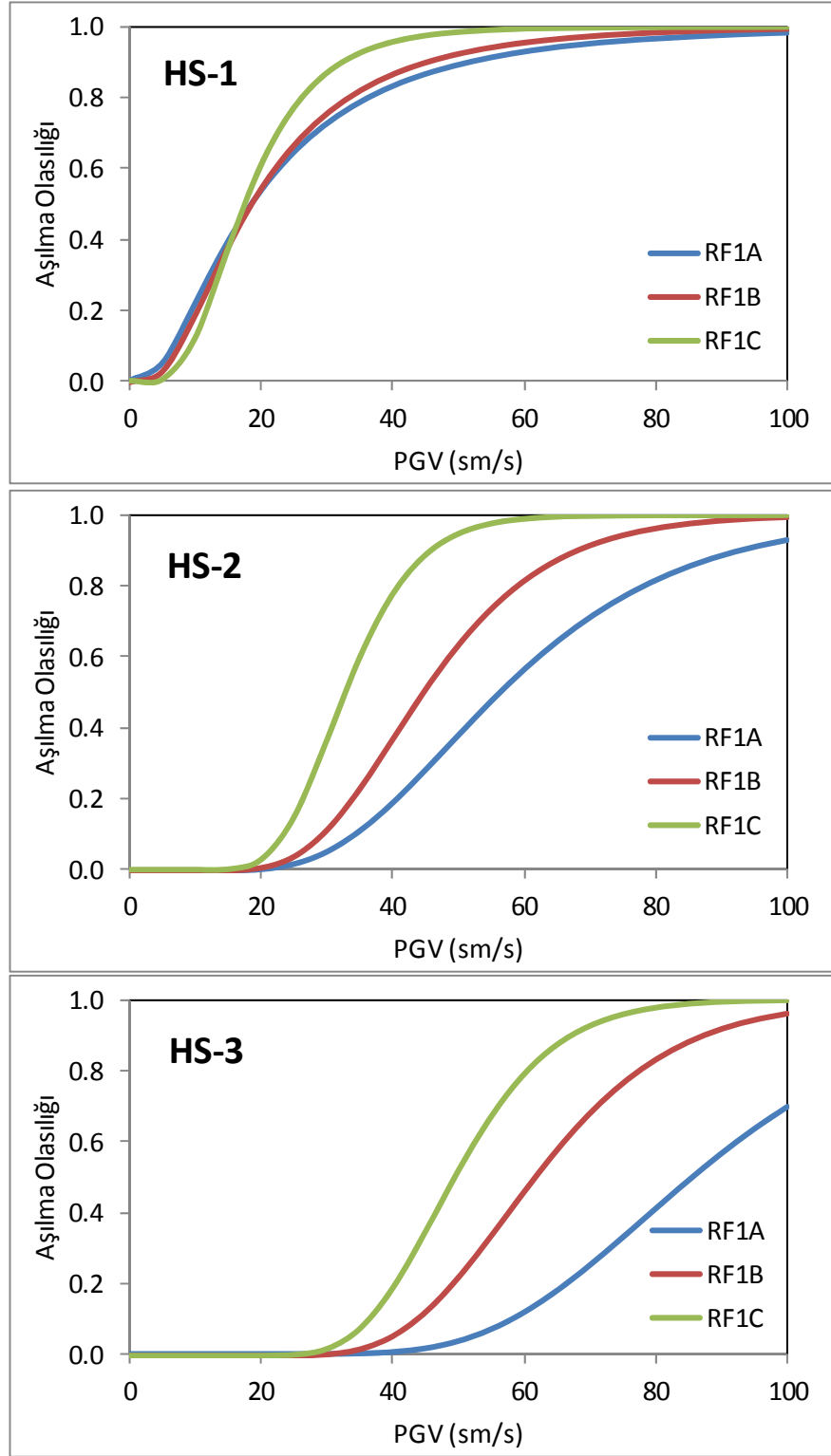
Betonarme karma ve perde duvarlı yapı alt-sınıflarının hasargörebilirlik eğrilerinin elde edilmesi için gerçekleştirilen çalışmalar, daha önce betonarme çerçevelere uygulanmış olan yöntemin aynısıdır. Model parametrelerinden üretilmiş örneklerden oluşan 20 adet yapı simulasyonuna aynı yer hareketi seti kullanılarak dinamik analizler uygulanmış ve elde edilen talep istatistiğinin belli hasar sınırlarını aşma olasılığı tüm yer hareketi seviyeleri için hesaplanmıştır. Betonarme karma yapılar için üç farklı hasar sınırında (az, orta ve ağır) ulaşılan ötelenme oranlarının %0.1, %0.8 ve %1.6, bu değerlere karşılık gelen eşdeğer tek dereceli sistem yer değiştirmelerinin 1.5, 6.5 ve 13 santimetre olduğu, betonarme perdeli yapılar içinse üç farklı hasar sınırında ulaşılan ötelenme oranlarının %0.05, %0.2 ve %0.6, bu değerlere karşılık gelen eşdeğer tek dereceli sistem yer değiştirmelerinin 0.4, 1.0 ve 5 santimetre olduğu kabul edilmiştir.



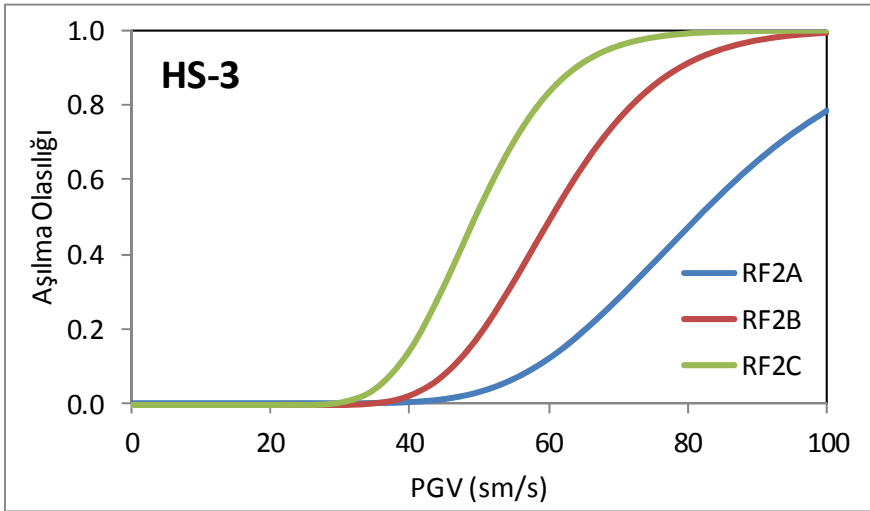
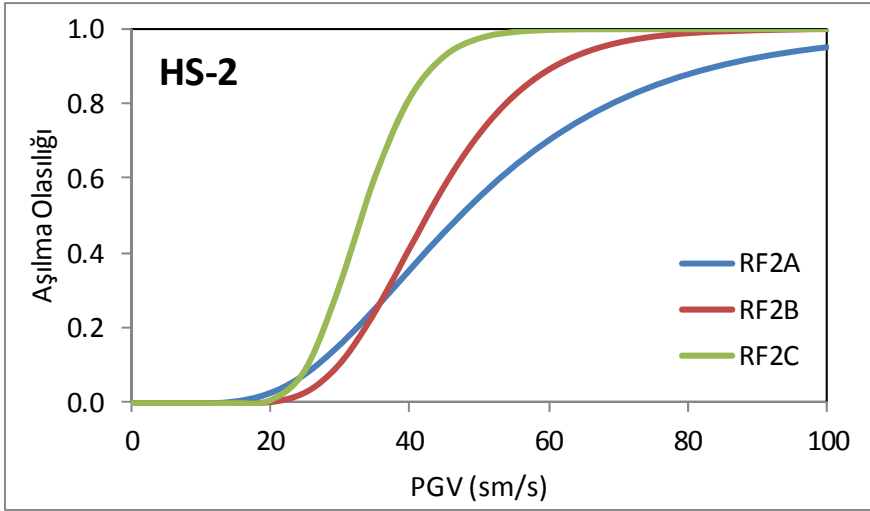
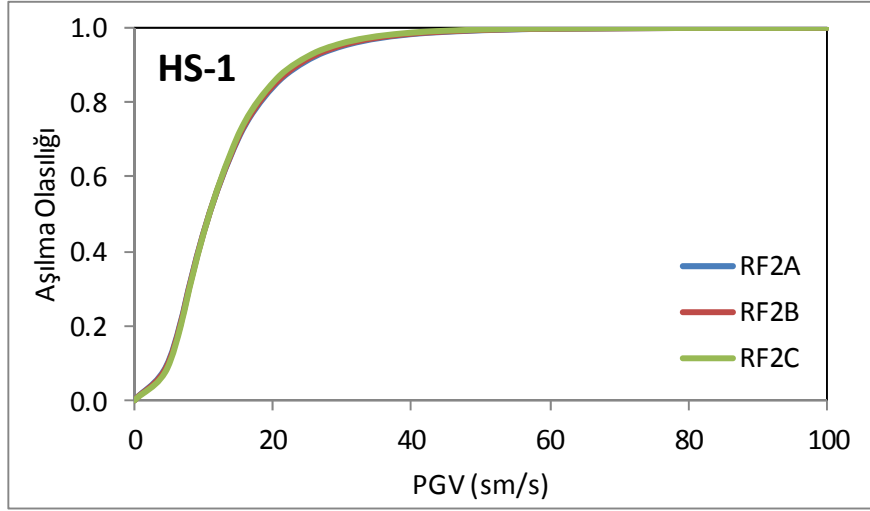
Şekil 85. Az katlı betonarme çerçeve bina alt sınıfları için hasargörebilirlik eğrileri



Şekil 86. Orta katlı betonarme çerçeve bina alt sınıfları için hasargörebilirlik eğrileri



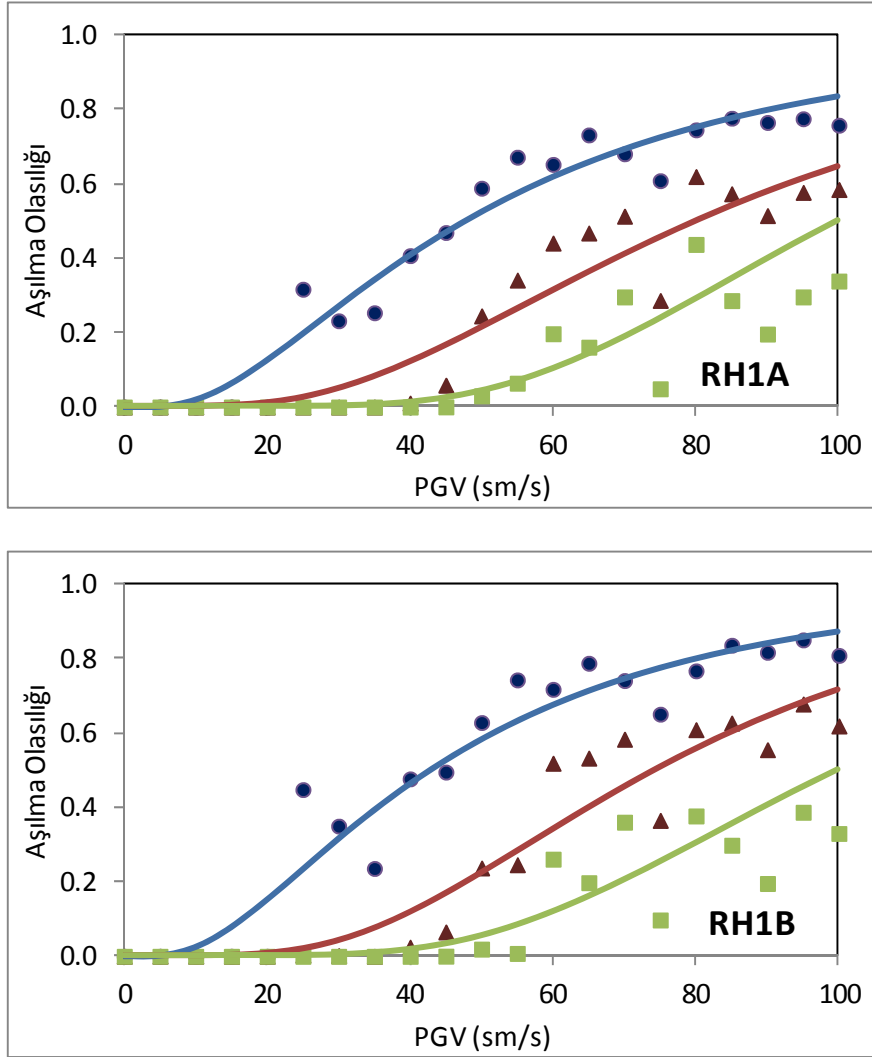
Şekil 87. Az katlı betonarme çerçeve binaların hasargörebilirlik eğrilerinin farklı hasar sınırları (HS) için karşılaştırılması



Şekil 88. Orta katlı betonarme çerçeve binaların hasargörebilirlik eğrilerinin farklı hasar sınırları (HS) için karşılaştırılması

RH1A ve RH1B alt-sınıfları için üç farklı hasar sınırında (az, orta ve ağır) elde edilmiş olan aşılma olasılığı değerleri ve bunlara karşılık gelen lognormal kümülatif dağılıma sahip hasargörebilirlik eğrileri Şekil 89’da verilmiştir. Bu eğrileri betonarme çerçeve bina alt-

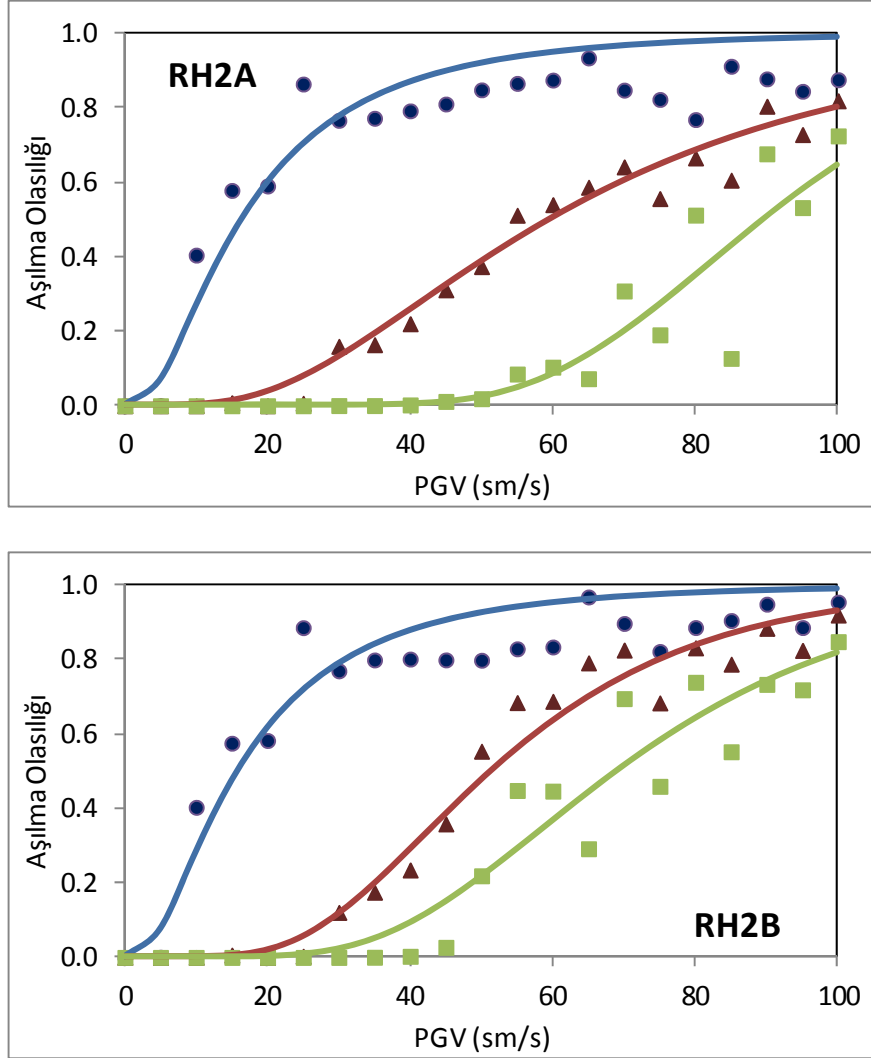
sınıflarının eğrileri (Şekil 85) ile karşılaştırınca, karma binaların daha iyi davranış gösterdiği ortaya çıkmaktadır. Bu aslında beklenen bir durumdur. Elde edilen hasar görebilirlik eğrilerini karşılaştırmak amacıyla aynı eğriler Şekil 91’de bu kez hasar sınırları için bir arada gösterilmiştir. Şekillerden de görüleceği üzere az katlı betonarme karma binalarda depreme dayanıklı tasarım ilkelerinden uzaklaştıkça yapıların deprem etkisi altında hasar görme olasılıkları artmaktadır.



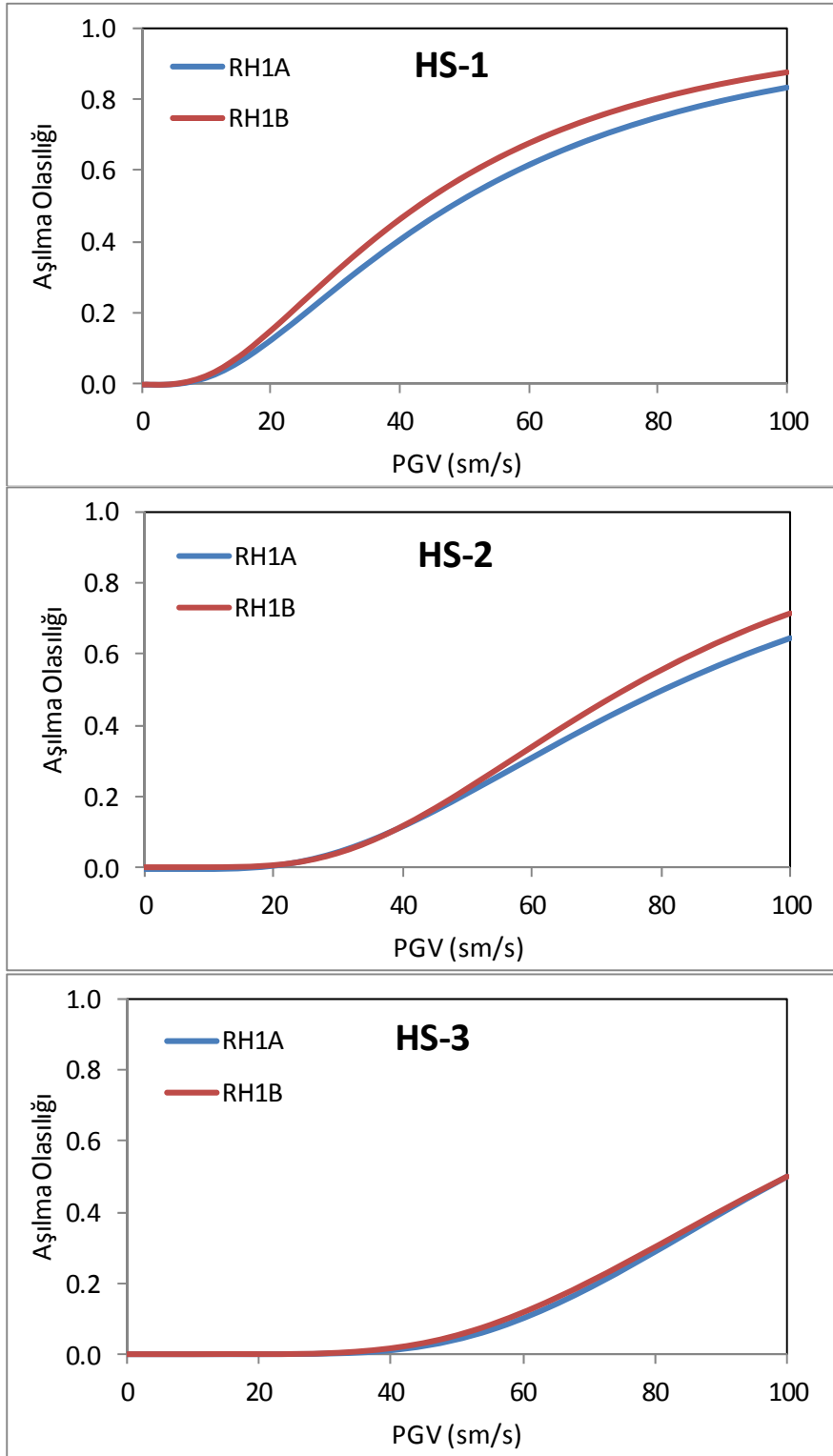
Şekil 89. Az katlı betonarme karma bina alt sınıfları için hasargörebilirlik eğrileri

RH2A ve RH2B alt-sınıfları için üç farklı hasar sınırında (az, orta ve ağır) elde edilmiş olan aşılma olasılığı değerleri ve bunlara karşılık gelen lognormal kümülatif dağılıma sahip hasargörebilirlik eğrileri Şekil 90’da verilmiştir. Şekil 89 ve Şekil 90 beraber incelendiğinde orta katlı betonarme karma yapıların az katlı yapılara göre deprem kuvvetleri açısından daha kırılğan oldukları ortaya çıkmaktadır. Elde edilen hasar görebilirlik eğrilerini karşılaştırmak amacıyla aynı eğriler Şekil 92’de bu kez hasar sınırları için bir arada gösterilmiştir. Az katlı

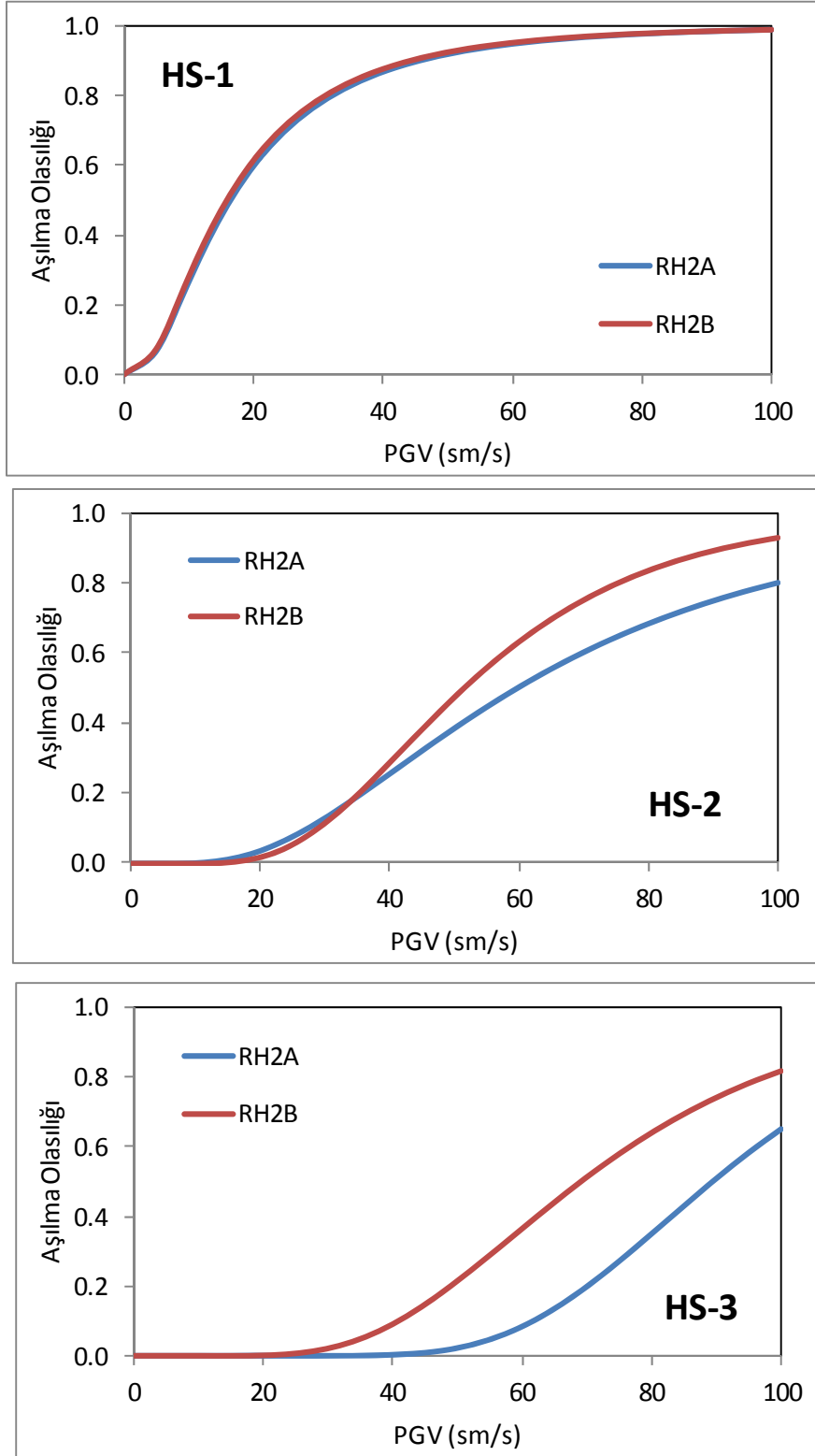
betonarme karma binalarda olduğu gibi, orta katlı betonarme karma binalarda da depreme dayanıklı tasarım ilkelerinden uzaklaştıkça yapıların deprem etkisi altında hasar görme olasılıkları artmaktadır.



Şekil 90. Orta katlı betonarme karma bina alt sınıfları için hasargörebilirlik eğrileri



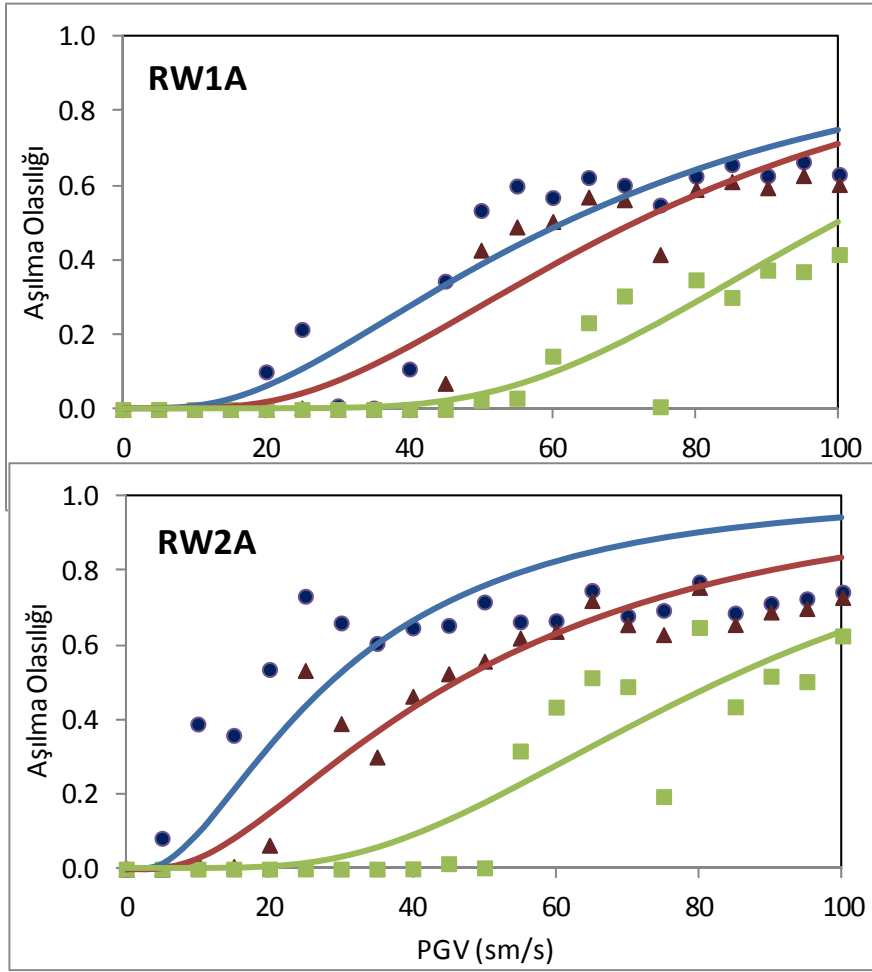
Şekil 91. Az katlı betonarme karma binaların hasargörebilirlik eğrilerinin farklı hasar sınırları (HS) için karşılaştırılması



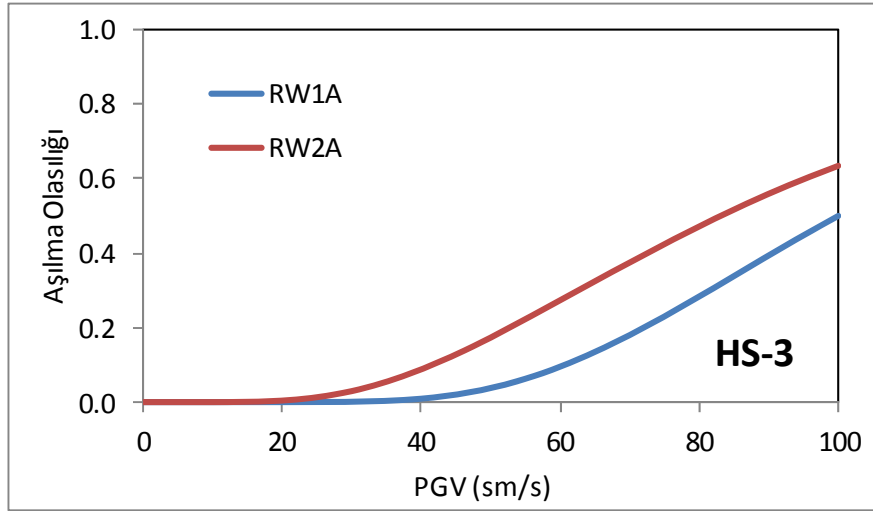
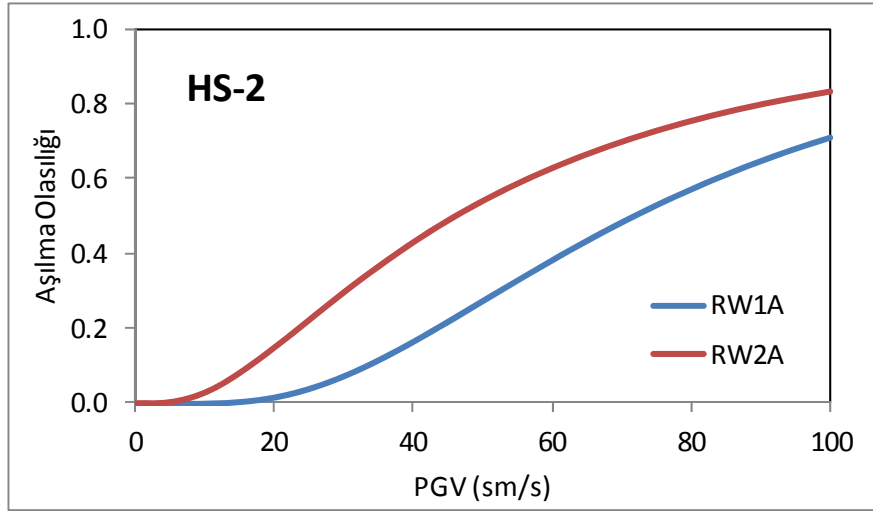
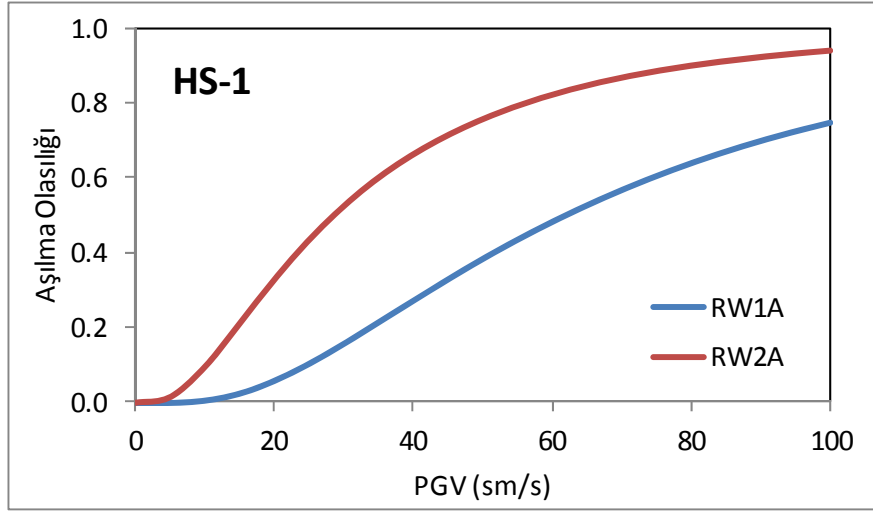
Şekil 92. Orta katlı betonarme karma binaların hasargörebilirlik eğrilerinin farklı hasar sınırları (HS) için karşılaştırılması

RW1A ve RW1B alt-sınıfları için üç farklı hasar sınırında (az, orta ve ağır) elde edilmiş olan aşılma olasılığı değerleri ve bunlara karşılık gelen lognormal kümülatif dağılıma sahip hasargörebilirlik eğrileri Şekil 93'te verilmiştir. Bu eğrileri betonarme çerçevesi ve karma bina alt-sınıflarının eğrileri (Şekil 85 ve 89) ile karşılaştırınca, perde duvarlı binaların en iyi

davranışı gösterdiği ortaya çıkmaktadır. Çünkü bu tür yapılar oldukça rijit, çok az öteleme yapan ve genellikle gelen yükleri elastik davranış sınırları içerisinde karşılayan yapılardır. Akma kapasitesi oldukça yüksek olan ve sınırlı süneklığe sahip olan bu tür yapıların küçük ve orta seviye depremlerde çok az hasar görmesi beklenir. Eğriler de bu durumu bir ölçüde yansıtmaktadır. Elde edilen hasar görebilirlik eğrilerini karşılaştırmak amacıyla aynı eğriler Şekil 94'te bu kez hasar sınırları için bir arada gösterilmiştir.



Şekil 93. Az katlı betonarme perdeli bina alt sınıfları için hasargörebilirlik eğrileri



Şekil 94. Az katlı betonarme perdeli binaların hasargörebilirlik eğrilerinin farklı hasar sınırları (HS) için karşılaştırılması

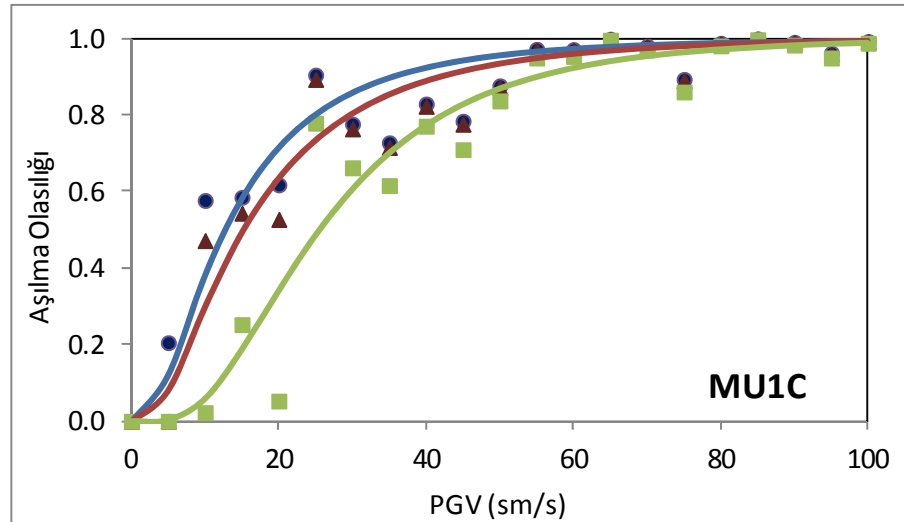
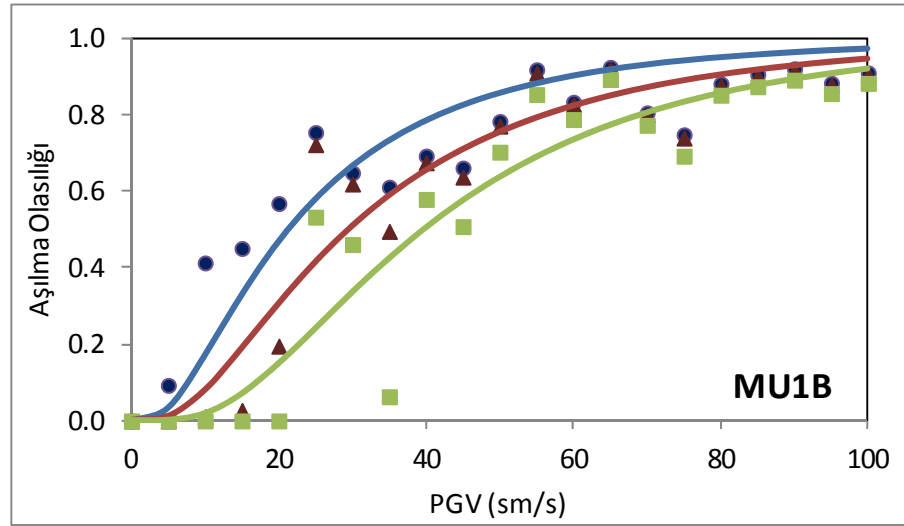
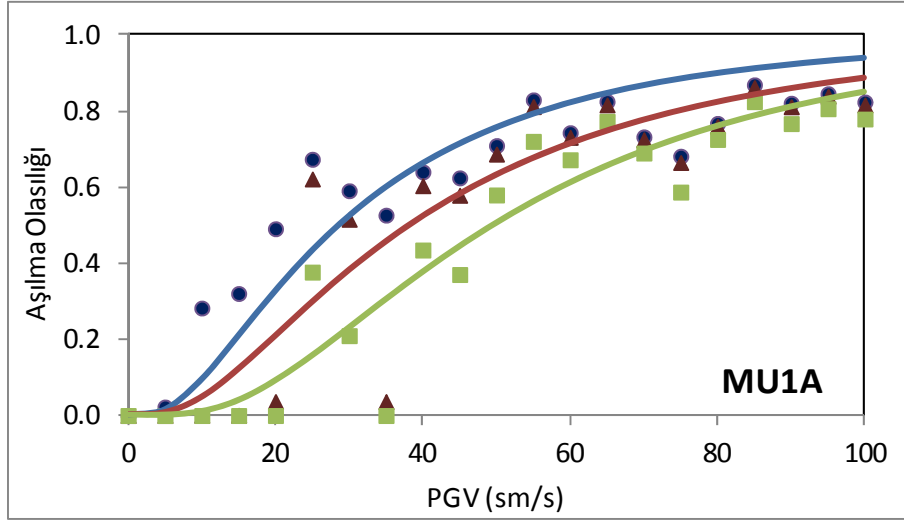
2.5.4 Aşama 5.4: Yığma binaların sentetik yer hareketleri kullanılarak analiz edilmesi ve bu analizler sonucunda hasar potansiyeli eğrilerinin oluşturulması

Yığma binalara ait 9 alt-sınıfın (MU1A, MU2A, MU3A, MU1B, MU2B, MU3B, MU1C, MU2C, MU3C) hasargörebilirlik eğrilerinin oluşturulması için gerekli model parametreleri Tablo 14’te verilmiştir. Bu parametreleri kullanarak gerçekleştirilmiş olan dinamik analizlerle yapı türlerinin talep istatistikleri oluşturulmuştur. Bu amaçla kullanılan 20 adet yer hareketi daha önce Tablo 15’te verilmiş olup, betonarme binalar için kullanılmış olan yer hareketleri ile aynıdır. Aşılma olasılıklarının belirlenmesi için tek dereceli sistem yer değiştirmeleri cinsinden hasar sınırları (az, orta ve ağır) tek katlı yapılar için 0.5, 1.8 ve 8.3 milimetre, iki katlı yapılar için 1.5, 3.7 ve 16.5 milimetre, üç katlı yapılar için ise 2.0, 4.3 ve 25 milimetre olarak kabul edilmiştir. Bu yer değiştirmelere karşılık gelen ötelenme oranları aralıkları sırasıyla %0.02-%0.04, %0.08-%0.12 ve %0.3-%0.5’dir.

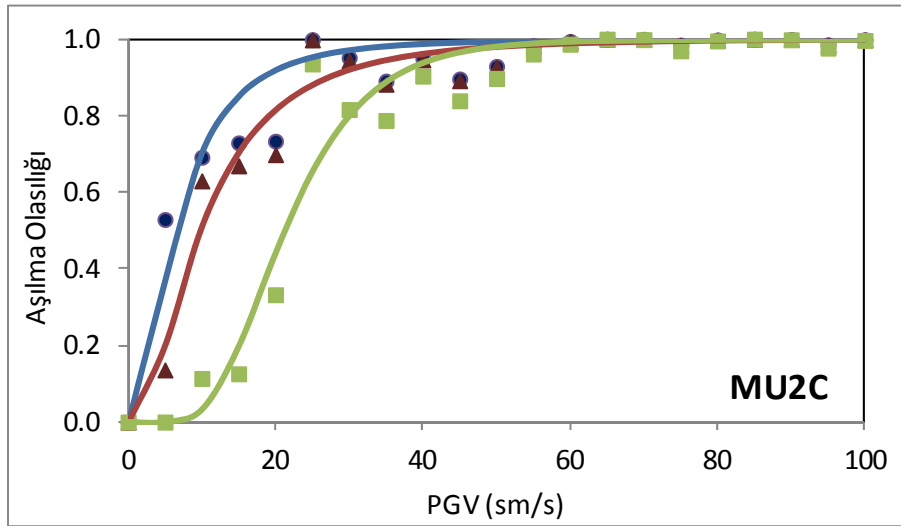
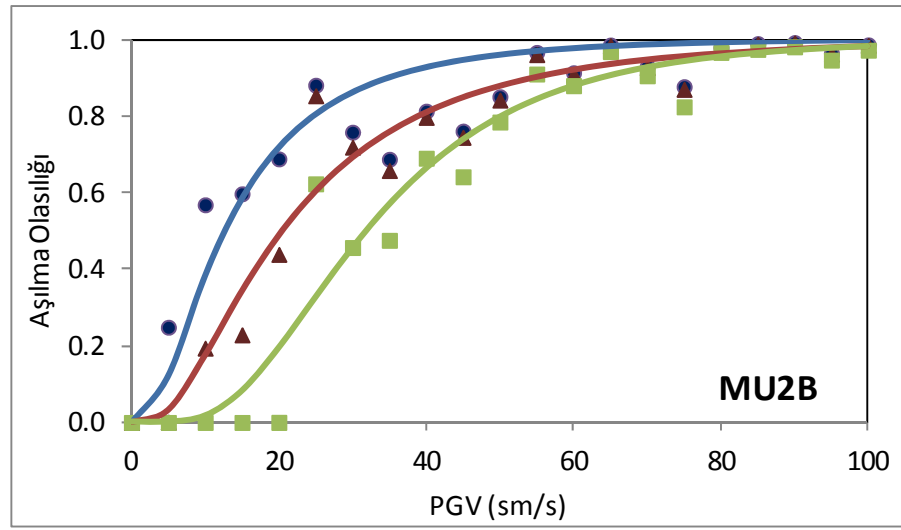
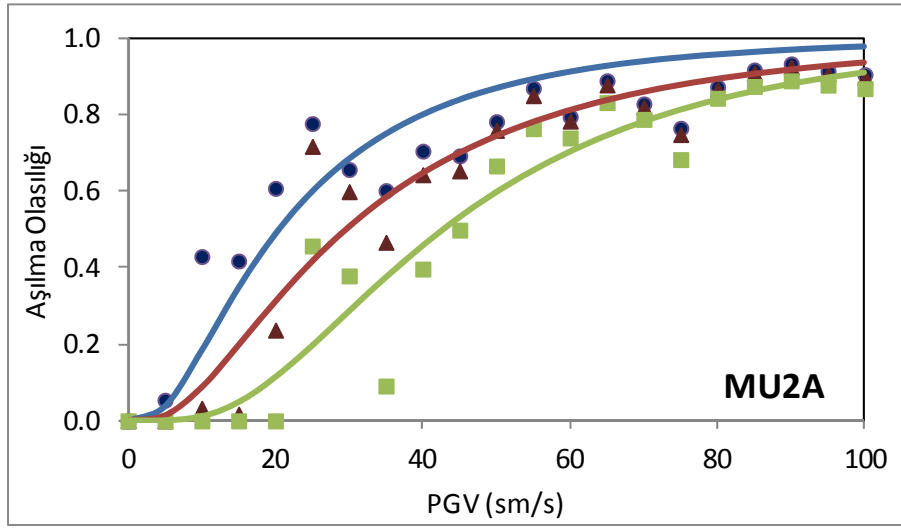
Belirlenmiş olan yer hareketleri ve OPENSEES analiz platformundaki eşdeğer tek dereceli sistem modeli kullanılarak gerçekleştirilen dinamik analizler sonucunda her alt-sınıf için tepki istatistikleri elde edilmiştir. Sonraki aşamada, yukarıda belirtilmiş olan hasar sınırları kullanılarak her bir yer hareketi seviyesindeki aşılma olasılığı elde edilmiştir. Bu aşılma olasılıklarını sürekli bir fonksiyon kullanarak ifade etmek için her bir veri setine lognormal kümülatif dağılım gösteren bir eğri uydurulmuştur. Üç farklı hasar sınırı (az, orta ve ağır) için elde edilmiş olan aşılma olasılığı değerleri ve bunlara karşılık gelen lognormal kümülatif dağılıma sahip hasargörebilirlik eğrileri Şekil 95-97’de verilmektedir.

Şekillerden de görüleceği üzere yığma binalarda katsayısı arttıkça ve depreme dayanıklı tasarım ve yapım ilkelerinden uzaklaşıldıkça yapıların hasargörebilirliği artmaktadır. Farklı hasar sınırlarını temsil eden kırılma eğrilerinin, betonarme çerçeveli binalarla karşılaştırıldığında, birbirlerine daha yakın oldukları gözlenmektedir. Bu durum yığma yapıların kısıtlı yerdeğiştirme kapasitesi ve sünekliğinden kaynaklanmaktadır.

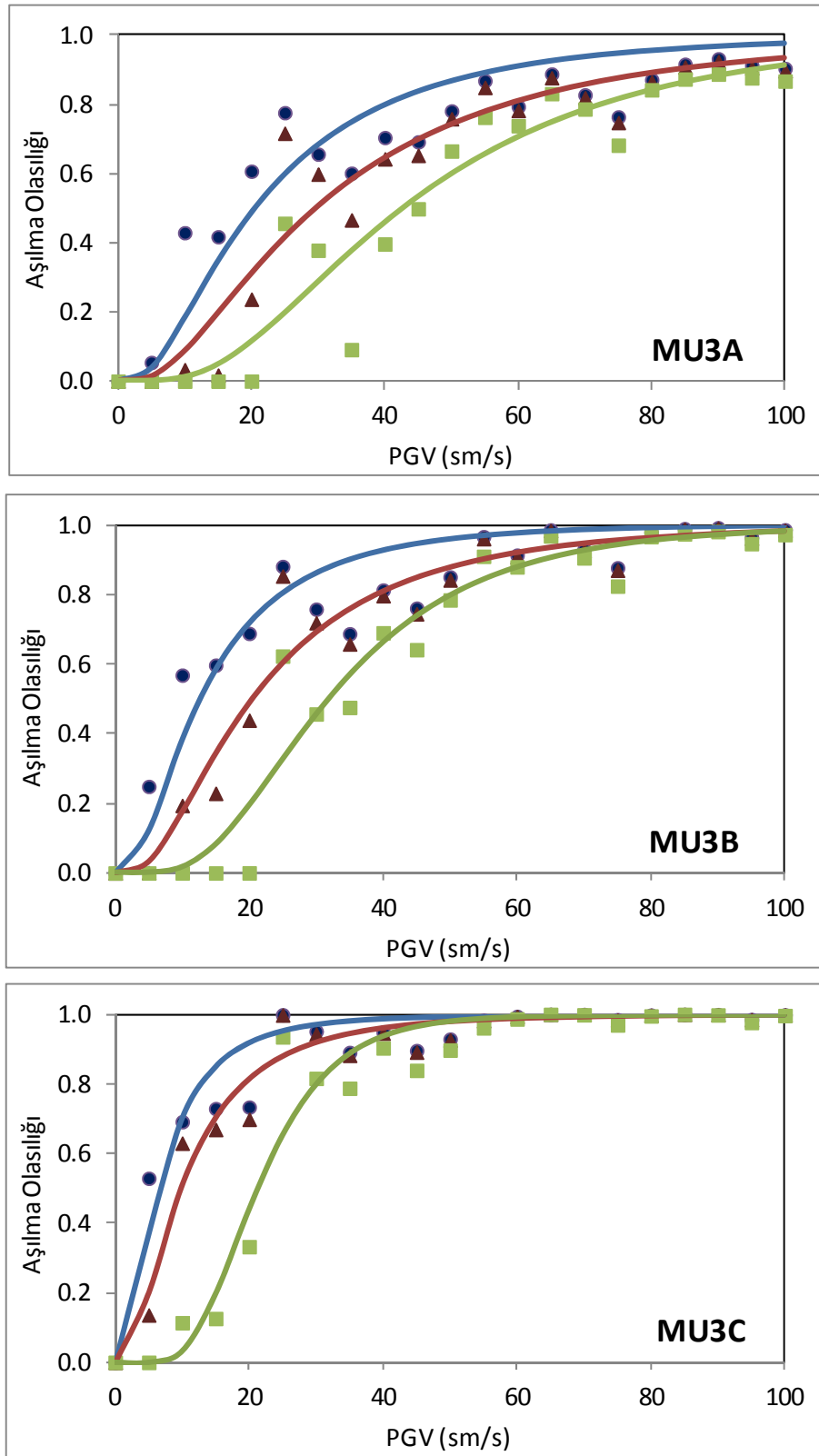
Elde edilen hasar görebilirlik eğrilerini karşılaştırmak amacıyla aynı eğriler Şekil 98-100’de bu kez hasar sınırları için bir arada gösterilmiştir. Bu şekillerde de deprem tasarımı ilkelerine uygun olmadan inşa edilen yığma yapıların depreme dayanıklı olan yapılara göre daha kırılma olduklarını hasargörebilirlik eğrileri tarafından teyit edilmektedir.



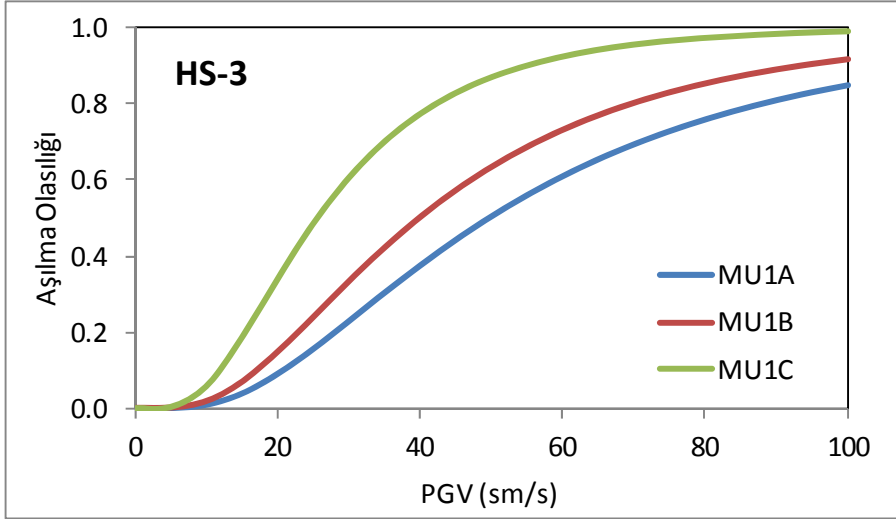
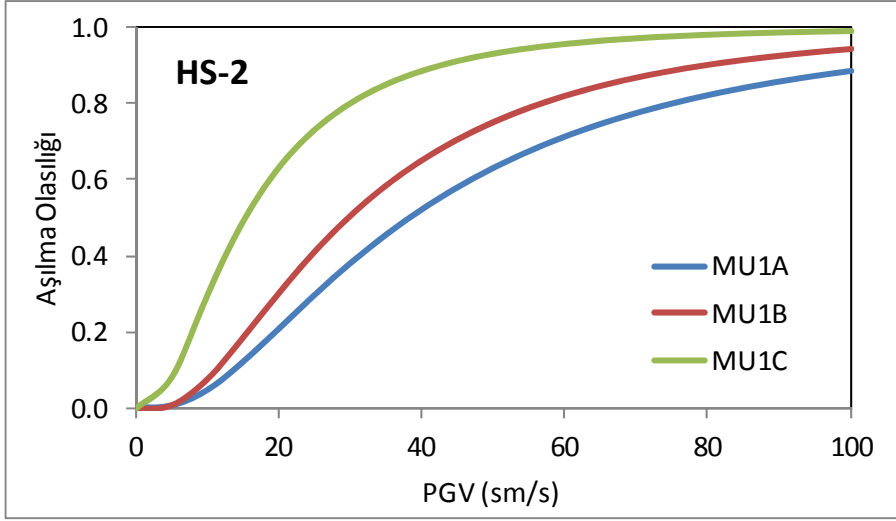
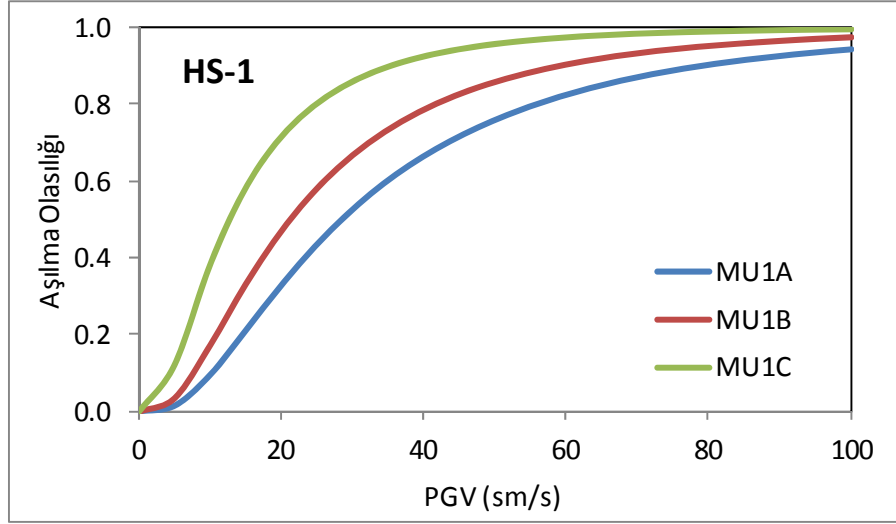
Şekil 95. Tek katlı yağma bina alt sınıfları için hasargörebilirlik eğrileri



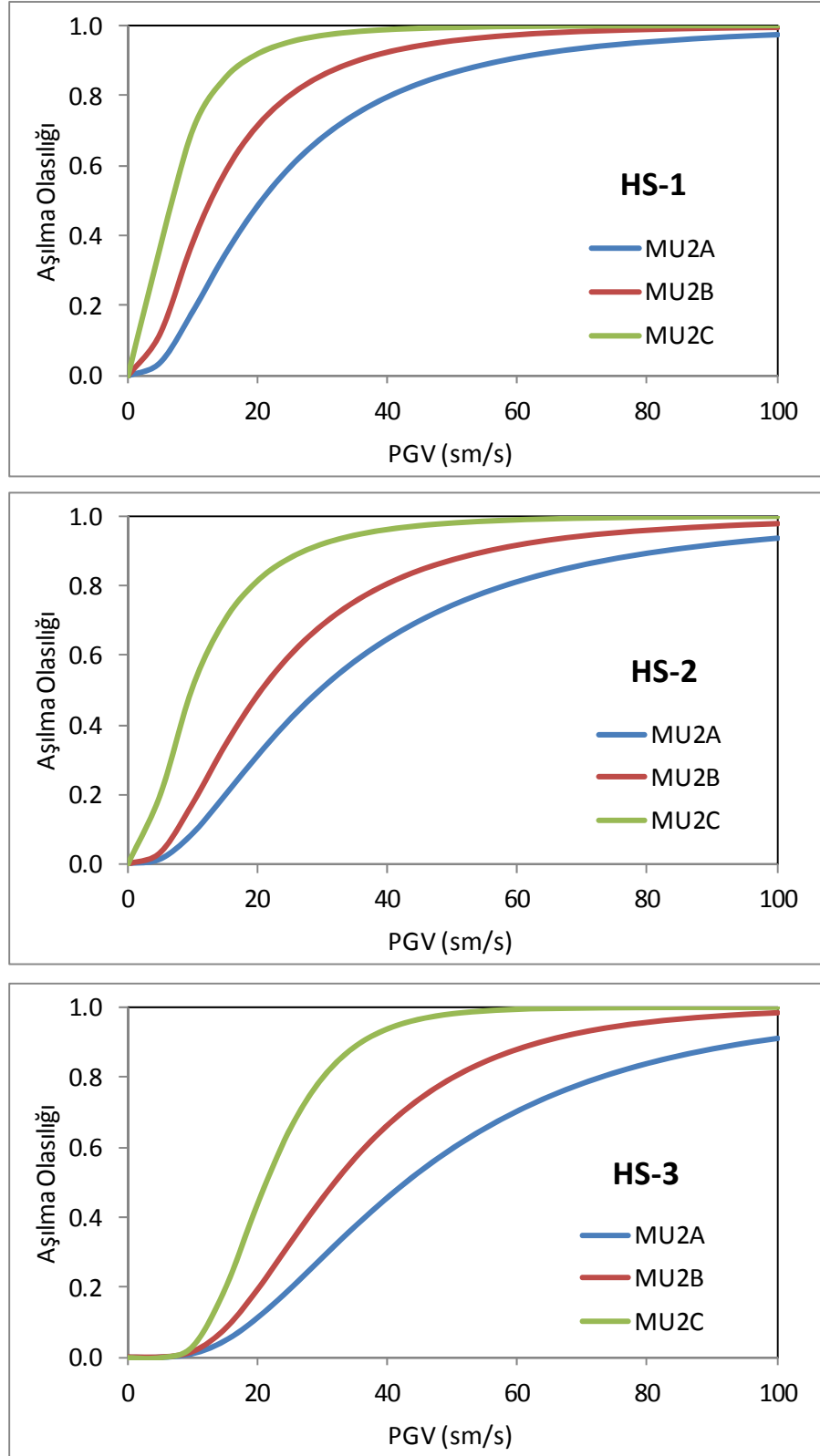
Şekil 96. İki katlı yığma bina alt sınıfları için hasargörebilirlik eğrileri



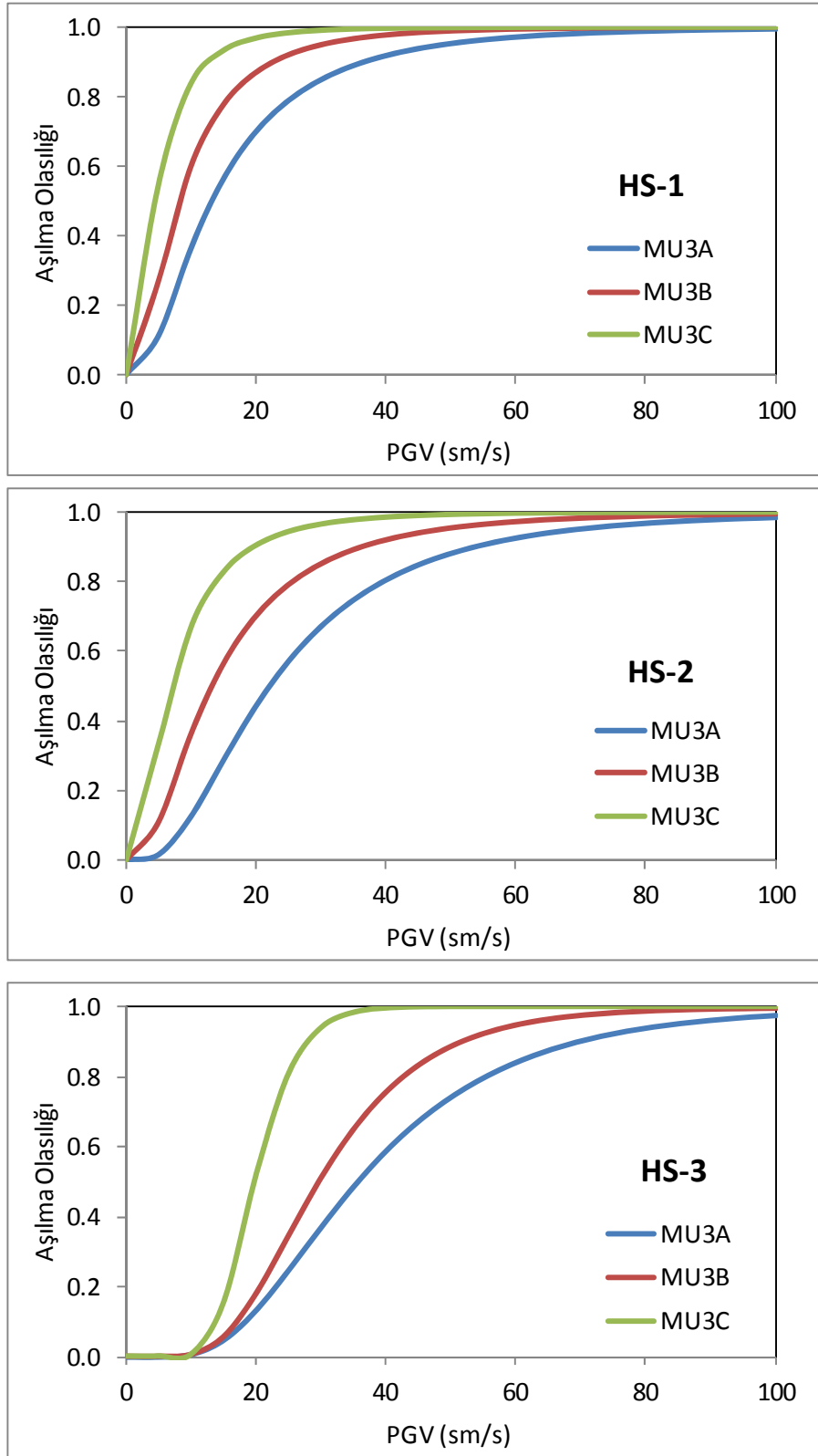
Şekil 97. Üç katlı yığma bina alt sınıfları için hasargörebilirlik eğrileri



Şekil 98. Tek katlı yığma binaların hasargörebilirlik eğrilerinin karşılaştırılması



Şekil 99. İki katlı yığma binaların hasargörebilirlik eğrilerinin karşılaştırılması



Şekil 100. Üç katlı yığma binaların hasargörebilirlik eğrilerinin karşılaştırılması

2.6 Aşama 6: Deprem Hasar Tahmin Çalışması

Bu iş paketindeki nihai amaç, proje kapsamındaki ilk beş Aşama'da elde edilen zemin, yer hareketi ve yapı modellerine dayanarak Erzincan ilinde olası büyük bir deprem için hasar tahmin çalışmaları yapmaktır. Bu amaçla, öncelikle Aşama 6.1'de, daha önce (Kısım 2'de) elde edilen yer hareketleriyle oluşturulan veri tabanından Erzincan il merkezi için kritik bir senaryo deprem seçilmiştir. Aşama 6.2'de ise öncelikle Kısım 2'de elde edilmiş olan kırılma eğrilerini ve hasar belirleme yaklaşımını doğrulamak için 1992 Erzincan depremi için hasar belirlemesi yapılmış ve gözlemlenen hasar dağılımı ile karşılaştırılmıştır. Daha sonra, seçilen senaryo deprem altında Erzincan şehir merkezinde konut tipi yapılarda beklenen olası hasarların dağılımı elde edilmiştir.

2.6.1. Aşama 6.1: Erzincan bölgesi için daha önce oluşturulan büyük magnitudlü deprem senaryolarının karşılaştırılması ve elde edilen veriler sayesinde en uygun olanların belirlenmesi

Bu aşamada, proje raporunda Aşama 4.3'te sunulan senaryo depremler detaylı olarak incelenmiş; şehir merkezinde her bir senaryoda ortaya çıkması beklenen yer hareketleri irdelenmiştir. $M_w=7.0$ ve $M_w=7.5$ senaryoları arasından, $M_w=7.0$ depremi sismik tehlike açısından (il merkezi ve varolan yapıların ömrü düşünüldüğünde daha kritik olan) daha kısa bir tekerrür periyoduna karşılık geldiği ve simülasyonlarda daha gerçekçi yer hareketleri verdiği için seçilmiştir. Bu senaryo deprem altında güneydeki daha yumuşak zeminlerde zemin koşullarından ötürü büyük genlikler ortaya çıkarken kuzeyde ise zeminler daha sert olmasına rağmen faya olan mesafe kısaldığı için yine büyük ivmeler gözlemlenmiştir (bkz. Şekil 57 ve Şekil 63).

2.6.2. Aşama 6.2: Seçilen senaryo deprem kullanılarak Erzincan'dan konut tipi yapılarda görülmesi muhtemel hasar dağılımının tahmin edilmesi ve bölgesel hasar dağılım haritalarının hazırlanması

Bu aşamada, öncelikle bu proje kapsamında geliştirilen sayısal modellerin doğrulanması amacı ile 1992 Erzincan depremi için hasar dağılımı hesaplanmıştır. Daha sonra $M_w=7.0$ senaryo depremi için olası hasarlar belirlenmiş ve haritalandırılmıştır.

Bu projede kullanılan hasar belirleme yaklaşımının aşamaları şu biçimdedir: öncelikle modellenen depreme (1992 Erzincan ya da $M_w=7.0$ senaryo depremine) ait sentetik yer hareketlerinin daha önce hazırlanmış olan simülasyon veritabanından elde edilmesi; her bir yerleşim merkezi için o merkeze ait sentetik ivme zaman kaydının MYH (PGV) değerlerinin bulunması; her yerleşim merkezinde bina tipleri, kat sayıları ile beklenen performans sınıflarının belirlenmesi; MYH değerlerinin ilgili bina sınıfına ait kırılma eğrisinde yerine konulması ile ayrışık (discrete) hasar dağılımının (Hasar Olasılık Matrisi'nin) elde edilmesi; elde edilen hasar dağılımlarından Ortalama Hasar Oranı (OHO) değerlerinin hesaplanması. Burada sözü geçen ve hasar oranları elde etmeye yönelik olan son aşama dışında tüm aşamalar, daha önceki kısımlarda sunulmuştur. Raporun bu kısmında sonuçlardan önce son aşamanın detayları sunulacaktır.

Ortalama Hasar Oranları belirlenirken kullanılan yaklaşım Askan ve Yüçemen (2010)'da sunulmuş olan yöntemdir. Bu modele göre herhangi bir bölge ve yapı sınıfı için Hasar Olasılık Matrisleri (Damage Probability Matrix- DPM) elde edilmektedir. Bu Hasar Olasılık Matrisleri, sahada gözlemler ile doğrudan ampirik ve ayrık oranlar olarak elde edilebileceği gibi sürekli fonksiyonlar olan kırılma eğrilerinden de herhangi bir MYH ya da MYİ değerine bağlı

olarak ayrık hasar oranları cinsinden de hesaplanabilmektedir. Tablo 16, örnek bir Hasar Olasılık Matrisi göstermektedir. Bu matriste deprem yer hareketi, MMI (Değiştirilmiş Mercalli Şiddet ölçeği) ya da MYİ yahut MYH cinsinden ifade edilebilir.

Tablo 16. Örnek bir Hasar Olasılık Matrisi (HOM)

Hasar Durumu (HD)	Merkezi Hasar Oranı MHO (%)	Yer Hareketi Şiddet Parametresi I (MMI, MYİ, MYH vb.)
Hasarsız	0	Hasar Olasılıkları, Pr(HD,I)
Az Hasarlı	5	
Orta Hasarlı	30	
Ağır Hasarlı	70	
Yıkık	100	

Bu matriste Pr(HD,I): İncelenen yapı grubunda I şiddetinde bir deprem etkisi altında HD hasar durumunun gözlemlenme olasılığını, MHO(HD): Hasar durumu HD'ye karşılık gelen Merkezi Hasar Oranını ifade etmektedir. Literatürdeki hasar olasılık matrislerinin birçoğunda deprem etkileri değiştirilmiş Mercalli şiddet ölçeği (MMI) cinsinden ifade edilmiştir. Bu projede ise kırılma eğrileri MYH cinsinden çıkarıldığı için yer hareketi şiddeti (I), MYH ile ifade edilecektir.

Bu matrislerde yer alan hasar durumları (HD) mühendisler ya da araştırmacılar tarafından belirlenen farklı hasar seviyelerinin sözlü ifadeleridir. Hasar durumlarını sayısal olarak ifade etmek için kullanılacak hasar oranı (HO) ise herhangi bir yapının tamir masrafının yapının yeniden inşaa masrafına oranıdır ve değeri 0%-100% arasında değişir. Ancak pratikte yalnızca birkaç tane ayrı grup hasar durumu olduğu için her hasar durumunu yaklaşık olarak tek bir rakamla göstermek amacıyla Merkezi Hasar Oranları (MHO) tanımlanmıştır. Tablo 16'daki merkezi hasar oranları Gürpınar vd. (1978)'den alınmıştır.

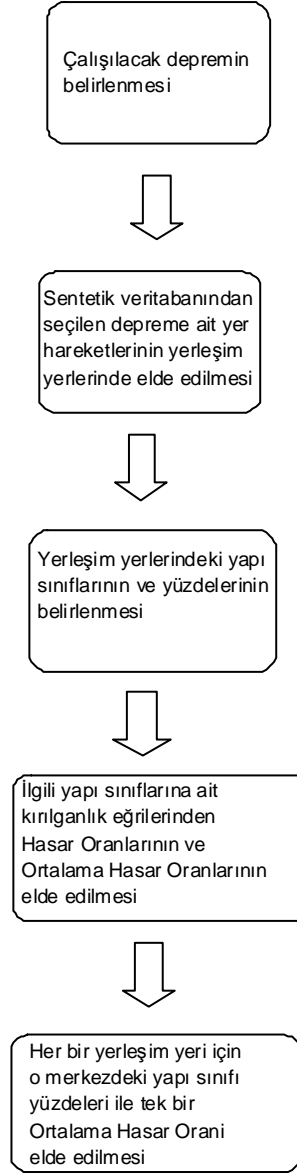
Bazı durumlarda tüm matrisi kullanmak yerine, belirli bir deprem şiddeti altında yapıların durumunu tek bir hasar oranı ile göstermek gereklidir. Bu amaçla, Ortalama Hasar Oranı (OHO) aşağıdaki gibi tanımlanmıştır:

$$OHO(I) = \sum_{HD} Pr(HD, I) * MHO(HD) \quad (23)$$

Bu denklemde OHO(I): Deprem şiddeti ya da yer hareketi parametresi I'ya karşılık gelen Ortalama Hasar Oranı'nı ifade etmektedir.

Bu çalışmada kırılma eğrileri MYH cinsinden tanımlandığı için, hasar olasılıkları, kırılma eğrilerinden her bir yerleşim merkezindeki ilgili depreme ait MYH değerine karşılık gelen değer olarak okunmuştur. Daha sonra, Denklem 23 aracılığı ile her yerleşim merkezinde her bir yapı sınıfı tipi için Ortalama Hasar Oranı (OHO) hesaplanmıştır. Farklı yapı tipleri için bulunan OHO değerleri o yerleşim merkezindeki farklı yapı tiplerinin dağılım yüzdeleri oranında birleştirilmiş ve her bir yerleşim merkezinde modellenen depreme ait tek bir OHO değeri bulunmuştur.

Yukarıda detaylı olarak tarif edilen hasar belirleme algoritması Şekil 101’de sunulan akış şemasında özetlenmiştir.



Şekil 101. Hasar oranlarının belirlenmesinde kullanılan yöntemin akış şeması

Yöntem özetinden sonra bu kısımda öncelikle Erzincan il merkezindeki farklı yerleşim merkezlerinde varolan yapı sınıfı dağılımı sunulmuştur. Tablo 17, her bir yerleşim merkezi için ilgili yapı dağılımlarını göstermektedir.

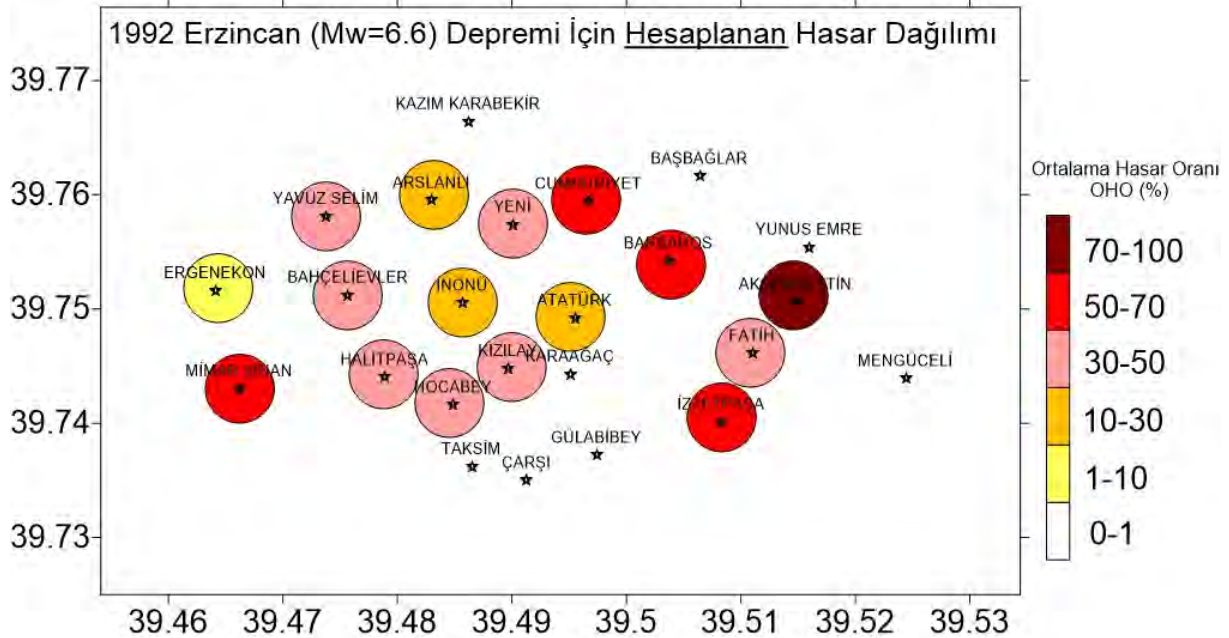
Tablo 17. Erzincan il merkezindeki farklı yerleşim merkezlerindeki yapı sınıfı dağılımı

Yerleşim Merkezi	Enlem	Boylam	RF (%)	MU (%)	RCW (%)	Az Kath RF/RH/ RFW (%)	Orta Kath RF/RH/ RFW (%)	1 Kath MU (%)	2 Kath MU (%)	3 Kath MU (%)
İNÖNÜ	39.7505	39.4857	43	57	-	90	10	40	44	16
İZZETPAŞA	39.7401	39.5083	16	84	-	99	1	84	14	2
AKŞEMSETTİN	39.7506	39.5148	10	90	-	92	8	90	8	2
ARSLANLI	39.7595	39.4830	50	50	-	81	19	45	25	30
ATATÜRK	39.7492	39.4955	40	60	-	86	14	25	39	36
BAHÇELİEVLER	39.7512	39.4757	49	51	-	90	14	24	35	41
BARBAROS	39.7542	39.5037	20	80	-	100	0	41	34	25
CUMHURİYET	39.7594	39.4967	15	85	-	90	10	40	44	16
ERGENEKON	39.7516	39.4641	89	11	-	16	84	40	34	26
HALİTPAŞA	39.7440	39.4789	6	94	-	97	3	65	25	10
HOCABEY	39.7416	39.4849	4	96	-	99	1	74	19	7
KIZILAY	39.7448	39.4897	10	90	-	99	1	95	2	3
MİMAR SİNAN	39.7430	39.4662	78	22	-	84	16	48	35	17
YAVUZ SELİM	39.7581	39.4738	70	30	-	69	31	23	34	43
YENİ	39.7574	39.4901	27	73	-	91	9	59	26	15
FATİH	39.7461	39.5110	-	84	16	88	12	86	7	7

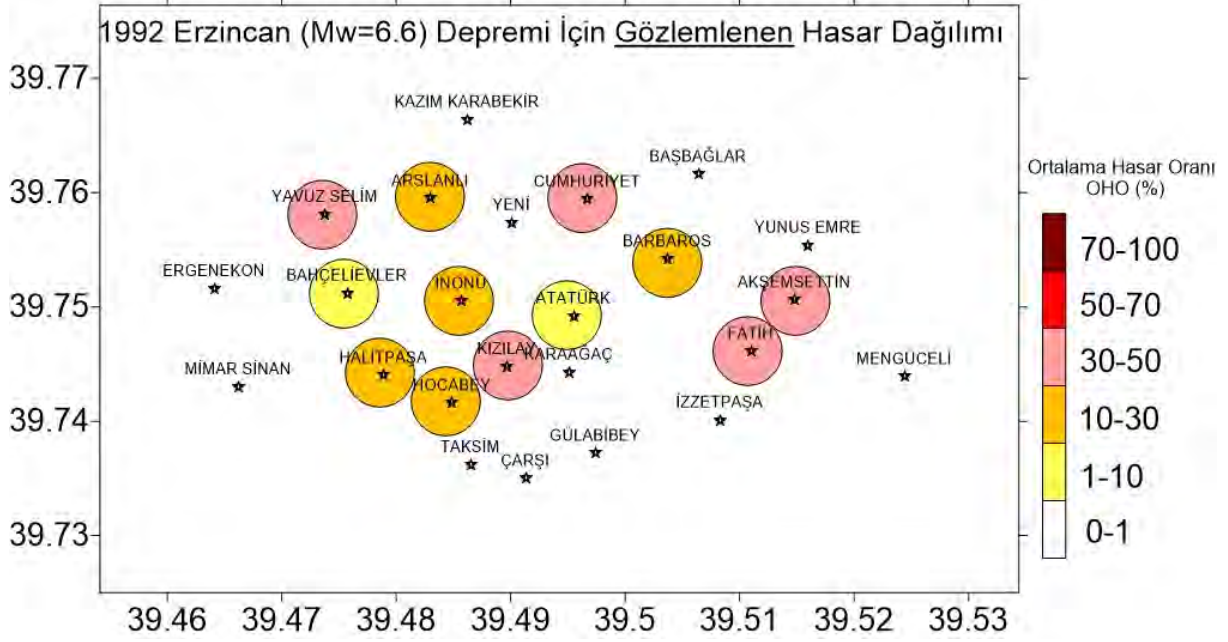
Daha önce belirtildiği gibi, önce 1992 Erzincan depremindeki hasar dağılımı modellenilecek ve veriler ile karşılaştırılacak daha sonra senaryo depremde beklenen hasarlar sunulacaktır. Tablo 18, 1992 Erzincan depremi için her yerleşim merkezinde elde edilen sentetik yer hareketi MYH (PGV) değerini ve Şekil 101'deki algoritmanın uygulaması ile elde edilen (hesaplanan) Ortalama Hasar Oranlarını sunmaktadır. Depreme ait gözlemsel veriler ise Sucuoğlu ve Tokyay (1992), Şengezer (1993), Erdik v.d. (1994) çalışmalarından alınmıştır. 1992 Erzincan depremi için hesaplanan ve gözlemlenen OHO değerleri sırasıyla Şekil 102 ve 103'te harita üzerinde gösterilmiştir. Görüldüğü üzere, gözlemsel hasar oranı bulunan yerleşim yerlerinin yaklaşık %50'sinde OHO değerleri doğru hesaplanmıştır. Diğer yerleşim yerlerinde ise gözlemlenen OHO diliminden bir sonraki OHO dilimine karşılık gelen değerler hesaplanmıştır. Çoğunlukla da faya yakın olan şehrin Batısındaki yerleşim yerlerinde, gözlemlenenden daha büyük OHO değerleri hesaplanmıştır. Bu farkların sebebi sahada gözlemler sırasında yapı hasar oranları belirleme sürecindeki subjektiflikten kaynaklanan belirsizlikler yahut hesaplamalarda kullanılan model parameterlerine ait varsayımlardır (Örn.: Yer hareketi simülasyon parametreleri, seçilen yapı performans sınıfları gibi). Ancak sonuç olarak, hesaplanan hasarın gözlemlenen hasardan çok farklı olmadığı ve sunulan yöntemin Mw=7.0 senaryo depremi hasar dağılımı elde etmek için kullanılabileceği kanısına varılmıştır.

Tablo 18. 1992 Erzincan depremi için her yerleşim merkezinde elde edilen sentetik yer hareketinin MYH (PGV) cinsinden değeri ve bu projede sunulan yöntemle hesaplanan Ortalama Hasar Oranları

Yerleşim Merkezi	Enlem	Boylam	MYH (cm/s)	OHO (%)
İNÖNÜ	39.7505	39.4857	22.12	17.6
İZZETPAŞA	39.7401	39.5083	53.51	59.12
AKŞEMSETTİN	39.7506	39.5148	72.19	72.03
ARSLANLI	39.7595	39.483	25.5	19.94
ATATÜRK	39.7492	39.4955	23.79	22.17
BAHÇELİEVLER	39.7512	39.4757	50.34	38.65
BARBAROS	39.7542	39.5037	40.37	50.06
CUMHURİYET	39.7594	39.4967	55.97	66.57
ERGENEKON	39.7516	39.4641	23.06	7.13
HALİTPAŞA	39.744	39.4789	29.13	36.11
HOCABEY	39.7416	39.4849	29.27	35.72
KIZILAY	39.7448	39.4897	37.29	42.3
MİMAR SİNAN	39.743	39.4662	62.97	59.89
YAVUZ SELİM	39.7581	39.4738	61.75	40.04
YENİ	39.7574	39.4901	30.39	31.99
FATİH	39.7461	39.511	50.94	44.27



Şekil 102. Erzincan 1992 Depremi için yerleşim merkezlerinde bu projede sunulan yöntemlerle hesaplanan hasar dağılımı



Şekil 103. Erzincan 1992 Depremi sırasında yerleşim merkezlerinde gözlemlenen hasar dağılımı

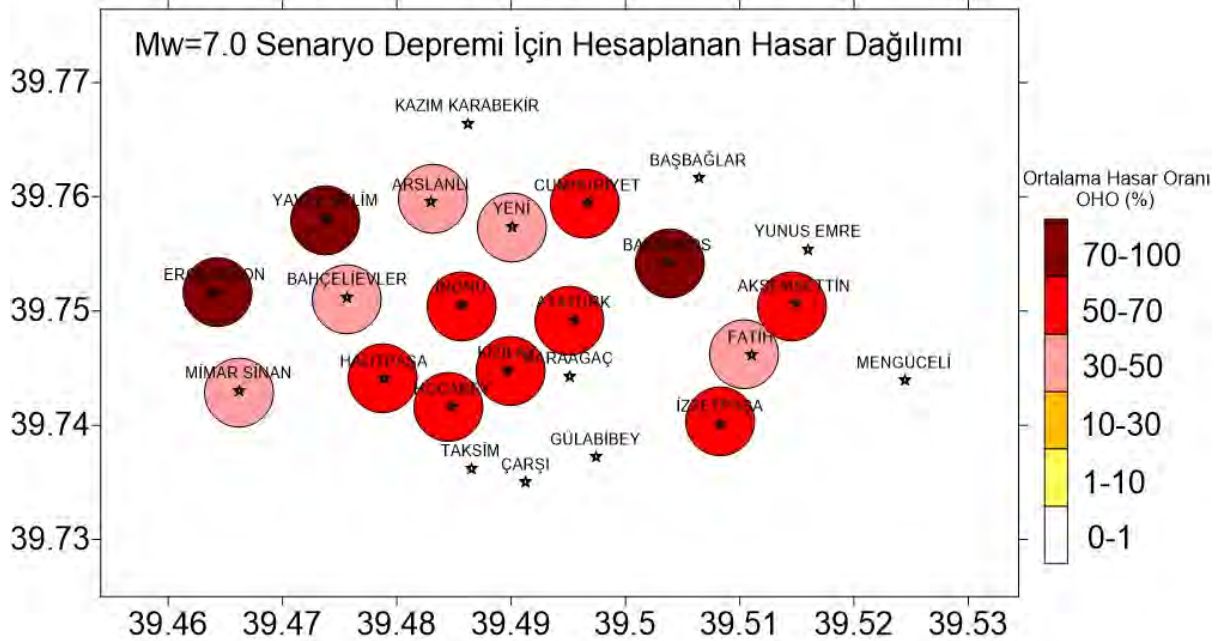
Erzincan ilinde gerçekleşmesi muhtemel Mw=7.0 senaryo depremi için yine Şekil 101’de sunulan akış şemasına göre hasar oranları hesaplanmış ve sonuçlar Tablo 19 ve Şekil 104’de gösterilmiştir. Görüldüğü üzere, 3 yerleşim merkezinde ağır hasar veya yıkıma karşılık gelen hasar oranları (70-100%) elde edilirken, 8 yerleşim merkezinde orta-ağır hasara karşılık gelen hasar oranları (50-70%) hesaplanmıştır. Diğer yerleşim merkezlerinde ise %30-50 oranlarında hasar bulunmuştur. Özetle, Mw=7.0 senaryo depremi, il merkezinde oldukça belirgin bir orta-ağır yapısal hasar dağılımını açığa çıkarmıştır. Bu sonuçlar yorumlanırken dikkate alınması gereken bir takım noktalar vardır, bunlar aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Senaryo deprem tasarlanırken Kısım 2.4’te sunulduğu gibi deprem dış merkezi, Erzincan il merkezine mesafe ve konum olarak en kritik hasarı oluşturacak biçimde seçilmiştir.
- Yerleşim merkezlerindeki yapı hasar görebilirlikleri, Kısım 2.5’de sunulan kırılma eğrileri ile ifade edilmiştir. Bu eğriler hazırlanırken kullanılan sayısal analizlere ve yapısal modellere ait belirsizlikler ile yerleşim merkezlerinde halihazırda varolan yapıların farklı yapı performans sınıflarına atanması sırasındaki hatalar göz önünde bulundurulmalıdır.

Diğer taraftan, tüm model hataları (veri ve parametre seçimine ait standart sapmalar) düşünüldüğünde dahi Erzincan il merkezinde sismik tehlike, risk ve yapısal güvenlik ile ilgili ciddi sorunlar bulunduğu ve büyük bir deprem daha olmadan bölgede çözüm arayışına gidilmesi gerektiği çok açık bir biçimde ortaya çıkmıştır. Proje ekibi, bir sonraki bölümde (Özet, Sonuç ve Öneriler)’de bu aşama ve diğer aşamalar ile ilgili görüş ve önerilerini detaylı bir biçimde ifade etmişlerdir.

Tablo 19. Mw=7.0 senaryo depremi için her yerleşim merkezinde elde edilen sentetik yer hareketinin MYH (PGV) cinsinden değeri ve bu projede sunulan yöntemle hesaplanan Ortalama Hasar Oranları

Yerleşim Merkezi	Enlem	Boylam	MYH(cm/s)	OHO (%)
İNÖNÜ	39.7505	39.4857	65.84	68.75
İZZETPAŞA	39.7401	39.5083	59.43	64.1
AKŞEMSETTİN	39.7506	39.5148	55.42	61.51
ARSLANLI	39.7595	39.483	39.62	36.71
ATATÜRK	39.7492	39.4955	58.37	64.09
BAHÇELİEVLER	39.7512	39.4757	61.55	48.13
BARBAROS	39.7542	39.5037	62.99	70.6
CUMHURİYET	39.7594	39.4967	42.84	54.42
ERGENEKON	39.7516	39.4641	102.91	73.56
HALİTPAŞA	39.744	39.4789	50.78	61.97
HOCABEY	39.7416	39.4849	42.33	53.21
KIZILAY	39.7448	39.4897	52.91	58.91
MİMAR SİNAN	39.743	39.4662	53.53	45.61
YAVUZ SELİM	39.7581	39.4738	101.7	72.46
YENİ	39.7574	39.4901	38.34	42.34
FATİH	39.7461	39.511	95.1	69.05



Şekil 104. Mw=7.0 senaryo depremi için yerleşim merkezlerinde bu projede sunulan yöntemlerle hesaplanan hasar dağılımı (Senaryo depremle ilgili detaylar Kısım 2.4'te sunulmuştur)

3. ÖZET, SONUÇ VE ÖNERİLER

3.1 Özet

2012-2015 yılları arasında Orta Doğu Teknik Üniversitesi'nde sürdürülen bu proje kapsamında Erzincan ilinde detaylı olarak sismik tehlike ve risk analizleri yapılmıştır. Bu çalışmanın ana çıktıları ve bu çıktıların ileride başka çalışmalar için doğrudan kullanılabilceği durumlar aşağıda özetlenmiştir:

- Çalışma kapsamında 1. Aşama'da Erzincan civarındaki aktif faylar belirlenmiştir. Bu amaca yönelik olarak tarihsel ve aletsel döneme ait rapor ve kataloglar tek tek taranmış, Erzincan ve civarında hasara yol açmış tüm depremler belirlenmiştir. Yine, paleosismoloji çalışmaları detaylı olarak incelenmiş, depremler faylarla ilişkilendirilmiştir. Bunlara ilaveten, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü tarafından 2012 yılında yenilenen fay haritaları detaylı olarak çalışılmış, Erzincan civarındaki aktif faylar belirlenmiştir.
- Projede 2. Aşama'da alüvyon bir basen olan Erzincan Baseni'nde yeralan Erzincan il merkezinde, Kuzey-Güney ve Doğu-Batı doğrultularında 9 sahada 1-boyutlu hız modelleri çıkarılmıştır. Bu hız modelleri, dalga yayılım, zemin büyütme, saha tepki analizlerinde doğrudan kullanılabilir. Öte yandan, ileride bu sonuçlardan bir ya da iki yönde 2-boyutlu hız modelleri çıkarılabilecektir. Bu modeller ile, heterojen bir basen olan bu bölgede ileri sayısal modelleme yöntemleri kullanarak ileride yapılabilecek tüm dalga yayılımı (full wave propagation) ile ilgili çalışmalara zemin hazırlanmıştır.
- Çalışmanın 3. Aşamasında Olasılıksal Sismik Tehlike Analizleri (OSTA) yapılmıştır. Bu analizlerde, önceki aşamalarda çalışılmış olan bölgesel kaynaklar, katalog bilgileri, azalım ilişkileri ve yerel zemin özellikleri ile bu kısımda Erzincan il merkezinde seçilen 123 düğüm noktasında analizler yapılmış ve farklı yer hareketi parametreleri (maksimum yer ivmesi ve spektral ivmelere) ile farklı tekerrür süreleri için olasılıksal ve mekansal dağılımlar elde edilmiştir. Bu OSTA sonuçları, ileride bölgede herhangi bir noktanın sismik tehlikesinin belirlenmesinde, herhangi bir yapı üzerinde etkimesi muhtemel sismik kuvvetlerin (maksimum ya da spektral değerler cinsinden) değerlendirilmesinde doğrudan kullanılabilir.

Projede 4. Aşama'da Yer Hareketi Simülasyonları yapılmıştır. Bu analizler, temel olarak Erzincan'da olması muhtemel depremlerde ortaya çıkabilecek yer hareketlerinin sayısal olarak modellenmesini içermektedir. Senaryo depremlerin modellenmesinden önce, simülasyon parametreleri 1992 depremi yer hareketleri ile doğrulanmıştır. Daha sonra, il merkezinde en fazla hasara yol açabilecek bir dış merkez kullanılarak farklı büyüklüklerde senaryo depremler modellenmiştir. Elde edilen yer hareketleri ile sentetik bir yer hareketi veritabanı oluşturulmuştur.

- Raporunda belirtildiği gibi ne yazık ki Erzincan'da sismik aktivitenin yoğunluğuna rağmen yeterli miktarda yer hareketi verisi bulunmamaktadır. Dolayısıyla, tamamen bölgesel parametreler ile sahaya-özü olarak elde edilen bu yer hareketleri, ileride bölgede yapılacak mühendislik sismolojisi ve deprem mühendisliği ile ilgili tüm çalışmalarda (sentetik) yer hareketi verisi olarak doğrudan kullanılabilir.
- Proje kapsamında 5. Aşama'da önce Erzincan bölgesindeki yapılar yerinde incelenerek yapı özellikleri belirlenmiş; sonra bu yapı tiplerinin fiziksel özelliklerini taşıyan sayısal

modeller kurulmuştur. Bu modellerin Aşama 4'te elde edilmiş bölgeye özgü yer hareketleri altında doğrusal olmayan analizleri ile her bir yapı sınıfı için kırılma eğrileri elde edilmiştir. Bu kırılma eğrileri, farklı depremler altında bölgede görülmesi muhtemel yapısal hasarın belirlenmesi amacıyla kullanılabilir. Eğriler çıkarılırken bölgeye ait yer hareketlerinin kullanılmasının literatürde çok örneği bulunmayan özgün bir hasargörebilirlik belirleme yöntemi olduğu düşünülmektedir.

- Projedeki (son) 6. Aşama'da ise daha önce elde edilmiş olan yer hareketi seti ve yapı kırılma eğrileri ile Erzincan ilinde meydana gelmesi muhtemel bir büyük depreme ait hasar dağılımı modellenmiştir. Elde edilen dağılımın gerçekçiliği hakkında fikir sahibi olabilmek amacıyla önce 1992 Erzincan depremi için hasar belirlenmiş ve modellenen ile gözlemlenen hasarlar karşılaştırılmıştır. Bu projede önerilen yöntem, içerdiği tüm belirsizliklere rağmen verilere yakın sonuçlar vermiştir.

3.2 Sonuç

Bu çalışmaya dair temel gözlem ve sonuçlar aşağıdaki gibidir:

- Bu projede gerçekleştirilmiş olan detaylı hız modellerine dayanan yer hareketi, sismik tehlike ve yapısal analizler tamamen bölgesel özellikler ile elde edilmiştir. Bu durum, bu proje kapsamında, genel (generic) özellikler kullanan çalışmalara göre, daha gerçekçi sonuçlar elde edilmesine yol açmıştır.
- Literatürde bulunan benzer çalışmaların bir çoğunda bir ya da birkaç aşama (zemin, yer hareketi, ya da yapısal özellikler) detaylı analizler olmadan, çoğunlukla varsayımlarla ya da başka bölgelerden alınan model parametreleri ile kurulmaktadır. Öte yandan, bu proje kapsamında ilk kez bir şehir bazında deprem kaynağından başlayıp, zemin ve dalga yayılım özellikleri göz önüne alınarak yapısal hasara dek uzanan geniş spektrumlu, mühendislik sismolojisi ve deprem mühendisliği temel ilkelerine dayanan disiplinlerarası bir hasar belirleme algoritması sunulmuştur.
- Projede geliştirilmiş olan algoritma ülkemizde ya da dünyada başka bölgeler/iller için de kullanılabilir. Öte yandan, Kısım 2'de özetlenmiş olan her bir aşama, ileride başka çalışmalarda bağımsız birer modül olarak da faydalı olabilir.
- Yer hareketi dağılım haritalarından ve yapısal hasar dağılımlarından görülebileceği üzere, Erzincan il merkezinde, çevredeki aktif faylar ve yakınlıklarından ötürü ciddi bir sismik tehlike; yapısal kusurlardan ötürü de sismik risk mevcuttur. Ülkemizde deprem risk çalışmalarının birçoğu doğal olarak Batı'ya, sanayi ve nüfusun daha yoğun olduğu bölgelere odaklanmıştır. Ancak, Erzincan'ın gevşek zeminlerden oluşan bir basende yer aldığı, çevresindeki faylara (Kuzey Anadolu, KuzeyDoğu Anadolu ve Ovacık fayları) çok yakın bir mesafede olduğu ve dünyada çok nadir görülen üçlü-fay sistemi kesişim bölgesi (Kuzey Anadolu, KuzeyDoğu Anadolu ve Doğu Anadolu Fayları) olan Karlıova'ya yakınlığı düşünüldüğünde, il merkezindeki yapıların sismik güvenlikleri olası bir büyük depremden önce acilen ve detaylı bir biçimde incelenmelidir.
- Bu projede elde edilen sonuçlar gözlemler ile doğrulanmıştır ancak yine de tahmin sonuçları değerlendirilirken, tüm aşamalarda kullanılmış olan model parametrelerinden ve sayısal modellerin kendilerinden kaynaklanan hatalar ve belirsizlikler göz önünde bulundurulmalıdır.

3.3 Öneriler

İleride yapılacak benzeri çalışmalar için proje ekibince getirilen temel öneriler şunlardır:

- Gelecekte yapılabilecek çalışmalarda, daha çok veri kullanılarak ve model belirsizlikleri azaltılarak daha detaylı modeller ile analizlerin yapılması;
- Türkiye’de bulunan sismik tehlikesi yüksek diğer bölgeler için de benzer çalışmalara öncelik verilerek ivedilikle sonuç elde edilmesi;
- Bu ve benzeri çalışmalarda elde edilen sonuçların yalnızca akademik seviyede kalmaması ve hayata geçirilebilmesi için akademi-yerel yönetim işbirliği kurulması ve deprem öncesi zarar azaltma ile acil durum planları üzerinde birlikte çalışılması önerilmektedir.

4. KAYNAKLAR

- AKGÜN, S., Bekler, T., Mikrotremor yönteminin zemin problemlerindeki uygulamaları ve Çanakkale'den örnekler, Ulusal Mühendislik ve Eğitim Sempozyumu, Kocaeli Üniversitesi, İzmit, (2007)
- AKI, K., Space and time spectra of stationary stochastic waves, with special reference to microtremors, Bulletin of the Earthquake Research Institute of Tokyo University, 35, 415–456, (1957).
- AKI, K., A note on the use of microseisms in determining the shallow structures of earth's crust, Geophysics, 30, 665-666, (1964).
- AKPINAR, Z., Erzincan Havzası'nın Tektonik Gelişiminin Paleomanyetik ve Potansiyel Alan Verileri İle İncelenmesi, (Doktora Tezi), Jeoloji Mühendislik Anabilimdalı, (2010).
- AKYÜZ, H. S., Hartleb R., Barka A., Altunel E., Sunal G., Meyer B., Armijo R. 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, (2002).
- AMBRASEYS, N. N., Studies in historical seismicity and tectonics, in Geodynamics of Today, the Royal Society London, 7-16, (1975).
- AMBRASEYS, N. N., Intensity- attenuation and magnitude- intensity relationships for northwest European earthquakes, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 13, 733-778, (1985).
- AMBRASEYS, N. N., Jackson, J. A., Faulting associated with historical and recent earthquakes in the Eastern Mediterranean Region, Geophysical Journal International, 133, 390-406, (1998).
- ANDERSON, J., Hough, S., A model for the shape of the Fourier amplitude spectrum of acceleration at high frequencies, Bull. Seismol. Soc. Am., 74, 1969–1993, (1984).
- ANSAL, A., Iyisan, R., and Güllü, H., Microtremor Measurements for the Microzonation of Dinar", Pageoph, Special Issue, 158, 2525-2541, (2001).
- ARAI, H., Tokimatsu, K., S-wave velocity profiling by inversion of microtremor H/V spectrum, Bull. Seismol. Soc. Am., 94, 53-63, (2004).
- Armijo, R., Meyer, B., Barka, A.A., Hubert, A., Propagation of the North Anatolian Fault into the Northern Aegean, Timing and Kinematics Geology, 27, 267-270, (1999).
- ARPUT, E., Şaroğlu, F., Türkiye'deki bazı önemli genç tektonik olaylar, Türkiye Jeol. Kur. Bült., 18, 91-101, (1975).
- ASKAN, A., Sisman, F. N., Uğurhan, B., Stochastic Strong Ground Motion Simulations in Sparsely-Monitored Regions: A Validation and Sensitivity Study on the 13 March 1992 Erzincan (Turkey) Earthquake, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 55, 170-181, (2013).
- ASTEN, M.W., Dhu, T., Jones, A., Jones, T., Comparison of shear velocities measured from microtremor array studies and SCPT data acquired for earthquake site hazard classification in the northern suburbs of Perth W.A., Proceedings of Conference of the Australian Earthquake Engineering Soc., Melbourne, (2003) pp: 12.
- ASTEN, M., Boore D., Microtremor methods applied to hazard site zonation in the Santa Clara Valley, Seismol. Res. Lett., 76, 257, (2005).

- Asten, M., On bias and noise in passive seismic data from finite circular array data processed using SPAC methods, *Geophysics*, 71, 153–162, (2006).
- AY, B.Ö., Erberik, M.A., Vulnerability of Turkish Low-Rise and Mid-Rise Reinforced Concrete Frame Structures, *Journal of Earthquake Engineering*, 12, 2-11, (2008).
- AYDIN, A., Nur, A., Evolution of pull-apart basins and their scale dependence, *Tectonics*, 1, 91-105, (1982).
- AYHAN, M.E., Demir, C., Kahveci, M., Kaplan, M., 1990-1993 yılları GPS ölçümleri ile Gerede-Adapazarı bölgesindeki alanın belirlenmesi, im: Türk Haritacılığının 100. Yılı Bilimsel Kongresi, (in Turkish with English abstract.), Ankara, (1995) pp: 55-60
- AYYUB, B.M., Lai, K. L., Structural reliability assessment using Latin hypercube sampling, *Proc., 5th Int. Conf. on Struct. Safety and Reliability, ICOSSAR'89, ASCE, New York*, 2, 1177–1184, (1989).
- BALKAYA, C., Kalkan, E., Estimation of fundamental periods of shear-wall dominant building structures, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 32, 985–998, (2003).
- BALKAYA, C., Kalkan, E., Seismic vulnerability behavior and design of tunnel form building structures, *Engineering Structures*, 26, 2081-2099, (2004).
- BARKA, A. A., Seismo-tectonics aspects of the North Anatolian Fault Zone, (Ph.D. Thesis), University of Bristol, Bristol, (1981).
- BARKA, A. A., Hancock, P. L., Neotectonics deformation patterns in the convex-northwards arc of the North Anatolian Fault: The geological evolution of the Eastern Mediterranean, *Geol. Soc., London*, 17, 763-773, (1984).
- BARKA, A.A., Cadinsky-Cade, K., Strike-slip fault geometry in Turkey and its influence on earthquake activity, *Tectonics*, 7, 663-684, (1988).
- BARKA, A.A., Gülen, L., New constraints on the age and total offset of the North Anatolian Fault Zone: implications for tectonics of the Eastern Mediterranean Region, *METU J. Pure Appl. Sci.*, 21, 39-63, (1989).
- BARKA, A. A., The North Anatolian Fault Zone *Annales Tecton*, 6, 164-195, (1992).
- BARKA, A. A., Erzincan baseni çevresinin tektoniği ve 13 mart 1992 depremi. 2. Ulusal Deprem Müh. Konferansı, TMMOB İnşaat Müh. Odası, Deprem Müh. Türkiye milli Komitesi, İTÜ Yapı ve Deprem Uyg-Ar.Mrk., 259-270, (1993).
- BARKA, A. A., Eyidoğan, H., The Erzincan earthquake of 13 March 1992 in eastern Turkey, *Terra Nova*, 5, 190-194, (1993).
- BARKA, A. A., 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, (1996).
- BARKA, A. A., Akyüz, H. S., Cohen, H. A., Watchorn, F., Tectonic evolution of the Niksar and Taşova-Erbaa pull-apart basins, North Anatolian Fault Zone: their significance for the motion of the Anatolian block, *Tectonophysics*, 322, 243-264, (2000).
- BERESNEV, I., Atkinson, G.M., Modeling finite-fault radiation from the w^n spectrum, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 87, 67–84, (1997).
- BOORE, D. M., Stochastic simulation of high-frequency ground motions based on seismological models of the radiated spectra, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 73, 1865–1894, (1983).

- BOZKURT, E., Koçyiğit, A., The Kazova Basin: an active negative flower structure on the Almus Fault Zone, a splay fault system of the North Anatolian Fault Zone, Turkey, *Tectonophysics*, 265, 239-254, (1996).
- BROCHER, T., Key Elements of Regional Seismic Velocity Models for ground motion simulations, *Proc. of Int. Workshop on Long-Period Ground Motion simulations and velocity structures*, Tokyo, (2006).
- CAPON, J., High resolution frequency-wavenumber analysis, *Proc. Inst. Elect. And Electron Eng.*, 57, 1408-1418, (1969).
- CAPON, J., Signal processing and frequency-wavenumber spectrum analysis for a large aperture seismic array. *Methods in Computational Physics*, 13, 1-59, (1973).
- CHAVEZ-GARCIA, F. J., Rodriguez M., Stephenson W. R., Subsoil structure using SPAC measurements along a line, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 96, 729-736, (2006).
- CHOPRA, A. K., Goel, R. K., A modal pushover analysis procedure for estimating seismic demands for buildings, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 31, 561-582, (2002).
- CLAPROOD, M., Asten, M., Initial results from spatially averaged coherency, frequency-wavenumber, and horizontal to vertical spectrum ratio microtremor survey methods for site hazard study at Launceston, *Exploration Geophysics*, 40, 132-142, (2009).
- CORNELL C. A., Engineering Seismic Risk Analysis, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 58, 1583-1606, (1968).
- ÇAKIR, C., Budak, G., Karabulut, A., Şahin, Y., Analysis of trace elements in different three region coals in Erzurum (Turkey): a study using EDXRF , *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, 76, 101-106, (2003).
- DENİZ, A., Estimation of Earthquake Insurance Premium Rates Based on Stochastic Methods, (Yüksek Lisans Tezi), Orta Doğu Teknik Üniversitesi İnşaat Müh. Bölümü, (2006).
- DEWEY, J.F., Seismicity of Northern Anatolia, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 66, 843-868, (1976).
- TATAR, O., Active fay zonları ve doğal Afetler: Kuzey Anadolu Fay Zonu Üzerinde Kelkit Vadisi Boyunca Yer Alan Yerleşim Alanlarının Doğal Afet Risk Analizi Ve Afet Bilgi Sisteminin Oluşturulması, DPT Final Raporu, Ankara, (2006).
- EKINCIOĞLU, E. E., Dairesel Dizilimli Mikrotremorlar Ve Spac Yöntemi İle Yakın Yüzey S Dalgası Hız Yapısının Belirlenmesi, (Yüksek Lisans Tezi), Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeofizik Mühendisliği Ana Bilim Dalı, (2007).
- ERBERİK, M. A., Generation of fragility curves for Turkish masonry buildings considering in-plane failure modes, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 37, 387-405, (2008a).
- ERBERİK, M. A., Fragility-based assessment of typical mid-rise and low-rise RC buildings in Turkey. *Engineering Structures*, 30, 1360-1374, (2008b).
- ERDIK, M., Yüzügüllü, O., Karakoc, Yılmaz, C., Akkas, N., March 13, 1992 Erzincan (Turkey) earthquake, *Earthquake Engineering*, Tenth World Conference, Balkema, Rotterdam, (1994).
- ERGIN, K., Güçlü, U., Uz, Z., Türkiye ve civarının deprem kataloğu (Milattan sonra 11 yılından 1964 sonuna kadar), İstanbul Teknik Üniversitesi Maden Fakültesi Arz Fiziği Enstitüsü Yayınları, İstanbul-Turkey, (1967) pp: 24.
- FAJFAR, P., Gaspersic, P., The N2 method for the seismic damage analysis of RC buildings, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 25, 31-46, (1996).

- GARDNER, J. K., Knopoff, L., Is the Sequence of Earthquakes in Southern California, with Aftershocks Removed, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 64, 1363-1367, (1974).
- GAUTIER, P., Brun, J.P., Moriceau, R., Sokoutis, D., Martinod, J., Jolivet, L., Timing, kinematics and cause of Aegean extension: a scenario based on a comparison with simple analogue experiments, *Tectonophysics*, 315, 31-72, (1999).
- European Macroseismic Scale 1992 (up-dated MSK- scale), Conseil de l'Europe. Cahiers du Centre European de Geodynamique et de Seismologie, ed: Grünthal, G., Vol:7, Luxembourg, (1993).
- GUIDOBONI, E., Comastri, A., Traina, G., Catalogue of ancient earthquakes and tsunamis in the Mediterranean area up to the 10th century, *Instituto Nazionale di Geofisica, Rome*, (1994).
- GUIDOBONI, E., Comastri, A., Catalogue of earthquakes in the Mediterranean area from the 11th to the 15th century, *Instituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Rome*, (2005).
- GÜNEL, A.O., Influence of the Shearwall Area to Floor Area Ratio on the Seismic Performance of Existing Reinforced Concrete Buildings, (Yüksek Lisans Tezi), Orta Doğu Teknik Üniversitesi, (2013).
- HARTLEB, R., Dolan, J. F., A 2500-yr-long paleoseismologic record of large, infrequent earthquakes on the North Anatolian fault at Çukurçimen, Turkey, *Geological Society of America Bulletin*, 118, 823-840, (2006).
- HISADA, Y., Broadband strong motion simulation in layered half-space using stochastic Green's function technique, *Journal of Seismology*, 12, 265-279, (2008).
- IBARRA, L.F., Krawinkler, H., Global collapse of frame structures under seismic excitations. The John A. Blume Earthquake Engineering Center, Stanford University, Stanford, CA., (2005).
- IBARRA, L.F., Medina, R.A., Krawinkler, H., Hysteretic models that incorporate strength and stiffness deterioration, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 34, 1489–1511, (2005).
- IKEDA, Y., Suzuki, Y., Herece, E., Saroglu, F., Isikara, A.M., Honhura, Y., Geological evidence for the last two faulting events on the North Anatolian Fault Zone in the Mudurnu valley, western Turkey. *Tectonophysics*, 193, 335–345, (1991).
- JEONG, S. H., Elnashai, A. S., Probabilistic fragility analysis parameterized by fundamental response quantities, *Engineering Structures*, 29, 1238–1251, (2007).
- KADAS, K., Influence of idealized pushover curves on seismic response, (Yüksek Lisans Tezi), Orta Doğu Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, (2006).
- KAGAN, Y. Y., Aftershock Zone Scaling, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 92, 641-655, (2002).
- KARACA, H., Estimation of Potential Earthquake Losses for the Evaluation of Earthquake Insurance Risks, *Doktora Tez İlerleme Raporu, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara*, (2014).
- KARABULUT, S., Ceyhan, U., Osmansahin, I., Ozcep, F., Alp, H., Gundogdu, O., Microzonation studies based on geophysical data in Buyukcekmece (İstanbul) region, *First European Conference on Earthquake Engineering and Seismology, İsviçre*, (2006) pp: 330.
- KETIN, İ., Relations between general tectonic features and the main earthquake regions of Turkey, *Min. Res. Explor. Inst. Bull.*, 71, 63-67, (1968).
- KIRATZI A.A., A study on the active crustal deformation of the north and east anatolian fault zones, *Tectonophysics*, 225, 191-203, (1993).
- KOÇYIĞIT, A., Basic geologic characteristics and total offset of the North Anatolian Fault Zone in Suşehri area, NE Turkey, *METU Pure Appl. Sci.*, 22, 43-68, (1988).

KOÇYIĞIT, A., Suşehri basin: an active fault-wedge basin on the North Anatolian Fault Zone, Turkey, *Tectonophysics*, 167, 13-29, (1989).

KÜRÇER, A., Kondo, H., Özalp, S., Emre, Ö., 1942 Erbaa-Niksar Depremi ile ilişkili yüzey kırığının batı bölümünde Paleosismolojik bulgular ve değerlendirme, *Kuzey Anadolu Fay Sistemi, Türkiye*. 62. Türkiye Jeoloji Kurultayı Bildiri Özleri Kitabı, Ankara-Turkey, (2009). Pp: 992-993,

KRAMER, S.L., *Geotechnical Earthquake Engineering*, Prentice-Hall, Upper Saddle River, NJ., (1996). Pp: 643.

LACHET, C., Bard, P. Y., Numerical and theoretical investigations on the possibilities and limitations of Nakamura's technique, *Journal of the Physics of the Earth*, 42, 377-397, (1994).

LIGNOS, D. G., Krawinkler, H. Deterioration modeling of steel components in support of collapse prediction of steel moment frames under earthquake loading, *Journal of Structural Engineering, ASCE*, 137, 1291-1302, (2011).

LIGNOS, D. G., Krawinkler, H., Development and Utilization of Structural Component Databases for Performance-Based Earthquake Engineering, *Journal of Structural Engineering, ASCE*, 139, 1382-1394, (2012).

LOUIE, J. N., Faster, Better: Shear-wave velocity to 100 meters depth from refraction microtremor arrays, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 91, 347-364, (2001).

MAGISTRALE, H., Day S., Clayton R., Graves R., The SCEC southern California reference 3D seismic velocity model version 2, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 90, S65-S76, (2000).

MARESCA, R., Nardone, L., Galluzzo, D., La Rocca, M., Del Pezzo, E., Application of the SPAC Method to Ambient Noise Recorded in the Vesuvius Area (Italy), *Third International Symposium on the Effects of Surface Geology on Seismic Motion, Grenoble, France, (2006) pp: 073.*

MCCLUSKY, S., Balassanian, S., Barka, A.A., Demir, C., Gergiev, I., Hamburger, M., Kahle, H., Kasters, K., Kekelidse, G., King, R., Kotzev, V., Lenk, O., Mahmoud, S., Mishin, A., Nadaria, M., Ouzounus, A., Paradisissis, D., Peter, Y., Prilepin, M., Reilinger, R., Sanlı, I., Seeger, H., Teableb, A., Toksöz, N., Veis, G., GPS constraints on crustal movements and deformations for plate dynamics, *J. Geophys. Res.*, 105, 5695-5720, (2000).

MCKAY, M. D., Conover, W.J., Beckman, R.J., A Comparison of Three Methods for Selecting Values of Input Variables in the Analysis of Output from a Computer Code, *Technometrics*, 21, 239-245, (1979).

MCKENZIE, D. P., Plate tectonics of the Mediterranean region, *Nature*, 220, 239- 343, (1972).

MENGI, Y., McNiven, H.D., Tanrikulu, A.K., Models for nonlinear earthquake analysis of brick masonry buildings, *Technical Report UCB-EERC 92/03, Earthquake Engineering and Research Center, University of California at Berkeley, (1992).*

METIN, A., Inelastic deformation demands on moment-resisting frame structures, (Yüksek Lisans Tezi), *Orta Doğu Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, (2006).*

MOTAZEDIAN, D., Atkinson, G.M., Stochastic finite-fault modeling based on a Dynamic Corner Frequency, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 95, 995–1010, (2005).

MTA Güncellenmiş Diri Fay Haritaları
http://www.mta.gov.tr/v2.0/default.php?id=yeni_diri_fay_haritalari (2012).

NAKAMURA, Y., A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface, *Q. Rep. Railway Tech. Res. Inst.*, 30, 25–30, (1989).

- NAZARIAN, S., Desai, M. R., Automated surface wave method: Field testing. *Journal of Geotechnical Engineering*, 199, 1094-1111, (1993).
- OKADA, H. *The Microtremor Survey Method*, Geophysical Monograph, Vol:12, SEG, Tulsa, (2003).
- OKUMURA, K., Yoshioka, T., Kuscu, I., Kayanne, H., Suzuki, Y., Activity of the North Anatolian Fault during these two millennia on the surface faults of 1944 earthquake based on trenching and microtopographic studies, *Eos, Transactions, American Geophysical Union*, 71, 1560, (1990).
- OKUMURA, K., Yoshioka, T., Kuscu, I., Nakamura, T., Suzuki, Y., Recent surface faulting along the North Anatolian Fault, east of the Erzincan Basin, Turkey; a trenching survey, *Eos, Transactions, American Geophysical Union*, 74, 545, (1993).
- OKUMURA, K., Yoshioka, T., Kuscu, I., Nakamura, T., Suzuki, Y., Recent surface faulting on the North Anatolian fault east of Erzincan Basin, Turkey – a trenching survey, *Summaries of Researchs Using AMS at Nagoya University*, 5, 32–48, (1994).
- OKUMURA, K., Yoshioka, T., Surface faulting on the North Anatolian Fault in these two millennia. In: *Proceedings on Workshop on Paleoseismology*, Marshall, CA, (1994) pp: 143–144.
- ORAL, M.B., Reilinger, R.E., Toksöz, M.N., Kong, R.W., Barka, A.A., Kınık, İ., Cenk, O. Global positioning system offers evidence of plate motions in eastern Mediterranean, *EOS Transac*, 76, 9-11, (1995).
- ORHUNBILGE, N., *Örnekleme Yöntemleri ve Hipotez Testleri*. İ.Ü. İşletme Fakültesi Yayınları, İstanbul, (1997).
- ÖZDEN, S., Over, S., Kavak, K. S., Inal, S. S., Late Cenozoic stress states around the Bolu Basin along the North Anatolian Fault, NW Turkey, *Journal of Geodynamics*, 46, 48-62, (2008).
- PARK, C. B., Miller, R. D., Xia, J., Multi-channel analysis of surface waves, *Geophysics*, 64, 800-808, (1999).
- PAMIR, H. N., Ketin, İ., *Das Anatolische Erdbeben Ende 1939*, *Geol. Runds.* 32, 278-287, (1941).
- PIPER J. D. A., Tatar O., Gürsoy H., Deformational behaviour of continental lithosphere deduced from block rotations across the North Anatolian Fault Zone in Turkey, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 150, 191–203, (1997).
- PROZOROV, A. G., Dziewonski, A. M. A Method of Studying Variations in the Clustering Property of Earthquakes: Application to the Analysis of Global Seismicity, *Journal of Geophysical Research*, 87, 2829-2839, (1982).
- REILINGER, R.E., McClusky, S.C., Oral, M.B., King, W., Toksöz, M.N., Global Positioning System measurements of present-day crustal movements in the Arabian-Africa-Eurasia plate collision zone, *J. Geophys. Res.*, 102, 9983-9999, (1997).
- RICHTER C. F., *Elementary Seismology*, W.H. Freeman and Company, San Francisco, (1958).
- SAIDI, M., Sözen, M. A., Simple nonlinear seismic analysis of RC structures, *Journal of Structural Engineering, ASCE*, 107, 937–53, (1981).
- RUBINSTEIN, R.Y. *Simulation and the Monte Carlo Method*, Wiley, (1981). Pp: 278.
- SAIDI, M., Sözen, M. A., Simple nonlinear seismic analysis of RC structures, *Journal of Structural Engineering, ASCE*, 107, 937–53, (1981).
- SAVAGE, M. K., Rupp, S. H., Foreshock Probabilities in New Zealand, *New Zealand Journal of Geology and Geophysics*, 43, 461-469, (2000).

SCHWARTZ, D. P., Coppersmith, K. J., Fault behavior and characteristic earthquakes: examples from the Wasatch and San Andreas Fault zones. *Journal of Geophysical Research*, 89, 5681-5698, (1984).

SCHERBAUM, F., Hinzen, K.-G., Ohrnberger, M., Determination of shallow shear wave velocity profiles in the Cologne, Germany area using ambient vibrations: *Geophysical Journal International* 152, 597-612, (2003).

SCHMIDT, R. O., Multiple emitter location and signal parameter estimation, *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 34, 276-280, (1986).

SEYMEN, İ., Kelkit vadisi kesiminde Kuzey Anadolu fay zonunun tektonik özelliği, (Doktora tezi), İ.T.Ü. Maden Fak. Yayını, (1975).

SIYAHİ, B., Selçuk, M. E., Yerel Zemin Koşullarının Belirlenmesinde Mikrotremor Ölçümlerinin Kullanılması: Adapazarı Örneği, *Kocaeli Earthquake Symposium, Kocaeli-İstanbul*, (2005) pp: 1167-1177,

STEPHENSON, W. J., Hartzell, S., Frankel, A. D., Asten, M., Carver, D. L., Kim, W.Y., Site characterization for urban seismic hazards in lower Manhattan, New York City, from microtremor array analysis, *Geophysical Research Letters*, 36, (2009).

STEPP, J. C., Analysis of the Completeness of the Earthquake Sample in the Puget Sound Area, in *Contributions to Seismic Zoning*, S. T. Handing (Ed.), National Oceanic and Atmospheric Technical Report EERL 267-ESL 30, Washington, D.C., (1973) pp: 16-28.

SUCUOĞLU, H., Tokyay, M., 13 Mart 1992 Erzincan Depremi Mühendislik Raporu, İnşaat Mühendisleri Odası Ankara Şubesi, Ankara-Turkey, (1992). Pp: 102.

ŞAROĞLU, F., Geological and Structural Evolution of East Anatolia during Neotectonic Period, (Ph. D. Thesis), İstanbul Univesity, (1985).

ŞAROĞLU, F., The age and offset on the North Anatolian Fault, *METU J. Pure Appl. Sci.*, 21, 65-79, (1988).

ŞENGEZER, B. S., 13 Mart 1992 Erzincan Kentinde Meydana Gelen Hasarın Mahallelere göre İrdelenmesi (The Damage Distribution During March 13,1992 Erzincan Earthquake), 2 . Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, Kongre Sempozyum Bildiriler Kitabı, İstanbul-Turkey, (1993). Pp: 404-415.

ŞENGÖR, A. M. C., The North Anatolian transform fault: its age, offset and tectonic significance. *J. Geol. Soc. London*, 136, 269-282, (1979a).

ŞENGÖR, A. M. C., Mid-Mesozoic closure of Permo-Triassic Tethys and its implications, *Nature*, 279, 590-593, (1979b).

ŞENGÖR, A. M. C., Görür, N., Şaroğlu, F., Strike slip faulting and related basin formation in zones of tectonic escape: Turkey as a case study. In *Strikeslip deformation, Basin formation and sedimentation*, Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, 37, 227-64 , (1985).

TATAR, Y., Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun Erzincan-Refahiye arasındaki bölümü üzerinde tektonik incelemeler, *Hacettepe Yerbilimleri Dergisi*, 4, 201-236, (1978).

TAVAFOGHI, A., Eshghi, S., Evaluation of behavior factor of tunnel-form concrete building structures using Applied Technology Council 63 methodology, *The Structural Design of Tall and Special Buildings*, 22, 615-634, (2013).

TAYMAZ, T., Jacson, J., McKenzie, D.P., Active tectonics of the North and Central Aegean Sea, *Geophy. J. Inter.*, 106, 433-490, (1991).

- TOKAY, M., Geological observations on the North Anatolian Fault Zone between Gerede and Ilgaz, Proceedings of Symposium on North Anatolian Fault Zone and Earthquake Belt, Min. Res. Expl. Inst. Publ., (in Turkish with English Abstract), Ankara-Turkey, (1973) pp: 12-29.
- TOPRAK, V., Neotectonics characteristics of the North Anatolian Fault Zone between Koyulhisar and Suşehri (NE Turkey), METU j. Pure Appl. Sci., 21, 155-168, (1988).
- TOKIMATSU, K., Geotechnical site characterization using surface waves: in Ishihara (ed.), Earthquake Geotechnical Engineering, Balkema, (1997).
- TOKSÖZ, M. N., Microseisms and an attempted application to exploration, Geophysics, 29, 154-177, (1964).
- TOKSÖZ, M. N., Lacoss, R. T., Microseisms: mode structures and sources, Science, 159, 872-873, (1968).
- TÜYSÜZ, O., Barka, A., Yiğitbaş, E., Geology of the Saros graben and its implications for the evolution of the North Anatolian fault in the Ganos–Saros region, northwestern Turkey, Tectonophysics, 293, 105-126, (1998).
- VURAN, E., Bal, İ. E., Crowley, H., Pinho, R., Determination of Equivalent SDOF Characteristics of 3D Dual RC Structures, 14. Dünya Deprem Mühendisliği Konferansı, Pekin, Çin, (2008).
- WELLS D. L., Coppersmith K. J., New Empirical Relationships Among Magnitude, Rupture Length, Rupture Width, Rupture Area, and Surface Displacement, Bull. Seismol. Soc. Am., Vol. 84, 974-1002, (1994).
- WESTAWAY, R. Present-day kinematics of the Middle East and Eastern Mediterranean, J. Geophys. Res., 99, 12071-12090, (1994).
- YALTIRAK, C., Tectonic history of the Ganos Fault System, Turkish Assoc. Petrol. Geol. Bull. 8, 137-156, (1996).
- YALTIRAK, C., Sakıncı, M., Oktay, F. Y., Kinematics and evolution of the northern segment of the North Anatolian Fault Zone (Ganos Fault) in the area between Marmara and Gulf of Saroz, in Tatar, ed: Kavak, O., Özden, K.Ş., Tektonik Araştırma Grubu 3. Toplantısı, ATAG-3 Proceedings, (2000) pp: 77-89.
- YILMAZ, Ö., Eser, M., Berilgen, M., Sismik Mikrozonlamaya Mahsus Entegre Sismik Ve Geoteknik İnceleme, Kocaeli Earthquake Symposium, Kocaeli-Turkey , (2005) pp: 1211-1213.
- YOUNGS, R. R., Coppersmith K. J., Implications of fault slip rates and earthquake recurrence models to probabilistic seismic hazard estimates. Bull. Seismol. Soc. Am., 75, 939-964, (1985).
- YOSHIOKA, T., Okumura, K., Kuscu, I., Trench excavation of the North Anatolian Fault, Chishitsu News, Turkey, (1991) pp: 60–66.
- YÜKSEL, S. B., Kalkan, E., Behavior of tunnel form buildings under quasi-static cyclic lateral loading. Structural Engineering and Mechanics, 27, 1-17, (2007).
- ZOR, E., Cevher, M., Mengüç, G., Soydabaş M., Bilgiç, A., Ayan, E., Özalaybey, S., Kocaeli İlinde Zemin Sınıflaması Ve Sismik Tehlike Değerlendirme Çalışmaları, Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, İstanbul-Turkey, (2007) pp: 133-144.
- ZYWICKI, D.J., Advanced Signal Processing Methods Applied to Engineering Analysis of Seismic Surface Waves, (Ph.D. Thesis), Georgia Institute of Technology, (1999).

Proje Kodu: TUJJB-UDP-01-12

**TUJJB
PROJE BİBLİYOGRAFİK BİLGİ FORMU**

Proje Başlığı

ERZİNCAN'DA OLASI DEPREM HASARLARININ BELİRLENMESİ

Proje Yürütücüsü ve Araştırmacılar: Doç. Dr. Ayşegül Askan Gündoğan, Prof. Dr. Michael Asten, Prof. Dr. Altuğ Erberik, Y. Müh. Cenk Erkmen, Arş.Gör. Shaghayegh Karınzadeh, Dr. Nazan Kılıç, Arş.Gör. Fatma Nurten Şişman, Prof. Dr. Ahmet Yakut

Projenin Yürütüldüğü Kuruluş ve Adresi: Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Üniversiteler Mahallesi, Dumlupınar Bulvarı No:1 06800 Çankaya Ankara

Destekleyen Kuruluş(lar)ın Adı ve Adresi:

Orta Doğu Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ankara
Orta Doğu Teknik Üniversitesi Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi, Ankara
T.C. Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara
Monash Üniversitesi Yer Bilimleri Bölümü, Melbourne Avustralya

Projenin Başlangıç ve Bitiş Tarihleri: 10 Nisan 2012- 10 Nisan 2015

ÖZET: Kentsel alanlarda risk azaltma çalışmalarının ilk adımı incelenen bölgedeki potansiyel kayıpların belirlenmesidir. Sismik kayıpların saptanması, jeofizik mühendisliğinden sigorta sektörüne, deprem mühendisliğinden ekonomiye dek birçok farklı alanı ilgilendirmekte ve disiplinlerarası bir yaklaşım gerektirmektedir. Bu çalışmada, kentsel alanlarda kayıp tahmini için, sahaya-özel sismik tehlike analizleri, yapı kırılganlıkları ve kayıp modelleri içeren bir yaklaşım geliştirilmiştir. Bu çalışmanın temel bileşenleri çalışılan bölgeye ait yerel sismik hız modelleri, deterministik ve olasılıksal sismik tehlike analizleri, senaryo deprem simülasyonları, yapı stoğu özellikleri ve kayıp fonksiyonlarıdır. Çalışma alanı olarak Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun doğu kesiminde yer alan Erzincan bölgesi seçilmiştir. Üç önemli fay sistemi arasında bir havza yapısı içerisinde yer alan ve 1939 ile 1992 yıllarında yıkıcı depremler yaşamış olan bu şehir, dikkate alınması gereken bir sismik tehlike içermektedir. Bu raporda, 2012-2015 yılları arasında disiplinlerarası bir ekip tarafından yürütülmüş olan proje kapsamında elde edilen sonuçlar sunulmuştur. Proje çıktıları, yerel hız modelleri, geçmiş ve senaryo deprem simülasyonları, olasılıksal sismik tehlike analizleri, yapı kırılganlıkları ve hasar oranları cinsinden ifade edilmiştir. Önerilen yöntem, 1992 Erzincan depreminde gözlemlenmiş olan hasar dağılımı ile doğrulanmış ve gerçekçi sonuçlar elde edilmiştir. Bu ve benzeri çalışmalarla, ülkemizde tehlikesi yüksek kentsel alanlardaki kayıpların tahmini gerçekçi bir şekilde yapılabilecek; uzun vadede deprem bölgelerinde risk azaltımına ve afet yönetimine katkıda bulunulacaktır.

Anahtar Kelimeler: Sismik Tehlike Analizi, Hız Modeli, Yer Hareketi Simülasyonu, Bina Kırılganlık Analizleri, Sismik Kayıplar

Projeden Yapılan Yayınlar:

ASKAN, A., Sisman, F.N., and Ugurhan B. (2013). “Stochastic strong ground motion simulations in sparsely-monitored regions: A validation and sensitivity study on the 13 March 1992 Erzincan (Turkey) earthquake”, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 55, 170-181.

ASKAN, A., Erberik, A., Yakut, A., Kilic, N., Karimzadeh, S., Sisman, F.N. and Asten, M. (2014). “Estimation of Seismic Losses in Urban Regions within an Interdisciplinary Framework: A Case Study”, *SSA Annual Meeting 2014, Anchorage, ABD*.

ASKAN, A., Karimzadeh, S., Asten, M., Kilic, N., Sisman, F.N., and Erkmen, C. (2015). “Assessment of Potential Seismicity of Erzincan (Turkey) Region: Construction of a Regional Velocity Model and Seismic Hazard Evaluations”, *Turkish Journal of Earth Sciences*, DOI: 10.3906/yer-1503-8.

ASKAN, A., Karimzadeh, S., and Bilal, M. (2015). “Seismic intensity maps for the eastern part of North Anatolian Fault zone (Turkey) based on recorded and simulated ground motion data”, chapter in *Neotectonics and Earthquake Potential of the Eastern Mediterranean Region*, AGU Books (Basimda).

ASTEN, M.W., A. Askan., Ekincioglu, E. , Sisman, F.N., and Ugurhan, B. (2014). “Site characterisation in north-western Turkey based on SPAC and HVSr analysis of microtremor noise”, *Exploration Geophysics*, 45(2) 74-85.

KARIMZADEH, S., Askan, A., Yakut, A., and Ameri, G. (2014). “Assessment of synthetic ground motion records obtained from alternative simulation techniques in nonlinear time history analyses of multi-storey frame buildings: a case study”, *Proceedings of 9th International Conference on Structural Dynamics, EURO DYN 2014, 30 June – 2 July 2014, Porto, Portugal*.

SİSMAN, F.N., Askan, A. ve Asten M.W. (2012). “Site Characterization Based on Multi Mode Spatial Autocorrelation Analyses of Microtremor Data in Eastern Section of the North Anatolian Fault Zone (Turkey)”, *AGU Fall Meeting 2012, San Francisco*.

SİSMAN, F.N., Askan, A., Asten, M.W. (2013). “Determination of the site characterization properties in eastern segment of the North Anatolian Fault zone in Turkey based on the MMSPAC method”, *SSA Annual Meeting 2013, Salt Lake City, ABD*.

SİSMAN, F.N., Askan, A. ve Asten M.W. (2013). “Pasif sismik yöntemler ile Erzincan’da iki boyutlu hız modeli, 2. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı”, *Hatay, Türkiye*.