

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

**BETONARME BİNALARIN FİBRE ELEMAN YÖNTEMİ İLE STATİK İTME VE
GERÇEK ZAMANLI DEPREM İVME KAYITLARI KULLANILARAK SİSMİK
PERFORMANSLARININ BELİRLENMESİ**

Mesut ÖZDEMİR

**Yüksek Lisans Tezi
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Yrd. Doç. Dr. Muhammet KARATON
KASIM-2014**

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

**BETONARME BİNALARIN FİBRE ELEMAN YÖNTEMİ İLE STATİK İTME VE
GERÇEK ZAMANLI DEPREM İVME KAYITLARI KULLANILARAK SİSMİK
PERFORMANSLARININ BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mesut ÖZDEMİR

(121115104)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 11 Kasım 2014
Tezin Savunulduğu Tarih : 24 Kasım 2014

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Muhammet KARATON (F.Ü)
Diğer Jüri Üyeleri: Prof. Dr. Mehmet ÜLKER (F.Ü)
Yrd. Doç. Dr. Murat Yavuz SOLMAZ (F.Ü)

KASIM-2014

ÖNSÖZ

Yapıların deprem kuvvetlerine göre geleneksel tasarımında dayanım esaslı çözümler kullanılması rağmen son yıllarda, dayanım yerine performans kavramı daha fazla kabul görmektedir. Bunun bir sonucu olarak, geleneksel tasarımda esas alınan dayanım yerine yapıların hasar durumlarına dayalı çözümler sunan performansa dayalı tasarım ve değerlendirme yöntemlerinin yürürlükteki yönetmeliklere yerleştirilmesi ihtiyacı doğmuştur. Performans düzeylerine olan ihtiyacın daha fazla olması performansa dayalı sismik tasarım yöntemlerinin gelişmesine zemin hazırlamıştır.

Bu tez çalışmasında, son yıllarda hassaslığı test edilmiş ve gelişmiş bir yöntem olarak adlandırılan Fibre Eleman Yöntemi incelenmiştir. Van’ da yıkılan Aslan Otel’ in proje verileri kullanılarak Statik İtme analizleri gerçekleştirilmiştir. Daha sonra zaman tanım alanında adım-adım integrasyon yöntemleri kullanılarak Aslan otelin yıkılma mekanizmaları elde edilmiştir.

Yapılan bu tez çalışması deprem konusunda insanları bilinçlendirmek ve performansa dayalı sismik tasarım yönteminin geliştirilmesine katkı sağlamak amacı ile yapılmıştır. Yapılan bu çalışma süresi boyunca tüm zamanını ve yardımlarını esirgemeyen değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Muhammet KARATON’ a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Mesut ÖZDEMİR

ELAZIĞ-2014

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ	II
İÇİNDEKİLER	III
ÖZET	VI
SUMMARY.....	VII
ŞEKİLLER LİSTESİ	VIII
TABLolar LİSTESİ	XIV
SEMBOLLER LİSTESİ	XV
KISALTMALAR	XVIII
1. GİRİŞ	1
1.1 Konunun Önemi	1
1.2 Konuyla İlgili Yapılan Çalışmalar	1
1.3 Çalışmanın Amacı ve Yöntemi	2
2. BETON VE ÇELİK İÇİN MALZEME MODELLERİ	4
2. Mander, Priestly ve Park Beton Modeli	4
2.1.1 Etriyeli Beton için Tek Eksenli Gerilme-Şekil Değiştirme Modeli	4
2.1.2 Efektif Çevre Basıncı ve Efektif Kısıtlama Katsayısı	6
2.1.3 Spiral veya Dairesel Etriyeler için Efektif Kısıtlama Parametresinin Elde Edilmesi	7
2.1.4 Çirozlu veya Çirozsuz Dikdörtgen Etriyeli Beton Kesitler için Efektif Kısıtlama Parametresinin Elde Edilmesi	9
2.1.5 Etriyeli Beton için Basınç Dayanımı f'_{cc}	11
2.1.6 Monotonik Çekme Yükleme	12
2.2 Yavaş Şekil Değiştirme Hızlarında ve Tekrarlı Yükleme için Gerilme-Şekil Değiştirme İlişkisi	13
2.2.1 Yük Boşaltma Kolları	13
2.2.1.1 Basınç Yük Boşaltma Durumu	13
2.2.1.2 Çekme Yük Boşaltma Durumu	16
2.2.2 Tekrar Yükleme Kolları	17

2.3	Gerilme-Şekil Değiştirme İlişkisi Üzerinde Şekil Değiştirme Hızının Etkisi	18
2.3.1	Betonun Dinamik Basınç Dayanımı	19
2.3.2	Betonun Dinamik Elastisite Modülü	20
2.3.3	Maksimum Gerilmeye Karşılık Gelen Dinamik Şekil Değiştirme	21
2.4.	Çeliğin Tek Eksenli Gerilme-Şekil Değiştirme Bağıntısı	22
2.4.1	Çelik İçin Menegotto-Pinto Modeli	22
3.	STATİK İTME (PUSHOVER) VE ZAMAN TANIM ALANI ANALİZLERİ	27
3.1	Statik İtme (Pushover) Analizi ve Performans Tayini	27
3.1.1	Binanın Kapasite Eğrisinin Belirlenmesi	27
3.1.2	Modal Kapasite Spektrumunun Elde Edilmesi	28
3.1.3	Talep Spektrum Eğrisinin Elde Edilmesi	30
3.1.4	Modal Kapasite ve Talep Spektrumlarının Kesiştirilmesi	30
3.1.5	Performans Noktasının Uygunluğu	31
3.1.5.1	Bina için Kabul Kriterleri	31
3.1.5.2	Elemanlar için Kabul Kriterleri	32
3.2	Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi	32
4.	PERFORMANS KAVRAMINA DAYALI TASARIM	34
4.1	ATC-40	34
4.1.1	ATC-40 için Performans Seviyeleri	35
4.1.1.1	Yapısal performans seviyeleri ve aralıkları	35
4.1.1.2	Yapısal olmayan performans seviyeleri	36
4.1.1.3	Bina Performans Seviyeleri	37
4.1.2	Deprem Etki Seviyeleri	39
4.2	FEMA-356	41
4.2.1	FEMA-356 için Performans Seviyeleri	42
4.2.2	Deprem Etki Seviyeleri	43
4.3	DBYBHY-2007' ye göre Mevcut Binaların Deprem Performanslarının Belirlenmesi	44
4.3.1	Kesit Hasar Sınırları	44
4.3.2	Kesit Hasar Bölgeleri	44
4.3.3	Taşıyıcı Eleman Deprem Hasar Sınırı ve Bölgeleri	45

4.3.4	Taşıyıcı Sistemin Deprem Performans Düzeyleri	45
4.3.4.1	Hemen Kullanım Performans Düzeyi	47
4.3.4.2	Can Güvenliği Performans Düzeyi	47
4.3.4.3	Göçme Öncesi Performans Düzeyi	48
4.3.4.4	Göçme Durumu	48
4.3.5	Binalar için Performans Hedefleri	48
4.3.6	Değerlendirme Yöntemleri	49
4.4	Sınır Hasar Seviyelerinin Belirlenmesi	51
4.5	Elastik Olmayan Talep Spektrum Eğrisinin Elde Edilmesi	52
5.	VAN BÖLGESİNİN TEKTONİK YAPISI VE VAN DEPREMİ	
	HAKKINDA GENEL BİLGİLER	54
5.1	Bölgenin Genel Zemin ve Tektonik Yapısı	54
5.2	23 Ekim 2011 Van Depremi	55
5.2.1	Kuvvetli Yer Hareketi Kayıtları	59
6.	SAYISAL UYGULAMA	65
6.1	Binanın Tanımı ve Yıkılma Sebeplerinin Belirlenmesi	65
6.2	Aslan Otelin Statik İtme (Pushover) Analizi	67
6.3	Aslan Otelin Zaman Tanım Alanındaki Lineer Olmayan Sismik	
	Analizleri	79
6.3.1	Aslan otelin C8 beton ve Z3-Z4 zemin sınıfları için lineer olmayan sismik	
	analizleri	82
6.3.2	Aslan otelin C10 beton ve Z4 zemin sınıfı için lineer olmayan sismik	
	analizi	84
6.3.3	Aslan otelin C12 beton ve Z4 zemin sınıfı için lineer olmayan sismik	
	analizi	97
7.	SONUÇLAR	103
	KAYNAKLAR	106
	ÖZGEÇMİŞ	111

ÖZET

Bu tez çalışmasında, gerçekte yıkılmış betonarme bir binanın yıkılma mekanizması nümerik yöntemlerle elde edilerek binanın malzeme özellikleri ve yerel zeminin sınıfı belirlenmiştir. Bu binanın doğrusal olmayan davranışı için Fibre eleman yöntemi kullanılmıştır. Fibre eleman yönteminde beton ve çeliğin doğrusal olmayan davranışları için sırasıyla Mander, Priestly ve Park beton modeli ile Menegotto-Pinto çelik Modeli seçilmiştir. Nümerik analizler için Van’ da yıkılan Aslan otel kullanılmıştır. Bu bina 23 Ekim 2011 Van depreminde hasar görmüş ve 9 Kasım 2011 Van Edremit depremiyle yıkılmıştır. Söz konusu bu binanın öncelikle statik itme analizleri elde edilerek binaya ait olabilecek bazı malzeme özellikleri ve yerel zeminin sınıfları belirlenmiştir. Söz konusu bu bilgiler yardımıyla, Aslan otelin 23 Ekim 2011 ve 9 Kasım 2011 Van depremlerinin sismik etkileri dikkate alınarak doğrusal olmayan dinamik analizleri elde edilmiştir. Böylece, binanın yıkılma ve hasar durumları karşılaştırılarak Aslan otelin malzeme özelliği ve yerel zeminin sınıfı belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Fibre eleman yöntemi, Doğrusal olmayan davranış,
Statik itme analizi, Dinamik analiz, Yıkılma ve hasar durumları.

SUMMARY

DETERMINATION OF SEISMIC PERFORMANCE OF REINFORCED CONCRETE BUILDING BY USING STATIC PUSH-OVER ANALYSIS AND REAL-TIME ACCELATION RECORDS WITH FIBRE ELEMENT METHOD

In this thesis, material properties and local soil class of a reinforced concrete building (failure in real) are determined by its failure mechanism obtained numerical methods. Fibre element method is used for non-linear behavior of this building. Mander, Priestly and Park concrete model and Menegotto-Pinto steel model are selected for nonlinear behavior of concrete and steel in the Fibre element method, respectively. Aslan motel failure in the Van city is used for the numerical analysis. This building is damaged due to 23 October 2011 Van earthquake and failure due to 9 November 2011 Van-Edremit earthquake. Some material properties and local soil classes of the building are firstly determined by static push-over analyses. Nonlinear dynamic analyses of Aslan motel are obtained by considered seismic effects of 23 October 2011 Van earthquake and 9 November 2011 Van-Edremit earthquake. Therefore, material properties and local soil class of Aslan motel are determined by comparing failure and damage cases of the building.

Keywords: Fibre element method, Nonlinear behavior, Static pushover analysis
Dynamic analysis, Failure and damage cases.

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1.	Etriyeli ve etriyesiz betonda monotonik yükleme için önerilen gerilme-şekil değiştirme modeli	5
Şekil 2.2.	Dairesel etriye donatılı kesitlerde etkin etriye çekirdeği	7
Şekil 2.3.	Dikdörtgen donatılı etriyeler için etkin etriye çekirdeği	11
Şekil 2.4.	Dikdörtgen kesitler için yanal gerilmelerden meydana gelen etriyeli dayanımın belirlenmesi	12
Şekil 2.5.	Gerilme-şekil değiştirme eğrisi için boşaltma kolu ve plastik şekil değiştirme ε_a kullanılarak plastik şekil değiştirme ε_{pl} 'nin belirlenmesi	14
Şekil 2.6.	Basınç yüklemesinden dolayı betonun çekme gerilmesindeki bozulmanın kabulü	16
Şekil 2.7.	Tekrarlı yükleme kolları için gerilme-şekil değiştirme ilişkisi	17
Şekil 2.8	Dayanım üzerinde şekil değiştirme hızı etkileri için izin verilen D_f dinamik büyütme faktörü	20
Şekil 2.9	Elastisite modülü üzerinde şekil değiştirme hızı etkileri için izin verilen D_E dinamik büyütme faktörü	21
Şekil 2.10.	Beton için tekil gerilme-şekil değiştirme ilişkisi üzerine şekil değiştirme hızının etkisi	22
Şekil 2.11.	Menegotto-Pinto çelik model	24
Şekil 2.12.	Menegotto-Pinto çelik modelinde eğrilik parametresi R' nin tanımlanması	25
Şekil 3.1.	Kapasite ve Modal Kapasite Eğrileri	28
Şekil 3.2.	İvme Spektrumunun Talep Spektrumuna dönüştürülmesi	30
Şekil 3.3.	Modal Kapasite ile Talep Spektrumlarının kesiştirilmesi	31
Şekil 4.1.	Bina performans seviyeleri	40

Şekil 4.2.	a) Sünek olan ve b) Sünek olmayan bir yapıda performans seviyeleri ve yer değiştirme	42
Şekil 4.3.	Kesit hasar sınırları ve bölgeleri	45
Şekil 4.4.	Taşıyıcı sistem (bina) performans düzeyleri	46
Şekil 4.5.	Hasar durumlarından bina (taşıyıcı sistem) performans düzeyine geçiş	46
Şekil 4.6.	Sınır hasar seviyelerinin idealize edilmiş modal kapasite spektrumları üzerinde tanımlanması	51
Şekil 4.7.	Elastik sınır içerisinde gerçekleşmeyen kesişim	52
Şekil 5.1.	Doğu Akdeniz ve Kafkas Bölgelerinin plaka tektonikleri	54
Şekil 5.2.	Avrasya ve Arap plakaları arasındaki göreceli hareket ve Anadolu ve Ege bloklarının batı yönlü hareketi	54
Şekil 5.3.	Bölgenin basitleştirilmiş jeoloji haritası	55
Şekil 5.4.	23 Ekim 2011 Van Depreminin çeşitli kuruluşlarca verilmiş merkez üssü koordinatları	56
Şekil 5.5.	23 Ekim 2011-9 Aralık 2011 tarihleri arasında Van ve çevresinde meydana gelen depremlerin magnitüd-sayı grafiği	57
Şekil 5.6.	Artçı şok dağılımını gösteren harita	57
Şekil 5.7.	Artçı şokların derinlik dağılım grafiği (AA` kesiti boyunca)	58
Şekil 5.8.	9 Kasım 2011 Van-Edremit Depremi ve artçı şokları	58
Şekil 5.9.	23 Ekim 2011 Van depremini kaydeden ivme değerlerinin ölçüldüğü istasyonlar ve maksimum ivme değerleri	60
Şekil 5.10.	Ana sarsıntıyla ilişkili pik yer ivmesi dağılımı	61
Şekil 5.11.	Ana sarsıntıyla ilişkili pik yer hızı dağılımı	61
Şekil 5.12.	KRDAE' nün verilerine göre depremin merkez üssü, Aslan otel ve Van Muradiye kayıt istasyonunun konumu	62
Şekil 5.13.	TR-KYH' nın verilerine göre depremin merkez üssü, Aslan otel ve Van Muradiye kayıt istasyonunun konumu	62
Şekil 6.1.	Zemin kat kalıp planı	65
Şekil 6.2.	Aslan otelin kuzey tarafından yıkılma durumu-1	66
Şekil 6.3.	Aslan otelin kuzey tarafından yıkılma durumu-2	67
Şekil 6.4.	Aslan otelin 3 boyutlu sonlu eleman modeli	68
Şekil 6.5.	Farklı malzeme sınıfları için x yönüne ait taban kesme kuvveti ve yer değiştirme	69

Şekil 6.6.	Farklı malzeme sınıfları için y yönüne ait taban kesme kuvveti ve yer değiştirme	69
Şekil 6.7.	23 Ekim 2011 Van depreminin ve Z1-Z4 zeminlerinin elastik olmayan talep spektrum eğrileri ile Aslan otelin x doğrultusu için C6 beton sınıfında Modal kapasite eğrisi ve İdealize edilmiş Modal Kapasite eğrilerinin karşılaştırılması	71
Şekil 6.8.	23 Ekim 2011 Van depreminin ve Z1-Z4 zeminlerinin elastik olmayan talep spektrum eğrileri ile Aslan otelin x doğrultusu için C8 beton sınıfında Modal kapasite eğrisi ve İdealize edilmiş Modal Kapasite eğrilerinin karşılaştırılması	71
Şekil 6.9.	23 Ekim 2011 Van depreminin ve Z1-Z4 zeminlerinin elastik olmayan talep spektrum eğrileri ile Aslan otelin x doğrultusu için C10 beton sınıfında Modal kapasite eğrisi ve İdealize edilmiş Modal Kapasite eğrilerinin karşılaştırılması	72
Şekil 6.10.	23 Ekim 2011 Van depreminin ve Z1-Z4 zeminlerinin elastik olmayan talep spektrum eğrileri ile Aslan otelin x doğrultusu için C12 beton sınıfında Modal kapasite eğrisi ve İdealize edilmiş Modal Kapasite eğrilerinin karşılaştırılması	72
Şekil 6.11.	23 Ekim 2011 Van depreminin ve Z1-Z4 zeminlerinin elastik olmayan talep spektrum eğrileri ile Aslan otelin x doğrultusu için C14 beton sınıfında Modal kapasite eğrisi ve İdealize edilmiş Modal Kapasite eğrilerinin karşılaştırılması	73
Şekil 6.12.	23 Ekim 2011 Van depreminin ve Z1-Z4 zeminlerinin elastik olmayan talep spektrum eğrileri ile Aslan otelin x doğrultusu için C16 beton sınıfında Modal kapasite eğrisi ve İdealize edilmiş Modal Kapasite eğrilerinin karşılaştırılması	73
Şekil 6.13.	23 Ekim 2011 Van depreminin ve Z1-Z4 zeminlerinin elastik olmayan talep spektrum eğrileri ile Aslan otelin x doğrultusu için C18 beton sınıfında Modal kapasite eğrisi ve İdealize edilmiş Modal Kapasite eğrilerinin karşılaştırılması	74

Şekil 6.14.	23 Ekim 2011 Van depreminin ve Z1-Z4 zeminlerinin elastik olmayan talep spektrum eğrileri ile Aslan otelin x doğrultusu için C20 beton sınıfında Modal kapasite eğrisi ve İdealize edilmiş Modal Kapasite eğrilerinin karşılaştırılması	74
Şekil 6.15.	23 Ekim 2011 Van depreminin ve Z1-Z4 zeminlerinin elastik olmayan talep spektrum eğrileri ile Aslan otelin y doğrultusu için C6 beton sınıfında Modal kapasite eğrisi ve İdealize edilmiş Modal Kapasite eğrilerinin karşılaştırılması	75
Şekil 6.16.	23 Ekim 2011 Van depreminin ve Z1-Z4 zeminlerinin elastik olmayan talep spektrum eğrileri ile Aslan otelin y doğrultusu için C8 beton sınıfında Modal kapasite eğrisi ve İdealize edilmiş Modal Kapasite eğrilerinin karşılaştırılması	75
Şekil 6.17.	23 Ekim 2011 Van depreminin ve Z1-Z4 zeminlerinin elastik olmayan talep spektrum eğrileri ile Aslan otelin y doğrultusu için C10 beton sınıfında Modal kapasite eğrisi ve İdealize edilmiş Modal Kapasite eğrilerinin karşılaştırılması	76
Şekil 6.18.	23 Ekim 2011 Van depreminin ve Z1-Z4 zeminlerinin elastik olmayan talep spektrum eğrileri ile Aslan otelin y doğrultusu için C12 beton sınıfında Modal kapasite eğrisi ve İdealize edilmiş Modal Kapasite eğrilerinin karşılaştırılması	76
Şekil 6.19.	23 Ekim 2011 Van depreminin ve Z1-Z4 zeminlerinin elastik olmayan talep spektrum eğrileri ile Aslan otelin y doğrultusu için C14 beton sınıfında Modal kapasite eğrisi ve İdealize edilmiş Modal Kapasite eğrilerinin karşılaştırılması	77
Şekil 6.20.	23 Ekim 2011 Van depreminin ve Z1-Z4 zeminlerinin elastik olmayan talep spektrum eğrileri ile Aslan otelin y doğrultusu için C16 beton sınıfında Modal kapasite eğrisi ve İdealize edilmiş Modal Kapasite eğrilerinin karşılaştırılması	77
Şekil 6.21.	23 Ekim 2011 Van depreminin ve Z1-Z4 zeminlerinin elastik olmayan talep spektrum eğrileri ile Aslan otelin y doğrultusu için C18 beton sınıfında Modal kapasite eğrisi ve İdealize edilmiş Modal Kapasite eğrilerinin karşılaştırılması	78

Şekil 6.22.	23 Ekim 2011 Van depreminin ve Z1-Z4 zeminlerinin elastik olmayan talep spektrum eğrileri ile Aslan otelin y doğrultusu için C20 beton sınıfında Modal kapasite eğrisi ve İdealize edilmiş Modal Kapasite eğrilerinin karşılaştırılması	78
Şekil 6.23.	Aslan otelin güncelleştirilmiş sonlu eleman modeli	79
Şekil 6.24.	23 Ekim 2011 Van ve 9 Kasım 2011 Van-Edremit depremlerinin ivme bileşenleri	80
Şekil 6.25.	Z3 zemin sınıfı için Aslan otelin joint301 tepe düğüm noktasının yer değiştirme-zaman eğrisi	82
Şekil 6.26.	Z4 zemin sınıfı için Aslan otelin joint301 tepe düğüm noktasının yer değiştirme-zaman eğrisi	82
Şekil 6.27.	a) Z3 ve b) Z4 zemin sınıfları için Aslan otelin göçme anındaki hasar durumları	83
Şekil 6.28.	Kesit hasar sınır ve bölgeleri	83
Şekil 6.29.	C10 malzeme sınıfındaki Aslan otelin 301 tepe düğüm noktasının Z4 zemin sınıfı için x yönündeki yer değiştirme-zaman eğrisi	85
Şekil 6.30.	x-yönü için Aslan otelin 5.07 s.' deki hasar durumu	86
Şekil 6.31.	x-yönü için Aslan otelin 5.11 s.' deki hasar durumu	86
Şekil 6.32.	x-yönü için Aslan otelin 5.42 s.' deki hasar durumu	86
Şekil 6.33.	x-yönü için Aslan otelin 5.93s.' deki hasar durumu	86
Şekil 6.34.	x-yönü için Aslan otelin 7.59 s.' deki hasar durumu	87
Şekil 6.35.	x-yönü için Aslan otelin 7.78 s.' deki hasar durumu	87
Şekil 6.36.	x-yönü için Aslan otelin 12.05 s.' deki hasar durumu	87
Şekil 6.37.	x-yönü için Aslan otelin 12.88 s.' deki hasar durumu	87
Şekil 6.38.	x-yönü için Aslan otelin 13.52 s.' deki hasar durumu	88
Şekil 6.39.	x-yönü için Aslan otelin 25.10 s.' deki hasar durumu	88
Şekil 6.40.	x-yönü için Aslan otelin 41.84 s.' deki hasar durumu	90
Şekil 6.41.	C10 malzeme sınıfındaki Aslan otelin 301 tepe düğüm noktasının Z4 zemin sınıfı için y yönündeki yer değiştirme-zaman eğrisi	91
Şekil 6.42.	y-yönü için Aslan otelin 5.09 s.' deki hasar durumu	92
Şekil 6.43.	y-yönü için Aslan otelin 6.06 s.' deki hasar durumu	92
Şekil 6.44.	y-yönü için Aslan otelin 6.61 s.' deki hasar durumu	92
Şekil 6.45.	y-yönü için Aslan otelin 7.01 s.' deki hasar durumu	93

Şekil 6.46.	y-yönü için Aslan otelin 13.54 s.' deki hasar durumu	93
Şekil 6.47.	y-yönü için Aslan otelin 17.12 s.' deki hasar durumu	93
Şekil 6.48.	y-yönü için Aslan otelin 41.84 s.' deki hasar durumu	97
Şekil 6.49.	C12 beton malzeme sınıfındaki Aslan otelin 301 nolu düğüm noktasının yer değiştirme-zaman grafiği	98
Şekil 6.50.	x-yönü için Aslan otelin 62.45 s.' deki hasar durumu	99
Şekil 6.51.	y-yönü için Aslan otelin 62.45 s.' deki hasar durumu	102

TABLÖLAR LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 3.1.	Katlar arası yer değiştirmenin kat yüksekliğine oranının sınırı	32
Tablo 4.1.	Yapısal performans seviye ve aralıkları	35
Tablo 4.2.	Yapısal olmayan performans seviyeleri	37
Tablo 4.3.	Yapısal ve yapısal olmayan performans seviyelerinin birleştirilmesinden elde edilen bina performans seviyeleri	38
Tablo 4.4.	Göz önüne alınacak deprem için parametreler	39
Tablo 4.5.	ATC-40 ve FEMA deprem seviyeleri	40
Tablo 4.6.	Performans amaçları sınıflandırması	41
Tablo 4.7.	Binalar için hedeflenen deprem performans hedefleri	49
Tablo 5.1.	23 Ekim 2011 Van depremine ait çeşitli kuruluşlarca verilen parametreler ...	56
Tablo 5.2.	23 Ekim 2011 Van depreminde kayıt alan istasyonların özellikleri	60
Tablo 5.3.	KRDAE' nün verilerine göre 23 Ekim 2011 depremi ivme azalım ilişkisi	63
Tablo 5.4.	TR-KYH' nın verilerine göre 23 Ekim 2011 depremi ivme azalım ilişkisi	64
Tablo 6.1.	Binada bulunan kolon ve perde elemanların boyut ve sayıları	66
Tablo 6.2.	Farklı malzeme sınıfları için Etkin Kütle ve Modal Katkı Çarpanları	68
Tablo 6.3.	Aslan otelin malzeme özellikleri	81
Tablo 6.4.	23 Ekim 2011 Van Depremi sonrası x yönünde meydana gelen hasar durumu	89
Tablo 6.5.	23 Ekim 2011 Van Depremi sonrası y yönünde meydana gelen hasar durumu	96

SEMBOLLER LİSTESİ

A_c	: Dairesel veya spiralli etriyenin merkez hattı ile kapalı bölümünün çekirdek alanı
A_{cc}	: Boyuna çeliğin çevresel spiral veya dairesel etriye dışındaki çekirdek alanı
A_e	: Etkin etriyeli betonun çekirdek alanı
A_t	: Etriyeler seviyesindeki etkin olmayan etriyeli betonun toplam çekirdek alanı
A_{sp}	: Spiral çubuğun alanı
A_{sx}	: x eksenine paralel enine donatının toplam alanı
A_{sy}	: y eksenine paralel enine donatının toplam alanı
b_c	: x yönünde etriye merkezlerinden itibaren beton çekirdek boyutu
$[C]$	: Binanın sönüm matrisi
D_E	: Dinamik yükleme nedeniyle betonun ilk elastisite modülü için dinamik büyütme faktörü
D_f	: Dinamik yükleme nedeniyle beton dayanımı için dinamik büyütme faktörü
D_ϵ	: Dinamik yükleme nedeniyle maksimum gerilme için dinamik büyütme faktörü
d_c	: y yönünde etriye merkezlerinden itibaren beton çekirdek boyutu
d_s	: Spiralın çapı
E_c	: Betonun elastisite modülü
E_{re}	: Beton için tekil gerilme-şekil değiştirme eğrisi üzerinde ki elastisite modülü noktası
E_{sec}	: Etriyeli betonun maksimum gerilmesinin secant modülü
E_u	: Boşalma başlangıcında ki betonun ilk elastisite modülü
$\{F\}$	: Dış kuvvet vektörü
f_c	: Eksenel basınçlı betonun gerilmesi
f'_{cc}	: Etriyeli betonun maksimum basınç dayanımı
f'_{co}	: Etriyesiz betonun maksimum basınç dayanımı
$(f'_{co})_{dyn}$	: Etriyesiz betonun dinamik basınç dayanımı

f_l	: Enine donatılı beton üzerindeki yanal kısıtlayıcı gerilme
f'_l	: Etkin yanal kısıtlama gerilmesi
f_{lx}	: Betonun x yönündeki yanal kısıtlama gerilmesi
f'_{lx}	: x yönündeki etkin yanal kısıtlama gerilmesi
f_{ly}	: Betonun y yönündeki yanal kısıtlama gerilmesi
f'_{ly}	: y yönündeki etkin yanal kısıtlama gerilmesi
f'_{l1}	: Küçük kısıtlayıcı gerilme
f'_{l2}	: Büyük kısıtlayıcı gerilme
f_{new}	: ε_{un} birim şekil değiştirmesi için yeni beton dayanımı
f_{re}	: Tekil gerilme-şekil değiştirme eğrisi üzerindeki gerilme noktası
f_{ro}	: Ters yüklenen betonun gerilmesi
f_s	: Çeliğin gerilmesi
f_{sl}	: Boyuna çelik donatının gerilmesi
f_t	: Tekrarlı yükleme nedeniyle betonun değiştirilmiş çekme dayanımı
f'_t	: Betonun çekme dayanımı
f_{un}	: Beton modelinde ters (boşaltma) gerilmesi
f_y	: Çeliğin akma gerilmesi
f_{yh}	: Enine donatının akma dayanımı
$\{F^{int}\}$	: İç kuvvet vektörü
g	: Yer çekimi ivmesi
h	: Parçaların toplam derinliği
I	: Atalet momenti
k_e	: Etkin kısıtlama katsayısı
k_1, k_2	: Beton dayanımı ve gerilme büyütme katsayıları
$[M]$	: Binanın kütle matrisi
M_1^*	: Birinci moda ait etkin kütle
m_i	: i' inci katın kütlesi
S_a	: Spektral ivme
S_d	: Spektral yer değiştirme
s	: Spiral etriye aralığı
s'	: Spiral yada dairesel etriyenin açık aralığı
T	: Periyot

$\{\dot{U}\}$	: Binanın hız vektörü
$\{\ddot{U}\}$	: Binanın bağıl ivmesi
u_{N1}	: Her bir statik itme analizi için elde edilen birinci moda ait yer değiştirme
V_{x1}	: Her bir statik itme adımı için birinci moda ait taban kesme kuvveti
W	: Yapının ağırlığı
w	: Dikdörtgen kesitler için boyuna çubuk aralığı
w'_i	: Bitişik boyuna çubuklar arasındaki i 'inci enine aralık
ϵ_a	: Başlangıç teğeti ile plastik boşalma eğiminin kestiği noktada ki ortak birim şekil değiştirme
ϵ_c	: Eksenel basınçlı betonun birim şekil değiştirmesi
ϵ_{cc}	: Betonun maksimum gerilmesi f'_{cc} ' ye karşılık gelen birim şekil değiştirme
ϵ_{co}	: Etriyersiz betonun maksimum gerilmesi f'_{co} ' ye karşılık gelen birim şekil değiştirme
ϵ_{cu}	: Etriyede ki ilk kırılma ile birim şekil değiştirme olarak tanımlanan basınçlı betonun nihai birim şekil değiştirmesi
ϵ_{pl}	: Beton modelinin plastik birim şekil değiştirmesi
ϵ_{re}	: Gerilme – şekil değiştirme eğrisinde birim şekil değiştirme noktası
ϵ_{ro}	: Ters yüklenen betonun birim şekil değiştirmesi
ϵ_s	: Çeliğin birim şekil değiştirmesi
ϵ_{sf}	: Çeliğin çekme kırılma birim şekil değiştirmesi
ϵ_{sp}	: Beton paspayı 'nın tamamen çatlak olduğunun kabul edilmesiyle betonun taşıdığı gerilme altındaki birim şekil değiştirme
ϵ_t	: Betonun çekme ile oluşan kopma birim şekil değiştirmesi $= f'_t/E_c$
ϵ_{un}	: Beton modelinde ters (boşalma) birim şekil değiştirmesi
$\dot{\epsilon}_c$	: Saniyedeki birim şekil değiştirme hızı
ϕ_{i1}	: Birinci modun i ' inci katına ait modal yer değiştirmesi
ϕ_{N1}	: Birinci modun N ' inci kata ait modal yer değiştirmesi
Γ_1	: Birinci moda ait modal katkı çarpanı
ρ_{cc}	: Kesit çekirdek alanının boyuna çeliğin alanına oranı
ρ_s	: Etriyeli betonun çekirdek hacminin enine çeliğin hacmine oranı
ρ_t	: Kolonun brüt alanının boyuna donatı alanına oranı
ω	: Frekans

KISALTMALAR

DBYBHY	: Deprem Bölgesinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik
MN	: Minimum Hasar Sınırı
BN	: Belirgin Hasar Sınırı
GV	: Güvenlik Sınırı
GÇ	: Göçme Sınırı
HK	: Hemen Kullanım
CG	: Can Güvenliği
GÖ	: Göçme Öncesi
SEAOC	: Structural Engineers Association Of California
ATC	: Applied Technology Council
FEMA	: Federal Emergency Management Agency
AFAD	: Afet ve Acil Durum Yönetim Başkanlığı
KRDAE	: Kandilli Rasathanesi Deprem Araştırma Enstitüsü
TR-KYH	: Türkiye Ulusal Kuvvetli Yer Hareketi Gözlem Ağı
USGS	: United States Geological Survey
EMSC	: European-Mediterranean Seismological Centre
TGD-1	: Temel Güvenlik Depremi-1
TGD-2	: Temel Güvenlik Depremi-2

1. GİRİŞ

1.1. Konunun Önemi

Ülkemizde son yıllarda yıkıcı ve ağır kayıplara neden olan depremlerden bir olan Van depremi, 23 Ekim 2011 günü Türkiye saati ile 13.41' de meydana gelmiştir. Bu deprem Kandilli rasathanesinin açıklamasına göre Richter ölçeğinde 7.2M_w [19], ABD Jeoloji Araştırmaları Kurumuna göre 7.1M_w büyüklüğündedir [45]. Bu depremin merkez üssü Van' a 17 km uzaklıktaki Tabanlı köyüdür [19]. Bu depremde 337 ölü, 3052 yaralı ve 2262 adet bina enkaz haline gelmiştir. Bu depremin ardından 30 Ekim 2011' e kadar Richter ölçeğine göre 2.0M_w ve üzeri 1561 artçı sarsıntı yaşanmıştır [6]. Bu artçı sarsıntılardan sonra az hasarlı olan binalar orta hasarlı, orta hasarlı olan binalar ağır hasarlı binalar haline dönüşmüş ve yeni can kayıplarının ortaya çıkmasına neden olmuştur. 23 Ekim 2011 tarihindeki ana depremden sonra 9 Kasım 2011 günü Türkiye saati ile 21.23' de meydana gelen ve 5.6M_w büyüklüğüne sahip depremin merkez üssü Van'a 16 km uzaklıktaki Edremit ilçesidir [19,45]. Bu depremin etkisiyle 2' si otel (Bayram ve Aslan otelleri) olmak üzere 25 bina yıkılmıştır. Bu yıkılma esnasında 40 kişinin öldüğü ve 30 kişinin enkazdan sağ kurtarıldığı belirtilmiştir [7]. Bu nedenden gerek mevcut binaların ve gerekse yeni inşa edilecek binaların deprem altındaki performans seviyelerinin, yıkılma şekillerinin ve artçı sarsıntılar altındaki davranışlarının gelişmiş tekniklerle belirlenmesi gerekmektedir.

1.2. Konuyla İlgili Yapılan Çalışmalar

Betonun çevrimsel yük altındaki davranışıyla ilgili ilk çalışmalar Sinha ve ark. [40] tarafından yürütülmüştür. Bu çalışmada, çevrimsel basınç yükleri altında betonun davranışını ve betonun yükleme/boşaltma eğrileri hakkında detaylı çalışma yapılmıştır. Karsan ve Jirsa [22] çoklu seviyelerde basınç yüküne maruz betonların davranışını ve dayanımını belirlemek için deneysel çalışmalar gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmalarda dikdörtgen kolonlar periyodik eksenel yükler altında test edilmiştir. Böylece Karsan ve Jirsa betonun basınç gerilme-şekil değiştirme eğrilerinin elde edilmesi, yükleme/boşaltma ve tekrar yükleme eğrilerinin belirlenmesi konusunda çalışmalarını yürütmüşlerdir.

Yankelevsky ve Reinhardt [47], beton için tek eksenli basit bir gerilme-şekil değiştirme modeli önermiş ve bu gerilme-şekil değiştirme eğrilerinin yüklemenin geçmişine bağlı olarak hesaplanacağını kabul etmişlerdir. Mander, Priestley ve Park [24], basınç yüküne maruz etriyeli betonlar için tek eksenli bir gerilme-şekil değiştirme modeli geliştirmişlerdir. Bu modelde sabit basınç yükleri için Popovics [32] tarafından önerilen gerilme-şekil değiştirme eşitliğinin geliştirilmiş bir formunu kullanmışlardır. Bu model daha sonraları Martinez-Rueda ve Elnashai [26] tarafından tekrarlı yüklerden dolayı rijitlik ve dayanım üzerinde oluşan etkileri içerecek şekilde yeniden düzenlenmiştir. Chang ve Mander [9], çevrimsel basınç ve çekme yükü altında bulunan yüksek dayanıma sahip etriyeli ve etriyesiz betonların histerik davranışını elde etmek için gelişmiş bir model önermişlerdir. Bahn ve Hsu [5] ise geliştirdikleri parametrik bir çalışmayla rastgele çevrimsel basınç yükleri altındaki betonun davranışı üzerine deneysel bir inceleme yapmışlardır. Yapılan bu yarı ampirik çalışmada çevrimsel gerilme-şekil değiştirme eğrilerinin genel kontrol parametreleri kümesi incelenmiştir. Palermo ve Vecchio [31], yapıcı bir model için betonda basınç yüzeyi yaklaşımını (Geliştirilmiş Basınç Alan Teorisi, Vecchio ve Collins [46]) önermişlerdir. Önerilen bu beton çevrimsel modelinde basınç ve çekmenin her ikisi de betonda düşünülmüştür. Ters çevrimsel kayma gerilmelerine maruz Yumuşatılmış Membran Modelinin (Hsu ve Zhu, [16]) bir uzantısı Mansour ve Hsu [25] tarafından sunulmuştur. Son zamanlarda, Sakai ve Kawashima [35] etriye ile sargılanmış silindirik beton numuneler üzerinde yaptıkları çalışmalar yardımıyla etriyeli betonlar için bir yükleme/boşaltma eğrisi önermişlerdir.

Önerilen bu sayısız beton modellerinin tamamı makroskobik düzeyde; elastisite teorisiyle türetilen modeller, plastisite teorisine dayanan modeller ve süreklilik hasar teorisine dayalı modeller olmak üzere üç geniş kategoriye ayırt edilebilir [57].

1.3. Çalışmanın Amacı ve Yöntemi

Bu tez çalışmasında, betonarme binaların doğrusal olmayan davranışları için Fibre eleman yöntemi kullanılarak depremden hasar görüp yıkılmış bir binanın yıkılma mekanizması ve sebepleri incelenmiş [15, 17, 20, 21]. Analitik hesaplar yardımıyla binanın malzeme karakteristikleri, yerel zemin sınıfının ve zeminin sismik karakteristikleri belirlenmiştir.

Çalışma, üç ana kısımdan meydana gelmekte olup ilk aşamada son yıllarda hassaslığı test edilmiş ve gelişmiş bir yöntem olarak adlandırılan Fibre eleman yöntemi incelenmiştir. [15, 17, 20, 21]. Bu amaçla literatürde kullanılan SeismoStruct programı [36] kullanılacaktır. İkinci aşamada, Van’ da yıkılan Aslan Otel’ in proje verileri bu programa girilerek ve Statik İtme analizi ile malzeme özellikleri, yerel zemin sınıfları ve sismik özellikleri belirlenmiş ve programla elde edilen verilerle arazide yapılmış ölçümler karşılaştırılmıştır. Son aşamada ise zaman alanında adım-adım integrasyon yöntemleri kullanılarak 23 Ekim 2011 ve 9 Kasım 2011 Van depremlerinin sismik verileri dikkate alınarak Aslan otelin yıkılma mekanizmaları elde edilmiş ve gerçekte yıkılma mekanizması ile karşılaştırılmıştır.

2. BETON VE ÇELİK İÇİN MALZEME MODELLERİ

2.1. Mander, Priestly ve Park Beton Modeli

2.1.1. Etriyeli Beton için Tek Eksenli Gerilme-Şekil Değiştirme Modeli

Mander ve ark. [23], hem dairesel hem de dikdörtgen en kesite sahip etriyeler ile sargılanmış betonlar için uygulanabilen bir tek eksenli gerilme-şekil değiştirme yaklaşımı önermişlerdir. Bu gerilme-şekil değiştirme modeli Şekil 2.1' de görülmekte olup Popovics [32] tarafından önerilen bir denkleme dayanmaktadır. Bu modelde, düşük şekil değiştirme hızlarına (yarı-statik) sahip monotonik yüklemeler için boyuna doğrultudaki betonun basınç gerilmesi, f_c ,

$$f_c = \frac{f'_{cc} x r}{r-1+x^r} \quad (2.1)$$

eşitliğiyle tanımlanmıştır. Burada, f'_{cc} , etriyeler ile sargılanmış betonun basınç dayanımını göstermekte olup r ise betonun başlangıç elastisite modülü, E_c ve sekant elastisite modülü E_{sec} , arasındaki bir oran olup,

$$r = \frac{E_c}{E_c - E_{sec}} \quad (2.2)$$

bağıntısı yardımıyla hesaplanmaktadır. Bu elastisite modülü değerleri ise,

$$E_c = 5,000\sqrt{f'_{co}} \quad (2.3.a)$$

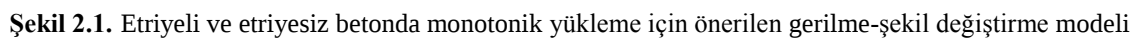
$$E_{sec} = \frac{f'_{cc}}{\epsilon_{cc}} \quad (2.3.b)$$

eşitlikleri ile elde edilmektedir. Aynı zamanda denklem (2.1)' de belirtilen x , şekil değiştirmelerin oranlandığı boyutsuz bir parametre olup,

$$x = \frac{\epsilon_c}{\epsilon_{cc}} \quad (2.4)$$

$$\varepsilon_{cc} = \varepsilon_{co} \left[1 + 5 \left(\frac{f'_{cc}}{f'_{co}} - 1 \right) \right] \quad (2.5)$$

eşitliğiyle elde edilmektedir. Burada f'_{co} ve ε_{co} , sırasıyla etriyeli betonun basınç dayanımını ve bu dayanıma karşılık gelen şekil değiştirmeyi göstermektedir (genellikle $\varepsilon_c = 0,002$ kabul edilebilir).[34]



5

2.1.2. Efektif Çevre Basıncı ve Efektif Kısıtlama Katsayısı

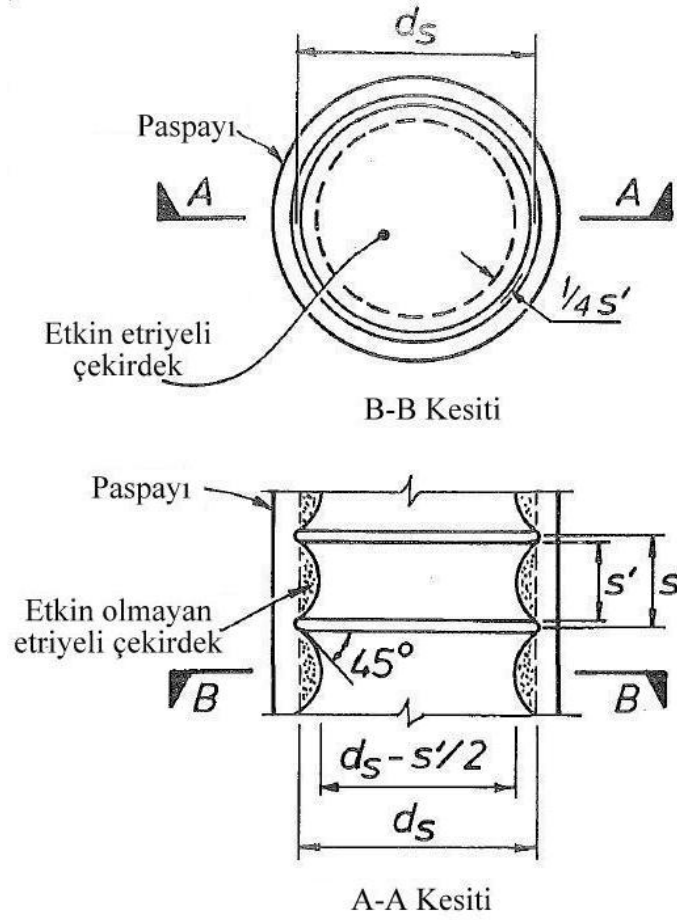
Efektif kısıtlama katsayısı, Şeyh ve Uzumeri [39] tarafından kullanılan yaklaşıma benzer bir yaklaşımla beton kesitinde efektif kısıtlama basıncını belirlemek için kullanılmıştır. Betonarme kesitlerde enine donatıların (ettriye) çevrelediği alan ettriye çekirdek bölgesi olarak adlandırılmaktadır. Kolonlarda eksenel basınç kuvvetinden dolayı ettriyeler enine doğrultuda çevreledikleri bölgenin bir kısmı üzerinde basınç kemerlenme bölgeleri meydana gelmektedir. Bu kemerlenme etkisi dairesel ve dikdörtgen kesitler için Şekil 2.2 ve 2.3’de görülmekte olup bu kemerlenme etkisi ile betonun çekirdek bölgesi etkin ve etkin olmayan iki bölgeden oluşmaktadır. Bu çekirdek bölgesinde etkin olmayan bölge, parabol şeklinde olup bu eğri ettriyelerden düşey yönde 45°’lik başlangıç açısı ile başladığı kabul edilmektedir. Böylece, etkin ettriye çekirdek bölgesinin alanı A_e , ettriye aralığının yarısı kadar bir azaltma yapılarak elde edilmektedir (Şekil 2.2 ve 2.3). Ettriye donatısının ortasından ortasına olan mesafe kullanılarak ettriyenin sargıladığı betonun çekirdek bölgesi alanı A_c alanı yardımıyla ve denklem (2.1)’de betonun basınç dayanımını hesaplamak için kullanılan A_{cc} ise A_c alanı yardımıyla,

$$A_{cc} = A_c(1 - \rho_{cc}) \quad (2.6)$$

denklemleriyle hesaplanmaktadır. Burada, ρ_{cc} kesit çekirdek alanının boyuna donatısının alanına oranını göstermektedir. Enine donatıdan dolayı oluşan basınç gerilmesinin üniform olduğu kabul edilerek ettriye efektiflik katsayısı, k_e ,

$$k_e = \frac{A_e}{A_{cc}} \quad (2.7)$$

denklemleri ile elde edilmektedir.



Şekil 2.2. Dairesel etriye donatılı kesitlerde etkin etriye çekirdeği

2.1.3. Spiral veya Dairesel Etriyeler için Efektif Kısıtlama Parametresinin Elde Edilmesi

Şekil 2.2' de görülen dairesel kesitli bir kolonda kullanılan spiral veya dairesel etriyeli durumlar için denklem (2.7)' de verilen etriye efektiflik katsayısının elde edilmesi amacıyla A_e ve A_{cc} alanları,

$$A_e = \frac{\pi}{4} \left(d_s - \frac{s'}{2} \right)^2 = \frac{\pi}{4} d_s^2 \left(1 - \frac{s'}{2d_s} \right)^2 \quad (2.8.a)$$

$$A_{cc} = \frac{\pi}{4} d_s^2 (1 - \rho_{cc}) \quad (2.8.b)$$

eşitlikleri kullanılarak bulunabilir. Burada s' Şekil 2.2' de görüldüğü gibi etriyeler arası temiz aralığı, d_s ise çubuk merkezleri arasındaki spiralin çapını ifade etmektedir. Böylece dairesel etriyeli kesitler için etriye efektiflik katsayısı k_e ,

$$k_e = \frac{\left(1 - \frac{s'}{2d_s}\right)^2}{1 - \rho_{cc}} \quad (2.9.a)$$

bağıntısı yardımıyla hesaplanır. Benzer şekilde spiral etriyeler için etriye efektiflik katsayısı k_e ,

$$k_e = \frac{1 - \frac{s'}{2d_s}}{1 - \rho_{cc}} \quad (2.9.b)$$

bağıntısı yardımı ile hesaplanabilir.

Yanal kısıtlama basıncı etriyeli gövdenin yarısı dikkate alınarak spiral veya dairesel etriyeler için bulunabilir. Eğer etriyede akma durumunda üniform bir çekme gerilmesi oluşursa, beton çekirdeği üzerinde üniform bir yanal gerilme meydana gelir. Bu durumda ortaya çıkacak olan kuvvetlerin dengesi,

$$2f_{yh}A_{sp} = f_l s d_s \quad (2.10)$$

bağıntısıyla ifade edilebilir. Burada, enine donatının akma dayanımı f_{yh} , enine donatı çubuğunun alanı A_{sp} , betonun yanal kısıtlama basıncı f_l , spiral veya dairesel etriyelerde merkezden merkeze olan aralık s ve etriyeli betonun çekirdek hacminin enine çeliğin hacmine oranı ρ_s ile tanımlanmıştır. Burada ρ_s ,

$$\rho_s = \frac{A_{sp} \pi d_s}{\frac{\pi}{4} d_s^2 s} = \frac{4A_{sp}}{d_s s} \quad (2.11)$$

eşitliği ile ifade edilir. Bu eşitlik denklem (2.10)' da yerine yazılırsa, betonun yanal kısıtlama basıncı,

$$f_l = \frac{1}{2} \rho_s f_{yh} \quad (2.12)$$

bağıntısı elde edilebilir. Böylece efektif yanal kısıtlama gerilmesi, f'_l , ise

$$f'_l = f_l k_e \quad (2.13.a)$$

$$f'_l = \frac{1}{2} k_e \rho_s f_{yh} \quad (2.13.b)$$

denklemleri ile elde edilebilir.

2.1.4. Çirozlu veya Çirozsuz Dikdörtgen Etriyeli Beton Kesitler için Efektif Kısıtlama Parametresinin Elde Edilmesi

Betonun etkin olmayan çekirdek bölgesi Şekil 2.3' de görüldüğü gibi yine başlangıç açısı 45° olan bir parabol şeklindedir. Bu etkin olmayan bölge $(w'_i)^2/6$ eşitliğiyle hesaplanabilmektedir. Burada w'_i , i inci iki boyuna donatı arasındaki temiz açıklığı göstermektedir. Böylece, betonun en kesit seviyesinde n tane boyuna donatı çubuğun bulunduğu kabul edilirse, toplam betonun etkin olmayan çekirdek beton alanı,

$$A_i = \sum_{i=1}^n \frac{(w'_i)^2}{6} \quad (2.14)$$

denklemleri yardımıyla hesaplanabilir. Etkin alanın elde edilmesi amacıyla toplam etriyeli beton çekirdek alanından bu alanın farkı alınırsa,

$$A_e = \left(b_c d_c - \sum_{i=1}^n \frac{(w'_i)^2}{6} \right) \left(1 - \frac{s'}{2b_c} \right) \left(1 - \frac{s'}{2d_c} \right) \quad (2.15)$$

Eşitliği ile çirozlu bir betonarme kesit için etkin beton çekirdek alanı hesaplanmış olur. Burada b_c ve d_c sırasıyla x ve y yönlerinde etriyenin boyutlarını göstermektedir. Ayrıca, efektif kısıtlama katsayısı denklem (2.6)' da elde edilen A_{cc} yardımıyla çirozlu dikdörtgen etriyeler için,

$$k_e = \frac{\left(1 - \sum_{i=1}^n \frac{(w'_i)^2}{6b_c d_c}\right) \left(1 - \frac{s'}{2b_c}\right) \left(1 - \frac{s'}{2d_c}\right)}{(1 - \rho_{cc})} \quad (2.16)$$

bağıntıyla hesaplanır. Dikdörtgen kesitli betonarme bir elemanlarda x ve y yönlerinde çalışan farklı etriye miktarı bulunabilir. Bu durumda denklem (2.11)' de verilen hacimsel oran ifadesi her iki yön içinde ayrı ayrı kullanılırsa,

$$\rho_x = \frac{A_{sx}}{s d_c} \quad (2.17.a)$$

$$\rho_y = \frac{A_{sy}}{s b_c} \quad (2.17.b)$$

bağıntıları elde edilebilir. Burada, A_{sx} ve A_{sy} sırasıyla x ve y yönlerinde çalışan enine çubukların toplam alanını göstermektedir. Böylece, betonun yanıl kısıtlama gerilmesi x ve y yönleri için,

$$f_{lx} = \frac{A_{sx}}{s d_c} f_{yh} = \rho_x f_{yh} \quad (2.18.a)$$

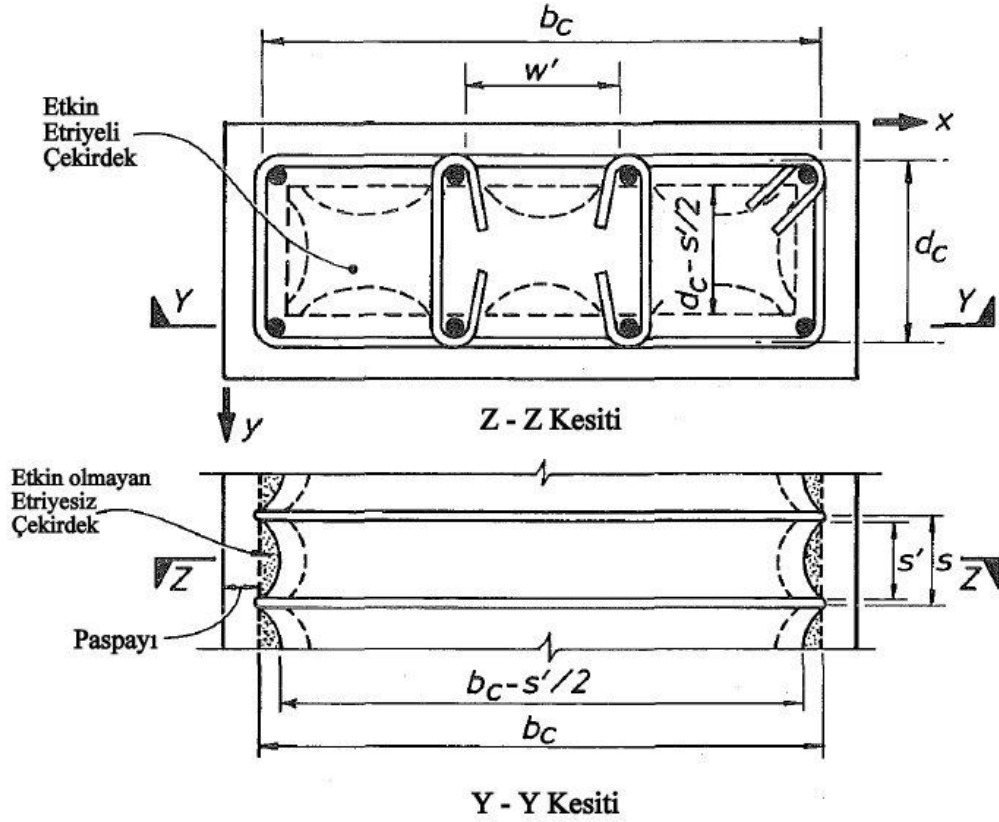
$$f_{ly} = \frac{A_{sy}}{s b_c} f_{yh} = \rho_y f_{yh} \quad (2.18.b)$$

denklemleriyle hesaplanabilir. Bu eşitlikler yardımıyla x ve y yönleri için efektif yanıl kısıtlama gerilmeleri,

$$f'_{lx} = k_e \rho_x f_{yh} \quad (2.19.a)$$

$$f'_{ly} = k_e \rho_y f_{yh} \quad (2.19.b)$$

formunda bulunabilir.



Şekil 2.3. Dikdörtgen donatılı etriyeler için etkin etriye çekirdeği

2.1.5. Etriyeli Beton için Basınç Dayanımı f'_{cc}

Etriyeli betonun basınç dayanımı f'_{cc} 'ünü belirlemek için, çok eksenli basınç gerilmeleri için belirlenmiş nihai bir basınç dayanım yüzeyini içeren esas bir model kullanılmıştır. Beş parametrelili Göçme Yüzeyi Modeli, William ve Warnke [50] tarafından tanımlanmıştır. Bu model üç eksenli test verileri ile mükemmel bir uyum sağlamıştır. Nihai dayanım yüzeyi ise Schickert ve Winkler [37]' in üç eksenli testlerine dayanmaktadır. Aynı zamanda, yöntemin hesaplama detayları Elwi ve Murray [13] tarafından verilmiştir.

İki yanal çevresel gerilmeleri açısından çok eksenli kırılma kriterinin genel çözümü Şekil 2.4' de verilmiştir. Eğer etriyeli beton çekirdek bölgesi, spiral veya dairesel etriyelerden dolayı ortaya çıkan f'_l eşit yanal çevreleme gerilmeleri ile üç eksenli basınç gerilmesi etkisi altında olduğu kabul edilirse, çevreleme basınç gerilmesi,

$$f'_{cc} = f'_{co} \left(-1,245 + 2,254 \sqrt{1 + \frac{7,94 f'_l}{f'_{co}}} - 2 \frac{f'_l}{f'_{co}} \right) \quad (2.20)$$

eşitliği ile elde edilir. Eşitlikte f'_{co} etriyesiz betonun basınç dayanımını gösterirken f'_l efektif yanal kısıtlama gerilmesi denklem (2.13) ile elde edilir.

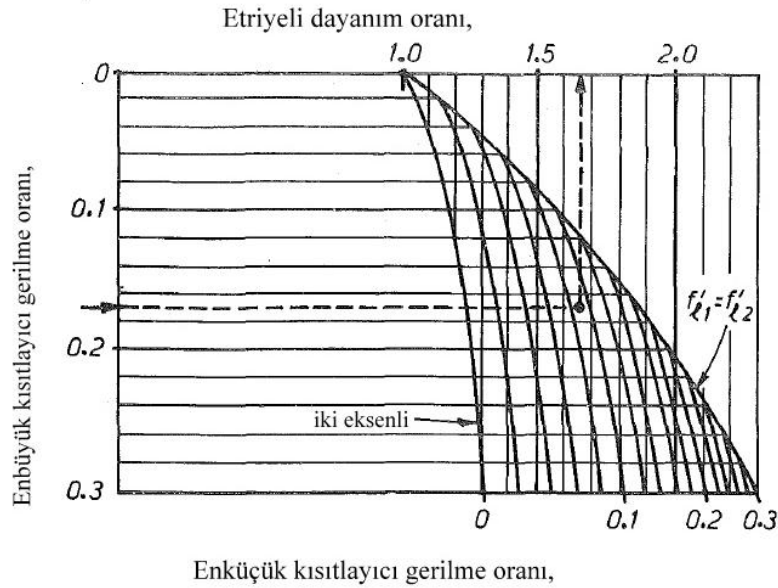
Sayısal örnek olarak, etriyesiz betonun basınç dayanımını $f'_{co} = 30$ MPa olan bir kolon düşünelim ve bu kolonun x ve y yönleri için efektif yanal kısıtlama gerilmeleri sırasıyla denklem (2.19.a) ve (2.19.b) kullanılarak $f'_{lx} = 5,1$ MPa ve $f'_{ly} = 2,7$ MPa olarak bulunur. Daha sonra denklem (2.20) kullanılarak ve şekil 2.4' de görülen noktalı çizgi takip edilerek etriyeli betonun basınç dayanımı $f'_{cc} = 1,65 \times 30 = 49,5$ MPa olarak bulunur.

2.1.6. Monotonik Çekme Yüklemesi

Çekme dayanımı aşılmadığı durumda doğrusal bir gerilme-şekil değiştirme ilişkisinin olduğu kabul edilmektedir. Boyuna gerilme f_c ,

$$f_c < f'_t \text{ için } f_c = E_c \varepsilon_c ; \text{ aksi durumlarda } f_c = 0$$

eşitlikleri ile hesaplanmaktadır. Burada, E_c betonun teğet elastisite modülü olup denklem (2.3.b) ile hesaplanmaktadır. ε_c , betonun boyuna doğrultudaki çekme şekil değiştirmesini ve f'_t ise betonun çekme dayanımını göstermektedir.



Şekil 2.4. Dikdörtgen kesitler için yanal gerilmelerden meydana gelen etriyeli dayanımın belirlenmesi

2.2. Yavaş Şekil Değiştirme Hızlarında ve Tekrarlı Yükleme için Gerilme-Şekil Değiştirme İlişkisi

Monotonik yüklemede gerilme-şekil değiştirme eğrisinin tekrarlı yüklemeler için elde edilen gerilme-şekil değiştirme tepkinin bir zarfı olduğu kabul edilmektedir. Diğer bir deyişle, monotonik eğrinin iskelet eğrisi olduğu varsayılır. Bu durum Sinha ve ark. [40] ile Karsan ve Jirsa' nın etriyesiz düzlem beton numuneler için yaptıkları çalışmaların sonuçlarına dayanılarak elde edilmiştir [22]. Mander ve ark. [23] tarafından yapılan test sonuçlarına dayanılarak bu kabulün betonarme numuneler için de kabul edilebilir olduğu görülmektedir.

2.2.1. Yük Boşaltma Kolları

Betonun yük boşaltma eğrileri iskelet gerilme-şekil değiştirme eğrisinin ya basınç veya çekme kısımlarından oluşabilir. Bu iki durumlar aşağıdaki detaylı bir şekilde incelenmiştir.

2.2.1.1. Basınç Yük Boşaltma Durumu

Şekil 2.5' de gerilme-şekil değiştirme eğrisinin bir yük boşaltma kolu görülmektedir. Buna göre denklem (2.1) ile verilen basınç yükleme eğrisi yardımıyla bir geri dönüş gerilme-şekil değiştirme eğrisi, yük boşaltma kolunu oluşturmaktadır. Burada, ε_{pl} plastik şekil değiştirmesinin tespit edilmesi için yük boşaltma eğrisi üzerinde yer alan $(\varepsilon_{un}, f_{un})$ geri dönüş koordinatları kullanılmaktadır. Burada kullanılan yöntem Takiguchi ve ark. [41] tarafından kullanılan yöntemle benzerdir. Bu yöntem, hem etriyesiz hem de etriyeli betonlar için geliştirilerek rahatlıkla kullanılabilir forma getirilmiştir. Şekil 2.5' de görüldüğü gibi ε_{pl} plastik şekil değiştirmesi, secant yük boşaltma açısına bağlı olarak hesaplanmaktadır. Burada, ε_a şekil değiştirmesi, basınç iskelet eğrisinin başlangıç teğeti ile secant plastik yük boşaltma eğrisinin kesişim noktası olarak elde edilmektedir. ε_a

$$\varepsilon_a = a\sqrt{\varepsilon_{un}\varepsilon_{cc}} \quad (2.21)$$

eşitliği ile hesaplanabilir. Burada a katsayısı Takiguchi ve ark. [41] tarafından düzlem betonlar için 0,1175 inç olarak kullanılmıştır. Bu çalışmada, a katsayısının bu değerinin hem etriyeli hem de etriyesiz betonlar için uygun olmadığı sonucuna ulaşılmıştır. Bu katsayının

$$a = \frac{\varepsilon_{cc}}{\varepsilon_{cc} + \varepsilon_{un}} \quad (2.22.a)$$

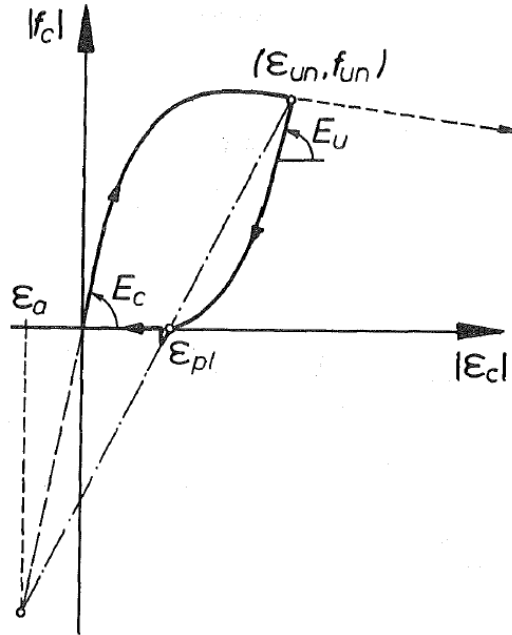
veya

$$a = \frac{0,09\varepsilon_{un}}{\varepsilon_{cc}} \quad (2.22.b)$$

eşitlikleri ile daha büyük bir değer seçilmesi gerektiği ifade edilmiştir. Plastik şekil değiştirmenin ε_a ve ε_{un} arasındaki secant doğrusu üzerinde yer alması için ε_{pl} plastik şekil değiştirmesi,

$$\varepsilon_{pl} = \varepsilon_{un} - \frac{(\varepsilon_{un} + \varepsilon_a)f_{un}}{(f_{un} + E_c \varepsilon_a)} \quad (2.23)$$

eşitliği kullanılarak elde edilmektedir.



Şekil 2.5. Gerilme-şekil değiştirme eğrisi için yük boşaltma kolu ve genel şekil değiştirme ε_a kullanılarak plastik şekil değiştirme ε_{pl} 'nin belirlenmesi

Böylece denklem (2.1)' de verilen eşitlik Şekil 2.5' de görülen yük boşaltma eğrisine göre değiştirildiği zaman,

$$f_c = f_{un} - \frac{f_{un} x^r}{r-1+x^r} \quad (2.24)$$

$$r = \frac{E_u}{E_u - E_{sec}} \quad (2.25)$$

$$E_{sec} = \frac{f_{un}}{\varepsilon_{un} - \varepsilon_{pl}} \quad (2.26)$$

$$x = \frac{\varepsilon_c - \varepsilon_{un}}{\varepsilon_{pl} - \varepsilon_{un}} \quad (2.27)$$

formuna dönüşmektedir. Burada, E_u yük boşaltma eğrisinin başlangıcındaki ilk elastisite modülü olup

$$E_u = bcE_c \quad (2.28.a)$$

$$b = \frac{f_{un}}{f'_{co}} \geq 1 \quad (2.28.b)$$

$$c = \left(\frac{\varepsilon_{cc}}{\varepsilon_{un}} \right)^{0,5} \leq 1 \quad (2.28.c)$$

şeklinde ifade edilmektedir. (2.22.a), (2.28.b) ve (2.28.c) denklemlerindeki a , b ve c katsayıları seçilen deneysel yük boşaltma eğrileri ile kabul edilen gerilme-şekil değiştirme ilişkisinin “en uygununu” belirlemek için deneme yanılma yolu ile belirlenmiştir.

Kullanılan deneysel eğriler, etriyesiz betonlar için Karsan ve Jirsa [22] ile Sinha ve ark. [40], etriyeli betonlar için ise Mander ve ark. [23]' nın yaptığı çalışmalardan alınmıştır. Eğer bir yeniden yükleme durumundan yük boşaltma durumuna geçiş olursa, o anki plastik şekil değiştirme ε_{pl} kullanılmaktadır.

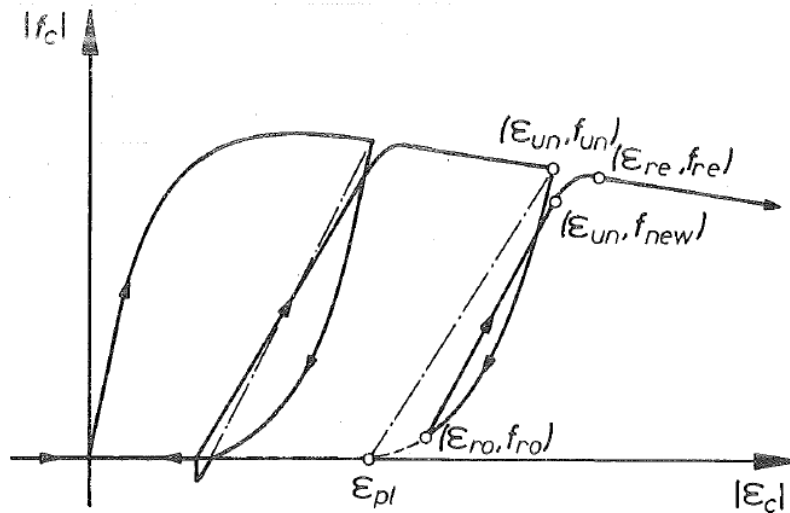
Çekme şekil değiştirme değerinin aşılması durumunda başka bir değişle $\varepsilon_c > (\varepsilon_t - \varepsilon_{pl})$ olduğunda çatlaklar açılır ve betonun çekme dayanımının sonraki tüm yükleme adımları için sıfır olduğu kabul edilir.

2.2.2. Tekrar Yükleme Kolları

Yük boşaltma ve tekrar yükleme kollarını içeren gerilme-şekil değiştirme eğrileri Şekil 2.7’ de görülmektedir. Yeniden yükleme noktasının koordinatları $(\varepsilon_{ro}, f_{ro})$ ya yük boşaltma eğrisi yardımıyla ya da çatlak durumunda $\varepsilon_{ro} = (\varepsilon_{pl} - \varepsilon_t)$ ve $f_{ro} = 0$ eşitlikler yardımıyla Şekil 2.7’ de görüldüğü gibi elde edilebilir. Çevrimsel azalmanın hesaplanması için ε_{ro} ile ε_{un} arasında doğrusal bir gerilme-şekil değiştirme bağıntısı olduğu kabul edilmiştir. Böylece değiştirilmiş bir gerilme büyüklüğü hesaplanmaktadır. Bu yeni gerilme noktası (f_{new}) ,

$$f_{new} = 0,92f_{un} + 0,08f_{ro} \quad (2.35)$$

bağıntısı ile hesaplanmaktadır.



Şekil 2.7. Tekrarlı yükleme kolları için gerilme-şekil değiştirme ilişkisi

(2.22.a)-(2.30) denklemleri için kullanılan deneysel veriler denklem (2.35)’ in ayarlanması için de kullanılmıştır. Burada yük boşaltma eğrisi ve basınç iskelet eğrisi

arasında bulunan geçiş eğrisinin lineer bir doğru olduğu kabul edilmektedir. Böylece tekrar yükleme durumunda basınç gerilmesinin değeri,

$$f_c = f_{ro} + E_r(\varepsilon_c - \varepsilon_{ro}) \quad (2.36)$$

eşitliği ile hesaplanmaktadır. Burada E_r ,

$$E_r = \frac{f_{ro} - f_{new}}{\varepsilon_{ro} - \varepsilon_{un}} \quad (2.37)$$

bağıntısıyla ifade edilmektedir. Denklem 2.1 ve $(\varepsilon_{re}, f_{re})$ koordinatları yardımıyla betonun basınç iskelet eğrisi üzerine geçiş yapılmaktadır. Buradaki parabolik geçiş eğrisi,

$$f_c = f_{re} + E_{re}x + Ax^2 \quad (2.39)$$

$$x = (\varepsilon_c - \varepsilon_{re}) \quad (2.40)$$

$$A = \frac{E_r - E_{re}}{-4[(f_{new} - f_{re}) - E_r(\varepsilon_{un} - \varepsilon_{re})]} \quad (2.41)$$

$$\varepsilon_{re} = \varepsilon_{un} + \frac{f_{un} - f_{new}}{E_r(2 + \frac{f'_{cc}}{f'_{co}})} \quad (2.38)$$

denklemleri yardımıyla hesaplanmaktadır. Burada ε_{re} , geri dönüş şekil değiştirmesi olup E_{re} ve f_{re} sırasıyla geri dönüş noktasındaki teğet elastisite modülü ve geri dönüş noktasında elde edilen gerilmedir.

2.3. Gerilme-Şekil Değiştirme İlişkisi Üzerinde Şekil Değiştirme Hızının Etkisi

Artırılmış şekil değiştirme hızı ile yüklenen betonun hem dayanım ve hem de elastisite modülünde atışlar görülmektedir. Yüksek şekil değiştirme hızlarına maruz betonun özellikleri hakkında deneysel veriler, Watstein [49], Bresler ve Bertero [8], Scott ve ark. [38], Ahmad ve Shah [1, 2], Dilger ve ark. [12] ve diğerleri tarafından rapor edilmiştir.

(2.1)-(2.41) denklemleriyle verilen gerilme-şekil değiştirme bağıntıları yavaş (yarı-statik) şekil değiştirme hızları için yazılmıştır. Bununla birlikte, bu denklemler yüksek şekil değiştirme hızlarında yüklenmiş beton için etriyesiz betonlara ait f'_{co} , E_c ve E_{co} kontrol parametreleri kullanılarak uygulanacaktır. Bu parametreler ε_c şekil değiştirme hızıyla ilişkilendirilerek kullanılmaktadır. Aynı zamanda bu denklemler uyarlandıkları takdirde yüksek şekil değiştirme oranlarında yüklenen betona da uygulanabilecektir.

Bu parametrelerin şekil değiştirme hızına bağlılığına ait ifadeler Mander ve ark.[23] tarafından deneysel sonuçlara dayalı olarak belirlenmiş olup aşağıdaki bölümlerde açıklanmıştır.

2.3.1. Betonun Dinamik Basınç Dayanımı

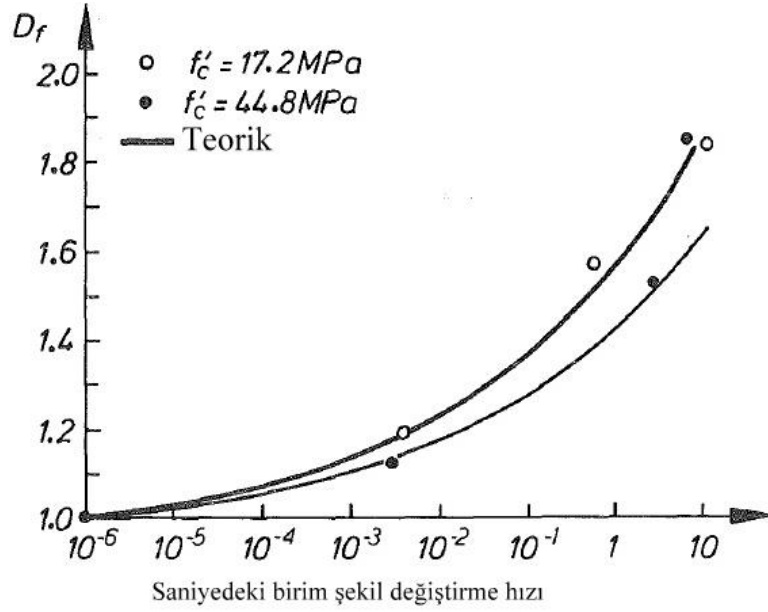
Betonun dinamik basınç dayanımı için bağıntı,

$$(f'_{co})_{dyn} = D_f f'_{co} \quad (2.42)$$

formunda tanımlanmıştır. Burada f'_{co} , Betonun yarı-statik basınç dayanımını, D_f ise dayanım için dinamik büyütme faktörünü göstermekte olup,

$$D_f = \frac{1 + \left[\frac{\varepsilon_c}{0,035(f'_{co})^2} \right]^{1/6}}{1 + \left[\frac{0,00001}{0,035(f'_{co})^2} \right]^{1/6}} \quad (2.43)$$

bağıntısıyla elde edilmektedir. Burada ε_c , şekil değiştirme hızı olup s^{-1} , f'_{co} ise MPa birimindedir. Dinamik büyütme faktörü D_f 'ye ait (2.43) bağıntısı, farklı dayanıma sahip düzlem beton numuneler üzerinde Watstein [49] tarafından yapılan deneysel sonuçlara eğri uydurma analizi ile elde edilmiştir. İki farklı dayanıma sahip beton için elde edilen deneysel sonuçlarla denklem (2.43)' e ait eğrinin karşılaştırılması Şekil 2.8' de görülmektedir.



Şekil 2.8. Dayanım üzerinde şekil değıştirme hızı etkileri için izin verilen D_f dinamik büyütme faktörü

2.3.2. Betonun Dinamik Elastisite Modülü

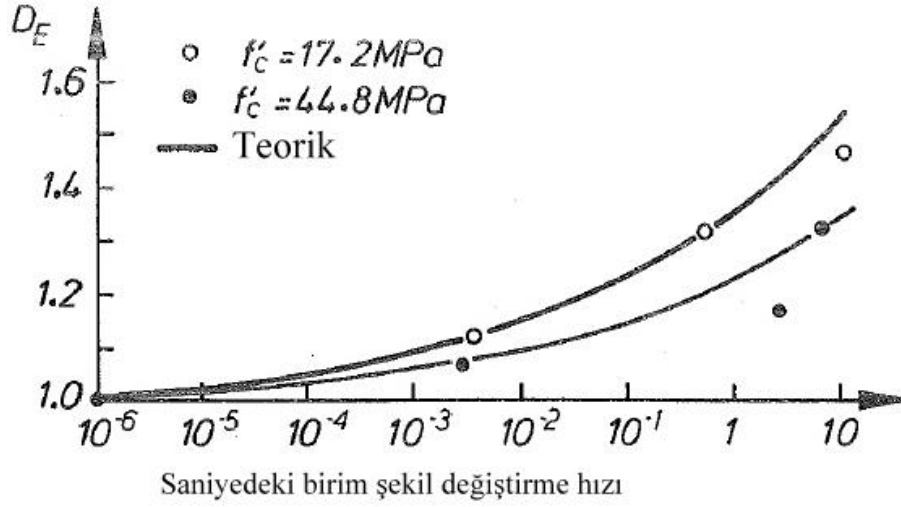
Betonun dinamik elastisite modülü için bağıntı,

$$(E_c)_{dyn} = D_E E_c \quad (2.44)$$

formunda tanımlanmıştır. Burada; E_c , betonun yarı-statik elastisite modülünü, D_E ise elastisite modülü için dinamik büyütme faktörünü göstermekte olup,

$$D_E = \frac{1 + \left[\frac{\varepsilon_c}{0.035(f'_{co})^3} \right]^{1/6}}{1 + \left[\frac{0.00001}{0.035(f'_{co})^3} \right]^{1/6}} \quad (2.45)$$

bağıntısıyla elde edilmektedir. Burada ε_c , şekil değıştirme hızı olup s^{-1} , f'_{co} ise MPa birimindedir. Dinamik büyütme faktörü D_E ' ye ait (2.45) bağıntısı, farklı dayanıma sahip beton numuneler üzerinde Watstein [49] tarafından yapılan deneysel sonuçlara eğri uydurma analizi ile elde edilmiştir. İki farklı dayanıma sahip beton için elde edilen deneysel sonuçlarla denklem (2.45)' e ait eğrinin karşılaştırılması Şekil 2.9' da görülmektedir.



Şekil 2.9. Elastisite modülü üzerinde şekil değiştirme hızı etkileri için izin verilen D_E dinamik büyütme faktörü

2.3.3. Maksimum Gerilmeye Karşılık Gelen Dinamik Şekil Değiştirme

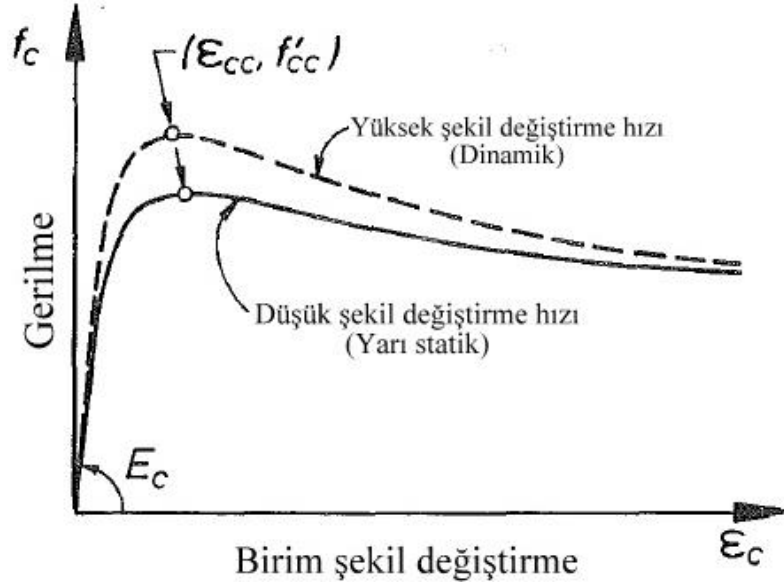
Dinamik yükleme altındaki şekil değiştirme için,

$$(\varepsilon_{co})_{dyn} = D_\varepsilon \varepsilon_{co} \quad (2.46)$$

eşitliği yazılabilir. Burada; ε_{co} , yarı-statik yükleme altında betonun maksimum basınç gerilmesine karşılık gelen şekil değiştirmeyi göstermektedir. D_ε ise şekil değiştirmeye ait dinamik ölçekleme faktörü olup

$$D_\varepsilon = \frac{1}{3D_f} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{3D_f^2}{D_E}} \right) \quad (2.47)$$

bağıntısıyla hesaplanmaktadır. Farklı araştırmacılar tarafından yapılan deneyler sonuçlara göre yüksek şekil değiştirme hızları altında maksimum gerilmeye karşılık gelen şekil değiştirme için her hangi bir uzlaşma görülmemiştir. Denklem (2.47) şekil değiştirme hızının dikkate alınmadığı sabit dayanıma sahip betonlar üzerinde yapılan çalışmalar dikkate alınarak elde edilmiştir. Bu eşitliğin genelde birçok sonuçla uyduğu görülmüştür.



Şekil 2.10. Beton için tekil gerilme-şekil değiştirme ilişkisi üzerine şekil değiştirme hızının etkisi

Şekil 2.10’ da yüksek ve düşük şekil değiştirme hızları altındaki betonun gerilme-şekil değiştirme eğrisinin tahmini için (2.42)-(2.47) denklemleri kullanılarak elde edilen sonuçlar görülmektedir. Bu eğrilerden şekil değiştirme hızının artışı ile dayanım (f'_{cc})’ da ve başlangıç elastisite modülü (E_c)’ de artışa ve maksimum gerilmedeki şekil değiştirme (ϵ_{cc})’ de azalışa neden olduğu görülecektir. Aynı zamanda maksimum gerilmeden sonraki eğri kolunun eğiminde bir artış vardır.

2.4. Çeliğin Tek Eksenli Gerilme-Şekil Değiştirme Bağıntısı

Çeliğin gerilme-şekil değiştirme davranışı, iki lineer kollu izotropik ve kinematik pekleşme olarak iki şekilde modellenmektedir. Fakat bu davranışlarla elde edilen çözümlerde Bauschinger etkisini dikkate alınmamaktadır. Bu etkinin dikkate alındığı Menegotto ve Pinto [28] ve Ramberg-Osgood [33] gibi çelik malzeme modelleri kullanılmalıdır. Bu tez çalışmasında, Menegotto ve Pinto [28] tarafından önerilen çelik malzeme modeli detaylı bir şekilde sunulmuştur.

2.4.1 Çelik için Menegotto-Pinto Modeli

Menegotto ve Pinto [28] çeliğin lineer olmayan davranışının modellenmesinde Bauschinger etkisini dikkate alan gelişmiş bir model önermişlerdir. Önerilen bu model

daha sonra izotropik pekleşmeyi dikkate alacak şekilde Filippou ve ark. [14] tarafından geliştirilmiştir. Model, yükün boşaltıldığı ve tekrar yüklendiği durumlarda plastik şekil değiştirme sınırından sonraki ikinci lineer doğruya asimptotik olarak pürüzsüz bir şekilde yaklaşmaktadır.

Menegotto ve Pinto [28] modelinin gerilme-şekil değiştirme arasındaki bağıntısı Filippou ve ark. [14] tarafından,

$$\sigma^* = b \cdot \varepsilon^* + \frac{(1-b) \cdot \varepsilon^*}{(1+\varepsilon^{*R})^{1/R}} \quad (2.48)$$

şeklinde ifade edilmiştir. Burada, b teğet modülü olup, plastik elastisite modülünün, E^{pl} başlangıç elastisite modülüne E , oranını göstermektedir. R parametresi iki asimptot arasındaki geçiş eğrisinin eğriliğini etkileyen bir katsayı olup ileride detaylı bir şekilde bahsedilecektir. Aynı zamanda σ^* ve ε^* sırasıyla normalize edilmiş gerilme ve şekil değiştirmeyi göstermekte olup,

$$\varepsilon^* = \frac{\varepsilon - \varepsilon_{rev}}{\varepsilon_o - \varepsilon_{rev}} \quad (2.49)$$

$$\sigma^* = \frac{\sigma - \sigma_{rev}}{\sigma_o - \sigma_{rev}}$$

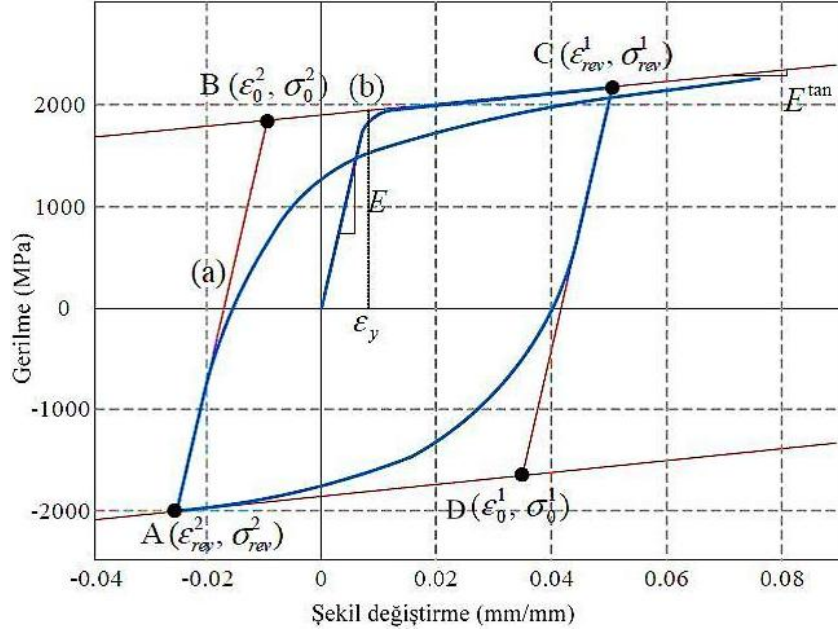
eşitlikleri ile elde edilmektedir. Denklem (2.48) ve (2.49) yardımıyla eğri üzerindeki tanjant elastisite modülü, E^{tan} ,

$$E^{tan} = \frac{d\sigma}{d\varepsilon} = \frac{\sigma_o - \sigma_{rev}}{\varepsilon_o - \varepsilon_{rev}} \cdot \frac{d\sigma^*}{d\varepsilon^*} \quad (2.50)$$

şeklinde elde edilebilir. Bu denklem $d\sigma^*/d\varepsilon^*$ için,

$$\frac{d\sigma^*}{d\varepsilon^*} = b + \left[\frac{1-b}{(1+\varepsilon^{*R})^{1/R}} \right] \cdot \left[1 - \frac{\varepsilon^{*R}}{1+\varepsilon^{*R}} \right] \quad (2.51)$$

formunda yazılabilir.



Şekil 2.11. Menegotto-Pinto çelik modeli [24].

Şekil 2.11’de görüldüğü gibi denklem (2.48) ile E eğimli bir doğrunun A başlangıç noktasından başlayıp başlangıç noktası B olan E^{pl} eğimli diğer bir doğruya pürüzsüz bir eğriyle asimptotik yaklaşmaktadır. Bu durum yüklemenin negatiften pozitif doğru olduğu durum için geçerli olup A noktasının koordinatları σ_{rev} ve ε_{rev} B noktasının koordinatları ise σ_0 ve ε_0 ’dır. Yüklemenin pozitiften negatife doğru olduğu durumda ise A noktası C noktası olarak B noktası ise D noktası olarak hesaba katılmaktadır Şekil (2.11). Ayrıca bu noktaların koordinatları her bir yükleme durumu için güncellenmektedir.

Denklem (2.48)’de verilen R katsayısı yükleme durumlarında kullanılan A, D veya B, C noktalarına ait şekil değiştirmeler arasındaki farka bağlı olarak hesaplanmaktadır (Şekil 2.12). Mevcut şekil değiştirmenin artan ya da azalan olup olmadığına bağlı olarak B iki asimptotun kesiştiği noktayı ve C ise önceki maksimum şekil değiştirmenin dönüş noktasını göstermektedir. R katsayısı hesaplanırken, Menegotto-Pinto’ nun [28] orijinal modelinde

$$R(\xi) = R_0 - \frac{cR_1 \cdot \xi}{cR_2 + \xi} \quad (2.52)$$

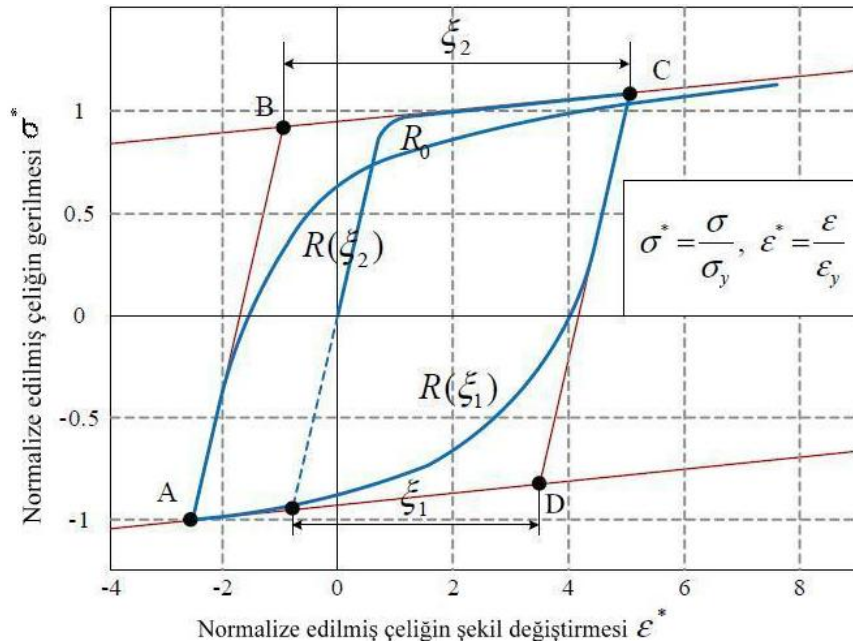
eşitliği kullanılmaktadır. Mazzoni ve ark.[27] ise bu katsayı için,

$$R(\xi) = R_o \left(1 - \frac{cR_1 \cdot \xi}{cR_2 + \xi} \right) \quad (2.53)$$

denklemini kullanmışlardır. Burada, R_o başlangıç yüklemesi sırasındaki R parametresinin değerini, cR_1 ve cR_2 ise R_o ile birlikte deneysel olarak belirlenen parametreleri göstermektedir. ξ ise,

$$\xi = \left| \frac{\varepsilon^m - \varepsilon_o}{\varepsilon_y} \right| \quad (2.54)$$

eşitliği ile hesaplanmaktadır. Burada, ε^m önceki maksimum veya minimum şekil değiştirmenin artan veya azalan olup olmadığına bağlı olarak dönüş noktasındaki mevcut şekil değiştirmeyi; ε_o , iki asimptotun kesiştiği noktadaki şekil değiştirmeyi ve ε_y ise başlangıç akma şekil değiştirmesini göstermektedir. Aynı zamanda, ξ değeri her bir yükleme durumunda yeniden güncellenmektedir.



Şekil 2.12. Menegotto-Pinto [24] çelik modelinde eğrilik parametresi R' nin tanımlanması

Elastik ve akma asimptotlarının doğrular olduğu kabul edilmiş olup akma yüzeyine bağlı sınır asimptotların pozisyonlarının sabit olduğu kabul edilmektedir. Böylece tüm zaman anları için E açısı daima sabit kalmaktadır. Modelin doğruluğunu sağlayabilmek

için doğru deneysel verilerin kullanılması gerekmektedir. Modelde yük boşaltma ve tekrar yükleme durumlarında E^{pl} eğimli doğrusunu asimptotik değerler tam olarak kesmemektedir. Bu eğri üzerindeki noktalara ulaşmak için Filippou ve ark.[15] iki doğru kesişimi ifadesini kullanarak E^{pl} eğimli doğru üzerindeki koordinatlar $(\sigma_o, \varepsilon_o)$ için artımsal şekil değiştirme $\Delta\varepsilon$ ' nin durumuna göre eşitlikler belirlemiştir. Bu eşitlikler,

- *Artımsal şekil değiştirme $\Delta\varepsilon$ pozitif bir değerden negatif bir değere geçerse,*

$$\Delta^N = 1 + a_1 \cdot \left(\frac{\varepsilon^{max} - \varepsilon^{min}}{2 \cdot a_2 \cdot \varepsilon_y} \right)^{0,8}$$

$$\varepsilon_o = \frac{-\sigma_y \cdot \Delta^N + E^{tan} \cdot \varepsilon_y \cdot \Delta^N - \sigma_{rev} + E \cdot \varepsilon_{rev}}{E - E^{tan}} \quad (2.55)$$

$$\sigma_o = -\sigma_y \cdot \Delta^N + E^{tan} \cdot (\varepsilon_o + \varepsilon_y \cdot \Delta^N)$$

- *Artımsal şekil değiştirme $\Delta\varepsilon$ negatif bir değerden pozitif bir değere geçerse,*

$$\Delta^P = 1 + a_3 \cdot \left(\frac{\varepsilon^{max} - \varepsilon^{min}}{2 \cdot a_4 \cdot \varepsilon_y} \right)^{0,8}$$

$$\varepsilon_o = \frac{\sigma_y \cdot \Delta^P - E^{tan} \cdot \varepsilon_y \cdot \Delta^P - \sigma_{rev} + E \cdot \varepsilon_{rev}}{E - E^{tan}} \quad (2.56)$$

$$\sigma_o = \sigma_y \cdot \Delta^P + E^{tan} \cdot (\varepsilon_o - \varepsilon_y \cdot \Delta^P)$$

olarak tanımlanmıştır. Burada, a_1 ve a_3 izotropik pekleşme parametrelerini ifade etmektedir. Bu parametreler $a_2 \cdot \frac{\sigma_y}{E}$ plastik şekil değiştirmesinden sonra basınç akma yüzeyinin bir büyümesini ve $a_4 \cdot \frac{\sigma_y}{E}$ plastik şekil değiştirmesinden sonra çekme akma yüzeyinin bir büyümesini sağlamaktadır. a_2 ve a_4 parametreleri a_1 ve a_3 ' e karşılık gelen izotropik pekleşme parametreleridir. ε^{max} ve ε^{min} ise yükün geriye dönüş noktalarındaki maksimum ve minimum şekil değiştirmeleri ifade etmektedir. Bu modelin sınırlayıcı faktörleri a_1 , a_2 , a_3 ve a_4 parametreleri deneysel sonuçlara eğri uydurma yolu ile belirlenmelidir. Mazzoni ve ark. [27] tarafından bu parametreler $a_1=0$, $a_2=55$, $a_3=0$ ve $a_4=55$ olarak önerilmiştir.

3. STATİK İTME (PUSHOVER) VE ZAMAN TANIM ALANI ANALİZLERİ

3.1. Statik İtme (Pushover) Analizi ve Performans Tayini

Statik itme analizi, yapıların yatay yükler etkisindeki davranış özelliklerinin ve performanslarının belirlenmesi amacıyla yapılmaktadır. Genel olarak bu analizde yapıya etkiyen yük yatay olarak adım-adım artırılarak uygulanmaktadır. Bu etki altında yapının en üst noktasına ait yer değiştirmeye karşılık yatay kuvvetlerin grafikleri elde edilmektedir. Bu yük-yer değiştirme grafikleri yapı elemanlarının doğrusal olmayan davranışları dikkate alınarak hesaplanmaktadır.

Statik itme analizi ile yapının performansının belirlenmesi yöntemi, yapıya ait yük-yer değiştirme eğrisi (Binanın kapasite eğrisi) ile deprem etkisi talebinin kesiştirilmesi esasına dayanmaktadır. Bu yöntem,

- a) Binaın kapasite eğrisinin belirlenmesi,
- b) Deprem etkisinin talep eğrisinin belirlenmesi,
- c) İki eğrinin kesiştirilerek binanın performans noktasının belirlenmesi,
- d) Bu performans noktasında binaya ait iç kuvvetler ve şekil değiştirme durumunun incelenerek istenen performans hedefinde binanın uygun olup olmadığının belirlenmesi,

olmak üzere 4 adımdan oluşmaktadır.

3.1.1. Binaın Kapasite Eğrisinin Belirlenmesi

Binaın kapasite eğrisi (Pushover eğrisi) genellikle taban kesme kuvveti ile yapının tepe noktasının yatay yer değiştirmesi arasındaki bağıntı çizilerek elde edilmektedir. Bu analiz için “Deplasman Kontrollü” ve “Yük Kontrollü” çözümler olmak üzere iki farklı hesaplama yöntemi kullanılmaktadır. Deplasman Kontrollü çözümlerde, yapının en üst katında seçilen düğüm noktaları için yer değiştirme değerleri sabit artımla istenen yer değiştirme değerine ulaşınca kadar binaya yük olarak etki ettirilmektedir. Kuvvet kontrollü yöntemde ise yapıya etkiyen yatay yük sabit bir yük artımıyla büyütülerek istenen yük seviyesine ulaşınca kadar yüklenmektedir. Bu her bir yükleme durumu için her bir yapı elemanında ortaya çıkan kuvvet-yer değiştirme veya moment-dönme ilişkileri

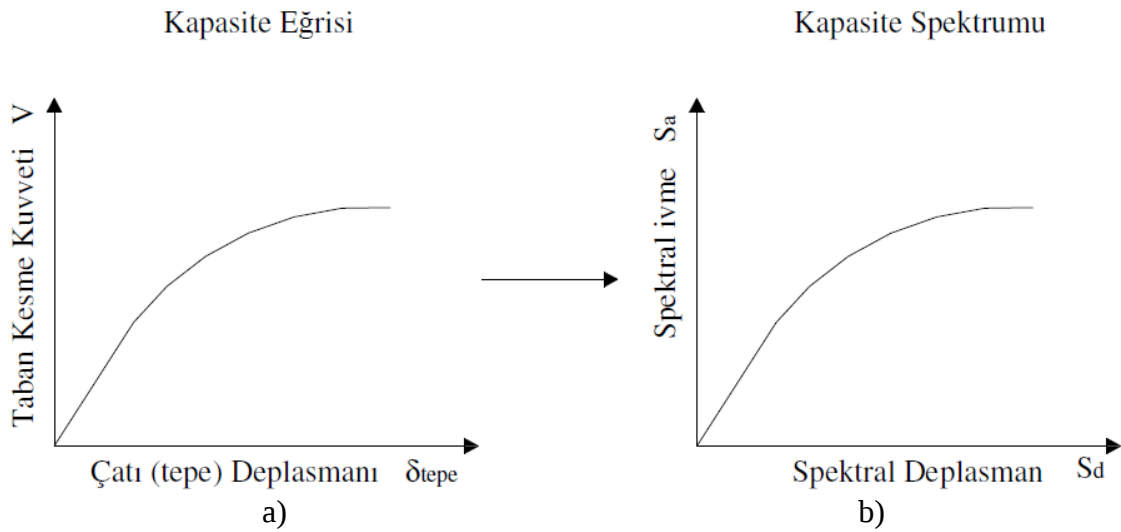
incelenerek elemanların hasar düzeyleri belirlenmektedir. Böylece hasar görmüş toplam elemanların yardımıyla yapının hasar düzeyi belirlenebilmektedir.

Deprem etkisinin talep eğrisi için binaların inşa edileceği bölgenin zemin karakteristikleri, bölgenin sismik aktivitesi gibi etkiler dikkate alınarak o bölgeye ait spektrum ivme grafikleri çizilmektedir.

Binanın kapasite eğrisi ile deprem talep eğrisinin kesiştirilmesi amacıyla kapasite eğrisi deprem talep eğrisinin eksenlerine dönüştürülmektedir. Bu dönüşümde düşey eksen modal ivme yatay eksen ise modal yer değiştirme olup dönüştürülen bu yeni eğriye ise “Kapasite Spektrum Eğrisi” veya “Modal Kapasite Eğrisi” adı verilmektedir. Dönüşüm işlemleri bölüm 3.1.2’ de detaylı bir şekilde verilmiştir.

3.1.2. Modal Kapasite Spektrumunun Elde Edilmesi

Statik itme analizi ile Tepe yer değiştirme-Taban kesme kuvveti arasındaki grafik (Kapasite eğrisi) binanın doğrusal olmayan davranışından elde edilmektedir (Şekil 3.1.a). Bu grafikte, tepe yer değiştirmesi binanın en üst katındaki düğüm noktası olup göz önüne alınan deprem doğrultusundaki her bir statik itme adımında hesaplanan yer değiştirme değerleridir. Taban kesme kuvveti ise, her statik itme adımında taban elemanlarının uçlarında oluşan kesme kuvvetlerinin toplamıyla elde edilmektedir.



Modal Kapasite Spektrum Eğrisi' nin elde edilmesi amacıyla kapasite eğrisi Deprem Yönetmeliği 2007' nin bölüm 7.6.5.4' ünde belirtilen adımlar yardımıyla düşey eksen Taban Kesme kuvvetinden Spektral İvmeye ve yatay eksen ise Tepe yer değiştirmesinden Spektral yer değiştirmeye dönüştürülmektedir. Söz konusu dönüşüm, aşağıdaki adımlar takip edilerek gerçekleştirilecektir [11].

- İtme adımında birinci (deprem doğrultusunda hakim) moda ait modal ivme S_a ,

$$S_a = \frac{V_{x1}}{\alpha_1 W} \quad (3.1)$$

$$\alpha_1 = \frac{g}{W} \quad (3.2)$$

$$M_1^* = \frac{\left(\sum_{i=1}^N m_i \phi_{i1} \right)^2}{\sum_{i=1}^N m_i \phi_{i1}^2} \quad (3.3)$$

denklemleriyle elde edilir. Burada S_a spektral ivmeyi ve V_{x1} her bir statik itme adımı için birinci moda ait taban kesme kuvvetini ve M_1^* birinci moda ait etkin kütle göstermektedir. Aynı zamanda N katsayısını belirtmekte olup m_i binanın i ' inci katına ait modal kütle, ϕ_{i1} ise birinci modun i ' inci katına ait modal yer değiştirmesi ve dönmelerini göstermektedir. Denklem (3.1) ve (3.2) den görüldüğü gibi boyutsuz S_a spektral ivme değeri, yer çekimi ivmesi ile boyutlu hale getirilmektedir.

- Statik itme adımında birinci (hakim) moda ait modal yer değiştirme S_d ,

$$S_d = \frac{u_{N1}}{\phi_{N1} \Gamma_1} \quad (3.4)$$

bağıntısıyla elde edilmektedir. Burada, S_d spektral yer değiştirmeyi ve u_{N1} her bir statik itme analizi için elde edilen birinci moda ait yer değiştirmeleri ve ϕ_{N1} ise birinci modun N . kata ait modal yer değiştirmesini göstermektedir. Γ_1 ise birinci moda ait modal katkı çarpanı olup,

$$\Gamma_1 = \frac{\sum_{i=1}^N m_i \phi_{i1}}{\sum_{i=1}^N m_i \phi_{i1}^2} \quad (3.5)$$

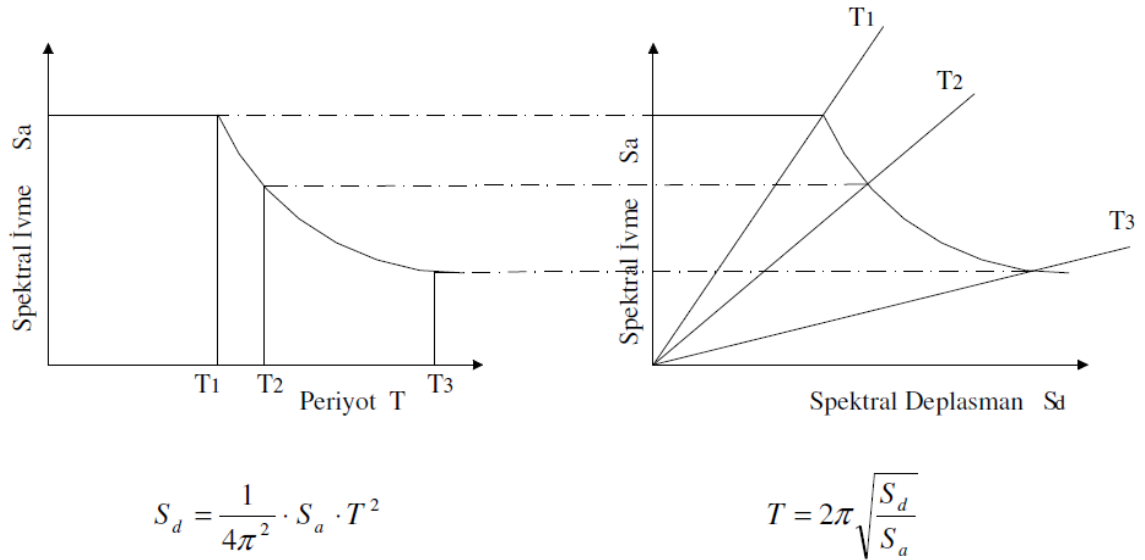
ifadesiyle elde edilmektedir.

3.1.3. Talep Spektrum Eğrisinin Elde Edilmesi

Yönetmeliklerde verilen ivme spektrum eğrileri periyoda karşılık elde edilmektedir. Bilindiği gibi bu ivme spektrumu ile yer değiştirme spektrumu arasında,

$$S_d(T) = \frac{1}{\omega^2} g S_a(T) = \frac{T^2}{4\pi^2} g S_a(T) \quad (3.6)$$

bağıntısı bulunmaktadır. Burada, $S_d(T)$ spektral yer değiştirme değerini, $S_a(T)$ ise spektral ivmeyi ifade etmektedir. $S_a(T)$ spektral ivme değerleri, yönetmelikte g yerçekimi ivmesiyle boyutsuz hale getirilmiştir. Deprem bölge katsayısı değerleri ve yer çekim ivmesi ile boyutlu hale getirilmektedir. Yatay eksen için her bir periyot değeri dikkate alınıp spektral yer değiştirme değeri elde edilip bu değerlere karşılık spektral ivme değerlerinin grafikleri çizilirse, “Karşılanması Gerekli Spektrum” veya “Talep Spektrumu” elde edilmiş olur. Bu dönüştürme işlemi Şekil 3.2’ de görülmektedir.

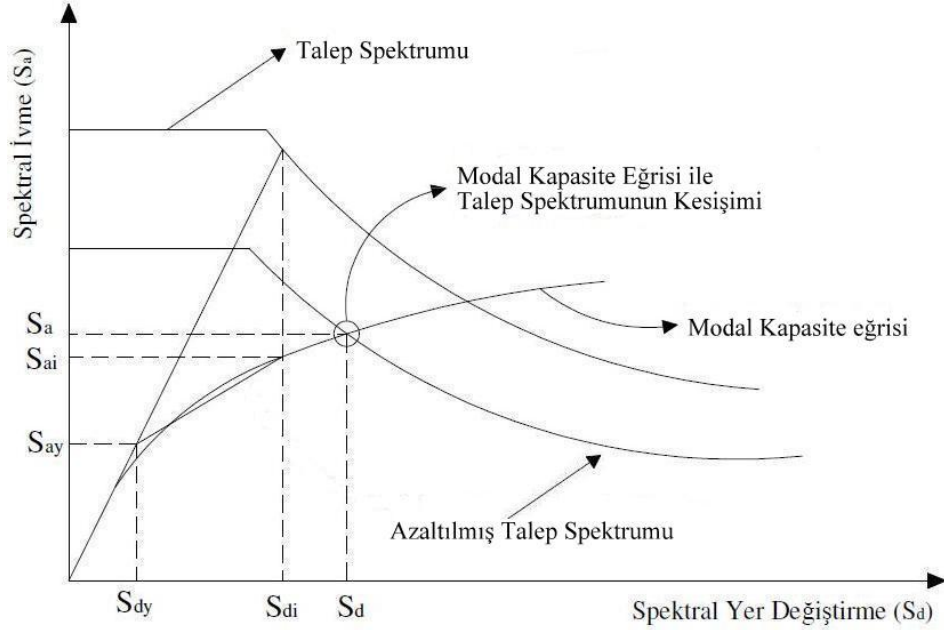


Şekil 3.2. İvme Spektrumunun Talep Spektrumuna dönüştürülmesi [51].

3.1.4. Modal Kapasite ve Talep Spektrumlarının Kesiştirilmesi

Talep ve Modal Kapasite Spektrumlarının kesiştirilmesi ile binanın bir performans noktası elde edilmektedir. Bu nokta deprem yer hareketine karşılık binada oluşabilecek

maksimum yapısal yer değiştirmenin elde edilmesini sağlamakta olup Şekil 3.3’ de bu işlem görülmektedir.



Şekil 3.3. Modal Kapasite ile Talep Spektrumlarının kesiştirilmesi [51].

3.1.5. Performans Noktasının Uygunluğu

Performans noktasının bulunmasından sonra bu noktanın binanın öngörülen performans seviyesinin koşullarını sağlayıp sağlamadığı, ilgili seviye için öngörülen sınırların kontrol edilmesiyle belirlenmektedir. Eğer bu sınırlar sağlanmıyorsa, performans seviyesinin değiştirilmesi veya taşıyıcı elemanların dayanımlarının ve rijitliklerinin artırılması gerekmektedir. Bu sınırlar ATC-40’ da ayrıntılı biçimde verilmiş olup, iki sınıfta toplanmaktadır [48].

3.1.5.1. Bina için Kabul Kriterleri

Bu kriterler; düşey yük kapasitesi, yatay yük kapasitesi ve katlar arası rölatif öteleme sınırı olmak üzere üç kısımda dikkate alınmaktadır. Yükleme adımları sonucunda oluşan plastik mafsallardan dolayı binanın performans noktasındaki toplam yatay yük kapasitesinin % 20’ den daha fazla azalması gerekir. Bu nedenle deprem etkisindeki

yükleme tekrarları sonucu oluşan dayanım azalması sınırlandırılmaktadır. Hasarın performans seviyelerine bağlı olarak sınırlandırılması için, binanın katlar arası yer değiştirmesinin kat yüksekliğine oranının Tablo 3.1’ de verilen değerleri aşmaması gerekmektedir [48].

Tablo 3.1. Katlar arası yer değiştirmenin kat yüksekliğine oranının sınırı [48].

	Performans seviyeleri			
	Hemen kullanım	Hasar kontrolü	Can güvenliği	Yapısal stabilite
Katlar arası yer değiştirme/Kat yüksekliği sınırı				
Maksimum toplam oranı	0.01	0.01-0.02	0.02	$0.33V_i/P_i$
Maksimum elastik ötesi yer değiştirme oranı	0.005	0.005-0.015	sınır yok	sınır yok

3.1.5.2. Elemanlar için Kabul Kriterleri

Modal Kapasite Spektrum eğrisi üzerinde elde edilen performans noktası için binadaki her elemanda oluşan gerilmeler ve şekil değiştirmelerin hesaplanarak kabul edilen performans noktası şartlarını sağlayıp sağlamadığı ve ilgili sınır değerlerinin altında kalıp kalmadığı kontrol edilmektedir. Eleman için gerekli olan kabul kriterleri, elemanda güç tükenmesini meydana getirecek olan kritik etkinin çeşidine bağlıdır. Kiriş ve kolonlarda meydana gelecek plastik mafsallı dönmelerinin, kiriş-kolon birleşim bölgelerinde kesme kuvvetinden dolayı oluşacak kayma açısının ve perdelerdeki plastik mafsallı dönmelerinin kabul sınırları dikkate alınarak kontrol edilmesi gerekmektedir [48].

3.2. Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi

Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yönteminin amacı, taşıyıcı sistemdeki doğrusal olmayan davranışı dikkate alarak sistemin hareket denklemini adım-adım integrasyon yöntemleri ile sayısal olarak çözmektir. Analiz sırasında her bir zaman artımında sistemde meydana gelen yer değiştirme, şekil değiştirme değerleri elde edilmekte böylece elemanlar içerisinde oluşabilecek plastik şekil değiştirme ve hasarlar hesaplanabilmektedir. Tüm deprem gibi dinamik dış etki boyunca bu doğrusal olmayan çözümler elde edilmekte ve binadaki hasar gören elemanlar ve hasarın miktarı hesaplanmaktadır [52].

Yapıya ait hareket denklemi,

$$[M]\{\ddot{U}\} + [C]\{\dot{U}\} + \{F^{int}\} = \{F\} \quad (3.7)$$

olarak tanımlanmaktadır. Burada, $[M]$ ve $[C]$ sırasıyla binanın kütle ve sönüm matrislerini; $\{\ddot{U}\}$ ve $\{\dot{U}\}$ ise sırasıyla binanın bağıl ivme ve hız vektörlerini göstermektedir. $\{F^{int}\}$ binanın teğet rijitlik matrisi ve yer değiştirme vektörü yardımıyla elde edilen iç kuvvet vektörünü ve $\{F\}$ ise dış kuvvet vektörünü ifade etmektedir. İç kuvvet vektörü, elasto-plastik davranış nedeniyle zamana bağlı olarak sürekli değişmektedir. Dış kuvvet vektörü ise statik ve hareketli yükleri de içerecek şekilde elde edilmekte olup yer ivmesinin değişimine bağlı olarak zaman içerisinde farklı değerlere sahip olmaktadır.

Bina ve bina türü yapıların zaman tanım alanında doğrusal elastik ya da doğrusal elastik olmayan deprem hesabı için, gerçek deprem ivme kayıtları veya yapay yollarla üretilmiş ivme kayıtları kullanılabilir. Seçilen deprem kaydının yapının bulunduğu bölgenin sismik özelliklerini yansıtacak şekilde seçilmesi veya üretilmesi gerekmektedir.

4. PERFORMANS KAVRAMINA DAYALI TASARIM

Performans kavramı, deprem mühendisliğinde yeni gelişen bir kavram olup önce mevcut yapıların deprem güvenliğinin belirlenmesi için geliştirilmiştir. Ancak, daha sonra bu yöntemin yeni yapıların tasarımında da kullanılabileceği söz konusu olmuştur. Son yıllardaki önemli depremlerin yıkıcı etkileri, depreme dayanıklı yapı tasarımı ve mevcut yapıların deprem dayanımı ile ilgili geleneksel yaklaşımların gözden geçirilmesi gereğini ortaya koymuştur. Böylelikle daha güvenilir deprem yönetmeliklerinin gelişimine zemin hazırlanmıştır. SEAOC Vision 2000 tarafından 1995 yılında "Yapıların performans dayalı sismik mühendisliği" adlı bir rapor yayınlanmış, bu raporun adı sonraları "Performansa Dayalı Sismik Mühendislik" olarak, daha sonra da "Performansa Dayalı Deprem Mühendisliği" olarak değiştirilmiştir [52].

Yapı sistemlerini depremden kaynaklanan hasar durumlarına göre değerlendirme yapan performansa dayalı değerlendirme ve tasarım kavramı, öncelikle mevcut yapıların deprem güvenliklerinin daha da gerçekçi olarak belirlenmesi ve yeterli güvenlikte olmayan yapıların güçlendirilmeleri amacıyla geliştirilmiş olmakla birlikte yeni yapılar içinde uygulanmaktadır. Depremlerin yapılarda büyük hasarlara neden olması, yapıların analizinde yer değiştirme ve şekil değiştirmeleri esas alan yeni yöntemlerin geliştirilmesi çalışmalarına araştırmacıları yönlendirmiştir. Bu amaç doğrultusunda, Applied Technology Council (ATC) tarafından ATC- 40 ve Federal Emergency Management Agency (FEMA) tarafından FEMA-273, 274 ve 356 raporları yayınlanmıştır. Ülkemizde de bu tür çalışmalara paralel olarak, 6 Mart 2007 tarihinde yürürlüğe giren deprem yönetmeliğinin 7. Bölümü mevcut binaların değerlendirilmesi ve güçlendirilmesinde performansa dayalı doğrusal elastik ile doğrusal elastik olmayan hesap yöntemlerini içermektedir [29].

Performansa dayalı tasarımın özellikle binalarla sınırlı kalmayıp pratik uygulamalarda kullanılabilmesi için; öncelikle basit fakat güvenilir yaklaşımların, sayısal yöntemlerin ve standartların geliştirmesi gerekmektedir.

4.1. ATC-40

Performansa dayalı deprem mühendisliğinde bir binanın deprem performansı belirlenirken binada deprem sonrası nasıl bir hasar seviyesinin meydana geleceği ve bu

hasara göre nasıl bir performans seviyesinin belirlenmesi gerektiği ile bunların elde edilmesinde hangi depremin esas alınacağı belirlenmelidir [48].

4.1.1. ATC-40 için Performans Seviyeleri

Performans seviyelerini belirleyen durumlar; yapıda depremden sonra olması beklenen fiziksel hasarlar, bu hasarların oluşturduğu can güvenliği tehdidi ve yapının deprem sonrası hizmet verebilmesi olarak tanımlanır. Performans seviyeleri binaların yapısal ve yapısal olmayan elemanları için ayrı ayrı belirlenir.

4.1.1.1. Yapısal performans seviyeleri ve aralıkları

Taşıyıcı sistem elemanlarda deprem etkisinde meydana gelecek muhtemel hasara ve bu hasarla ilgili olarak binanın kullanımına bağlı olarak yapısal performans seviyeleri ve aralıkları Tablo 4.1’ de verilmiştir.

Tablo 4.1. Yapısal performans seviye ve aralıkları [48].

Performans seviyesi	Performans aralığı	Tanım
SP-1		Hemen kullanım performans seviyesi
	SP-2	Hasar kontrolü performans aralığı
SP-3		Can güvenliği performans seviyesi
	SP-4	Sınırlı güvenli performans aralığı
SP-5		Yapısal stabilite performans seviyesi
SP-6		Yapısal performansın göz önüne alınmadığı durum

Hemen kullanım performans seviyesi (SP-1), deprem sonrasında çok sınırlı yapısal hasarın meydana geldiği durumdur. Yapının taşıyıcı sistemleri deprem öncesi karakteristiklerini ve kapasitelerini korumaktadır. Yapısal hasardan dolayı yaralanma riski yok denecek kadar azdır. Yapının depremden önceki kullanım durumu, deprem sonrasında da devam etmektedir.

Hasar kontrolü performans aralığı (SP-2), deprem sonrasında yapıda meydana gelen hasarın, Hemen Kullanım Performans Seviyesi (SP-1) ile Can Güvenliği Performans Seviyesi (SP-3) arasında bulunduğu yapısal performans aralığıdır. Bu performans aralığı,

can güvenliğinin sağlanmasının yanında hasar miktarının da belirli ölçüde sınırlandırılmasına karşı gelmektedir. Yönetmeliklerde, yeni yapılar için 50 yıllık süre içinde asılma olasılığı %10 olarak tanımlanan (50 yıl/%10 olasılık) deprem etkisinde öngörülen performans seviyesi bu aralığa düşmektedir.

Can güvenliği performans seviyesi (SP-3), deprem sonrasında yapıda önemli ölçüde yapısal hasarın meydana geldiği fakat kısmen veya toptan göçmenin söz konusu olmadığı durumdur. Yapıda göçmeyi önleyecek bir ek kapasite mevcuttur. Önemli yapısal elemanların, yapı içerisinde veya dışında can güvenliğini tehdit edecek şekilde kırılması veya düşmesi söz konusu değildir. Deprem esnasında yaralanmalar olsa bile, yapısal hasardan kaynaklanan hayati tehlike oluşturabilecek yaralanma riski çok düşüktür.

Sınırlı güvenlik performans aralığı (SP-4), bu aralık SP-3 ile SP-5 performans seviyeleri arasında kalmaktadır. Bir binanın güçlendirilmesinde, can güvenliğinin tam olarak sağlanmaması durumunda göz önüne alınabilir.

Yapısal stabilite performans seviyesi (SP-5), bu performans seviyesinde yapı taşıyıcı sistemi güç tükenmesi durumuna gelmiştir, yani yapının taşıyıcı sistemi kısmi veya toptan göçmeye ulaşma sınırındadır. Yapıda önemli hasarlar oluşmuştur, yanal rijitlik ve yük taşıma kapasitesi de önemli ölçüde zayıflamıştır. Buna rağmen yapı taşıyıcı sistemi, sabit ve hareketli tüm düşey yükleri karşılayacak durumdadır. Yapı tüm stabilitesini kaybetmemesine rağmen, deprem sonrası oluşacak artçı şoklar yapının yıkılmasına sebep olabilir. Önemli bir güçlendirme müdahalesi bu tür binalarda genellikle güçlendirme teknik ve ekonomik olarak kabul edilebilir değildir.

4.1.1.2. Yapısal olmayan performans seviyeleri

Bu performans seviyeleri, yapının taşıyıcı olmayan elemanlarında deprem etkisiyle oluşacak hasar durumlarını açıklar. Ayrıca, doğrudan değerlendirme ve güçlendirme aşamalarındaki teknik kriterleri belirlemek için de kullanılır. Tablo 4.2' de bu performans seviyeleri görülmektedir.

Tablo 4.2. Yapısal olmayan performans seviyeleri [48].

Performans seviyesi	Tanım
NP-A	Kullanıma devam performans seviyesi
NP-B	Hemen kullanım performans seviyesi
NP-C	Can güvenliği performans seviyesi
NP-D	Azaltılmış hasar performans seviyesi
NP-E	Yapısal olmayan performansın göz önüne alınmadığı durum

Kullanıma devam performans seviyesi (NP-A), taşıyıcı olmayan eleman ve sistemlerin deprem sonrası yerlerini ve işlevlerini korudukları hasar durumu olarak tanımlanmaktadır. Küçük onarımlar gerekse de ekipmanlar çalışır durumdadır. Yapısal olmayan elemanların kullanımını engelleyen bir hasar söz konusu değildir.

Hemen kullanım performans seviyesi (NP-B), deprem sonrasında yapısal olmayan elemanlar genel olarak yerlerini korumakla beraber, yapısal olmayan elemanlar ve sistemlerde küçük hasarların olduğu hasar durumunu tanımlamaktadır. Bazı eleman ve ekipmanların onarılması ve/veya değiştirilmesi gerekebilir. Kullanım bakımından ortaya çıkabilecek kısıtlamalar kısa sürede giderilerek yapı kullanılmaya açıktır.

Can güvenliği performans seviyesi (NP-C), deprem sonrasında yapısal olmayan elemanlar ve sistemlerde dikkate değer bir hasarın olduğu hasar durumunu tanımlamaktadır. Bununla birlikte, yapının içinde veya dışında çeşitli yaralanmalara sebep olabilecek ağır elemanların göçmesi veya düşmesi söz konusu değildir. Yapısal olmayan sistemlerin, ekipmanların ve makinelerin onarılması veya yenilenmesi gerekli olabilir. Deprem esnasında yaralanmalar olmakla birlikte, yapısal olmayan hasardan dolayı can güvenliğini tehdit edecek yaralanmalar meydana gelmez.

Azaltılmış hasar performans seviyesi (NP-D), deprem sonrasında yapısal olmayan elemanlarda ve sistemlerde önemli hasarlar meydana gelir. Ancak, parapet, dış yığma duvar, cephe kaplaması veya ağır tavan gibi büyük parça düşmesi sonucu bir yaralanma söz konusu değildir.

4.1.1.3. Bina Performans Seviyeleri

Binanın deprem etkisi altında beklenen performansı; ortaya çıkacak hasar, ekonomik kayıp ve faaliyete ara vermenin sakıncasının toplamı olarak görülür. Buna bağlı olarak yapı performans seviyeleri, yapısal olan ve yapısal olmayan performans

seviyelerinin birlikte düşünülmesi ve binadaki hasarları sınırlandırmak amacıyla, bunların kombine edilmesi sonucunda oluşur. Tablo 4.3’ de bu seviyeler gösterilmiştir. Tabloda isimlendirilen seviyeler yaygın olarak kabul görenler olup numaralandırılan ancak isimlendirilmeyenler ise sık kullanılmayan performans seviyeleridir. Tabloda boş bırakılanlar ise kullanılması ön görülmeyen performans seviyeleridir. Bina performans düzeylerinden en yaygın olarak kullanılan dört performans düzeyi “1-A, 1-B, 3-C, 5-E” şeklinde olup, ATC-40 ve FEMA-356’da tanımlanmıştır.

Tablo 4.3. Yapısal ve yapısal olmayan performans seviyelerinin birleştirilmesinden elde edilen bina performans seviyeleri [48].

Yapısal olmayan performans seviyeleri	Yapısal performans seviyeleri					
	SP-1	SP-2	SP-3	SP-4	SP-5	SP-6
NP-A	1-A Kullanıma devam	2-A				
NP-B	1-B Hemen kullanım	2-B	3-B			
NP-C	1-C	2-C	3-C Can güvenliği	4-C	5-C	6-C
NP-D		2-D	3-D	4-D	5-D	6-D
NP-E			3-E	4-E	5-E Yapısal stabilite	

Kullanıma devam performans seviyesi (1-A), binanın yapısal olan ve yapısal olmayan elemanlarındaki hasar, kullanıma devamı etkilemeyecek seviyededir. Binanın yedek sistemlerinin devreye girmesi ile kullanıma devam edilir.

Hemen kullanım performans seviyesi (1-B), bu seviye önemli binalar için öngörülen seviye olup, binanın bütün hacimleri ve sistemleri kullanılabilecek durumdadır. Buralarda küçük onarımlara ihtiyaç duyulabilir.

Bina performans seviyesi (3-B), bu seviyede taşıyıcı elemanlardaki hasar binanın kullanımına engel olmamaktadır. Bu tür performans seviyesinin bütün bir bina için öngörülmesi yerine binanın kontrol merkezi ve bilgisayar merkezi gibi belirli hacimleri için kabul edilmesi uygun olabilir.

Can güvenliği performans seviyesi (3-C), taşıyıcı sistemde hasar mevcut olduğu halde, önemli bir kapasite kalmıştır ve taşıyıcı olmayan elemanlarda hasar kontrol altındadır. Bu hasardan dolayı can güvenliğinin tehlikeye girmesi çok düşük bir olasılıktır. Bu performans seviyesi, günümüzde yönetmeliklerin yeni binalar için öngörmüş olduğu performans seviyesinden biraz daha düşük bir seviyedir.

Bina performans seviyesi (3-D), taşıyıcı elemanlardaki NP-D ile SP-3 seviyelerinin birleşimidir. Yönetmeliklerde bulunan, 50 yıl/%10 olasılıklı deprem tanımını için verilen ve deprem kuvvetlerinin %75'ini alacak şekilde gerçekleştirilen güçlendirme müdahalesinin böyle bir performans seviyesini sağladığı kabul edilebilir.

Yapısal stabilite performans seviyesi (5-E), binanın düşey yük taşıyan sistemi ancak ayaktaadır. Artçı depremler için herhangi bir kapasite kalmamıştır. Kaplamadaki, taşıyıcı olmayan elemanlardaki ve hatta taşıyıcı elemanlardaki hasardan kaynaklanan can güvenliği tehlikesi mevcuttur. Taşıyıcı olmayan elemanların hasarı ve kat rölatif yer değiştirmeleri gibi hususlar kontrol edilmez.

4.1.2. Deprem Etki Seviyeleri

Performansa dayalı tasarımda, seçilen belirli bir bina performans seviyesinin hangi deprem etkisi altında elde edilmesi gerektiği belirlenmelidir. Deprem etki seviyesinin belirlenmesi, spektrum eğrisinin tanımlanması ile yapılır. Deprem 50 yıl içindeki aşılma olasılığı tanımından veya benzer büyüklükteki depremler arasındaki ortalama dönüş periyodu tanımından hareket edilir. Bu iki tanım arasındaki ilişki Tablo 4.4' de verilmiştir.

Tablo 4.4. Göz önüne alınacak deprem için parametreler [48].

Aşılma olasılığı	Esas alınan zaman aralığı	Ortalama dönüş periyodu
%50	50 yıl	72 yıl
%20	50 yıl	225 yıl
%10	50 yıl	474 yıl
%2	50 yıl	2475 yıl

Tablo 4.5' de görüldüğü gibi ATC-40'ta üç, FEMA' da ise iki farklı seviyede deprem hareketi tanımlanmıştır.

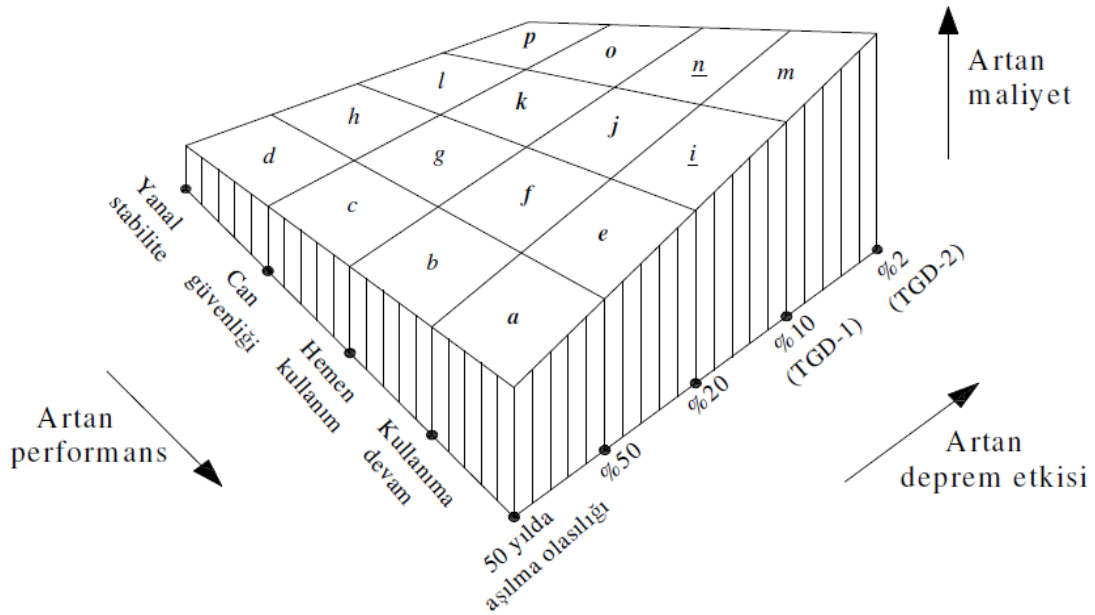
Tablo 4.5. ATC-40 ve FEMA deprem seviyeleri [48].

ATC-40	FEMA
Kullanım Depremi	Temel Güvenlik Depremi 1, TGD-1
Tasarım Depremi	Temel Güvenlik Depremi 2, TGD-2
Maksimum Deprem	

Kullanım depremi, 50 yıllık bir zaman diliminde meydana gelme olasılığı %50 olan yer hareketidir. Kullanım deprem seviyesi, tasarım deprem seviyesinin yaklaşık yarısıdır. Ortalama dönüş periyodu yaklaşık 75 yıl olan bu depremin yapının ömründe en az bir kere veya daha fazla ortaya çıkması muhtemeldir.

Tasarım depremi, 50 yıllık bir zaman diliminde meydana gelme olasılığı %10 olan depremlerdir. Ortalama dönüş periyodu yaklaşık 500 yıl olan bu depremin binanın ömrü boyunca ortaya çıkması çok düşük bir ihtimaldir.

Maksimum deprem ise, 50 yıllık bir zaman diliminde meydana gelme olasılığı %2 olan yer hareketidir. Ortalama dönüş periyodu yaklaşık 2500 yıl olacak şekilde, bölgedeki jeolojik bilgiler göz önüne alınarak belirlenebilecek en büyük deprem olarak kabul edilir. Bu depremin etkileri, tasarım depremi etkisinin yaklaşık 1,25~1,5 katı kadardır. Deprem yönetmeliklerinde, tasarım depreminin etkisinin, bina önem katsayısı ile artırılması suretiyle böyle bir deprem tanımlanmaya çalışılır.



Şekil 4.1. Bina performans seviyeleri [48].

Temel Güvenlik Depremi 1, 50 yılda asılma olasılığı %10 olan depremlerdir ve TGD-2'nin üçte ikisinden küçük olan depremdir. Temel güvenlik depremi 2 ise, 50 yılda asılma olasılığı %2 olan depremlerdir ve bölgede ya da fayda kaydedilmiş depremlerin ortalamasının 1,5 katından küçük olan depremlerdir. TGD-1 ve TGD-2 deprem seviyelerinden birinin seçiminde; güçlendirme işleminin maliyeti ve güvenliğin artırılması ile depremde hasarın azaltılması ve binada kullanımın devam etmesi sonucu elde edilebilecek tasarruf etkili olacaktır. Şekil 4.1' de performans seviyelerinin maliyetle ilişkileri gösterilmiştir.

Mevcut binaların güvenliklerinin incelenmesinden bu yaygın olarak TGD-1' de can güvenliği ve TGD-2' de toptan göçmenin önlenmesi kabul edilir. Güçlendirme işleminde bir bina için göz önüne alınacak amaç, deprem etki seviyesine ve bina performans seviyesine bağlı olarak Tablo 4.6' da verilmiştir.

Tablo 4.6. Performans amaçları sınıflandırması [48].

	Bina performans seviyesi			
Deprem etki seviyesi	Kullanıma devam performans seviyesi 1-A	Hemen kullanım performans seviyesi 1-B	Can güvenliği performans seviyesi 3-C	Toptan göçmenin önlendiği performans seviyesi 5-E
%50 / 50 yıl Kullanım depremi	a	b	c	d
%20 / 50 yıl	e	f	g	h
TGD-1 ~%10 / 50 yıl Tasarım depremi	i	j	k	l
TGD-2 ~%2 / 50 yıl Maksimum deprem	m	n	o	p

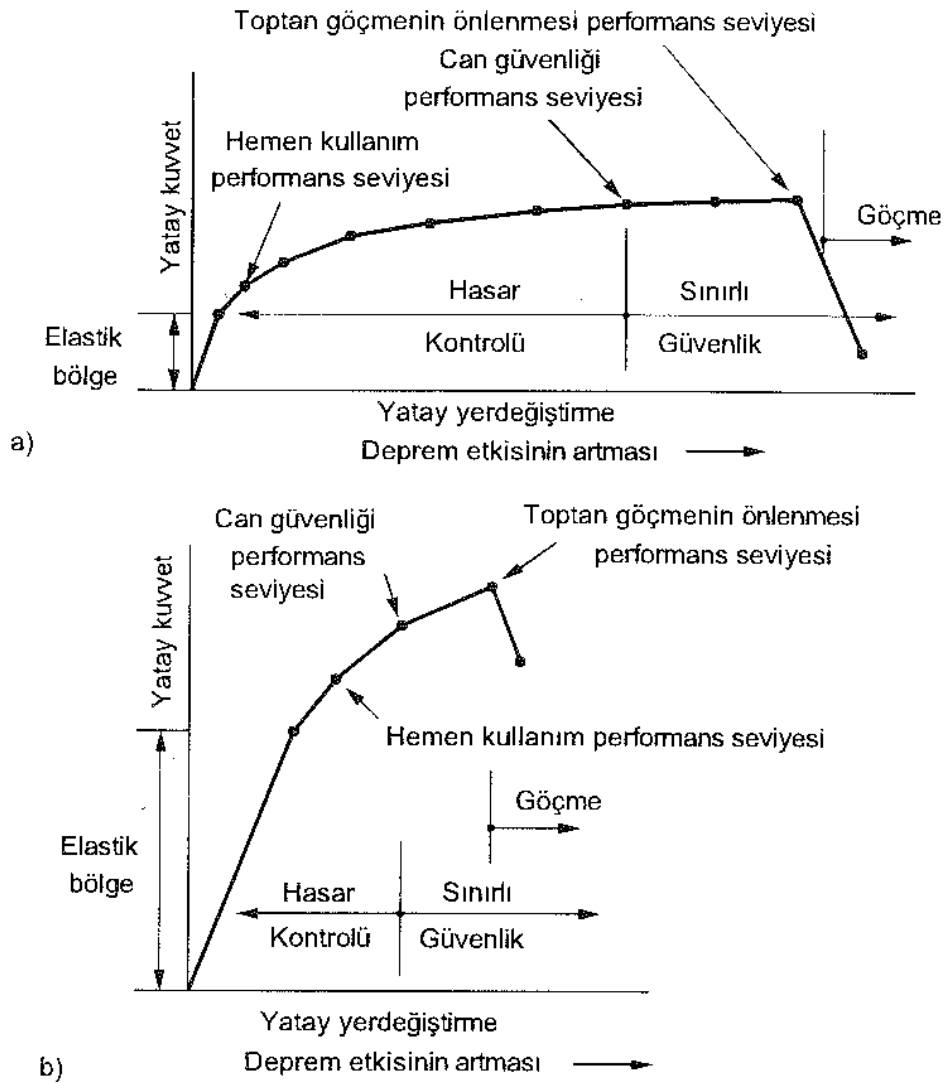
4.2. FEMA-356

FEMA-356, önce FEMA 273 ve FEMA 274 olarak binaların deprem güçlendirmesinde kullanılmak üzere geliştirilmiştir. Ancak, verilen performans kavramına dayalı kavramların yeni proje oluşturulmasında da kullanılması mümkündür. ATC-40'daki

kayıtların ilerisine gidilerek, FEMA-356 bütün binaları kapsamak üzere hazırlanmış olup, kabul kriterleri doğrusal olan ve olmayan çözümleme sonuçları için de verilmiştir [48].

4.2.1. FEMA-356 için Performans Seviyeleri

FEMA-356’ da bina için öngörülen performans seviyeleri ATC-40’daki ile benzerdir. Sadece, ATC-40’daki yapısal stabilite performans seviyesi FEMA-356’da toptan göçmenin önlenmesi performans seviyesi olarak isimlendirilir.



Şekil 4.2. a) Sünek olan ve b) Sünek olmayan bir yapıda performans seviyeleri ve yer değiştirme [48].

Şekil 4.2.a' da sünek bir yapıda artan taban kesme kuvvetine bağlı olarak meydana gelen yer değiştirme gösterilmiştir. Ayrıca, bu şekilde performans seviyeleri de görülmektedir. Hemen kullanım seviyesinde hasar sınırlı kalmış ve bina ilk rijitliğinin büyük bir kısmını veya muhtemelen hepsini korumaktadır. Toptan göçmenin önlenmesi seviyesinde, binada önemli hasar meydana gelmiştir. Bu seviyenin üstüne çıkıldığında bina karasız duruma gelecek ve göçecektir. Can güvenliği seviyesinde binada önemli hasarlar meydana gelmiş ve bina ilk rijitliğinin önemli bir kısmını kaybetmiştir. Bununla beraber, göçme ortaya çıkmadan oluşacak ek yanal yer değiştirme kapasitesi bulunmaktadır. Genel olarak can güvenliği seviyesini sağlayan binanın, toptan göçmeye erişmeden en az %33 daha büyük yanal yerdeğiştirme yapabileceği kabul edilebilir. Şekil 4.2.b' de sünek olmayan davranış durumunda taban kesme kuvveti ile yanal yer değiştirme eğrisini göstermektedir. Tanımlanan üç performans seviyesinin burada daha küçük aralıklarla oluştuğu görülmektedir.

Her bir performans, belirli bir deprem hasar seviyesi ve bina performans seviyesi öngörülerek tanımlanır. İşlem sırasında binanın her elemanı birincil (ana) ikincil (tali) eleman olarak sınıflandırılır. Ana elemanlar, taşıyıcı sistemin deprem etkisi altında göçmesini doğrudan engelleyen türdendir. Bu elemanlarda kısmi dayanım ve rijitlik kaybının meydana gelmesine müsaade edilir. Binadaki performans seviyeleri, taşıyıcı olan ve olmayan elemanların performans seviyesine bağlı olarak Tablo 4.3' de tanımlanmıştır.

4.2.2. Deprem Etki Seviyeleri

Deprem etki seviyesinin belirlenmesi spektrum eğrisinin tanımlanması ile yapılmaktadır. Deprem 50 yıl içindeki aşılma olasılığı tanımından veya benzer büyüklükteki depremler arasındaki ortalama dönüş periyodu tanımından hareket edilir. Bu iki tanım arasındaki ilişki Tablo 4.4' de verilmiştir. Yeni bir binanın projesinin oluşturulmasında göz önüne alınacak amaç deprem bina ve performans seviyesine bağlı olarak Tablo 4.6' da verilmiştir. Burada TGD-1 ve TGD-2 olarak iki deprem etkisi tanımlanmıştır. Bu amaçlardan birinin seçiminde; güçlendirme işleminin maliyeti ve güvenliğin artırılması ile depremde hasarın azaltılması ve binada kullanımın devam etmesi sonucu elde edilebilecek tasarruf etkili olacaktır. Mevcut binaların güvenliklerinin incelenmesinde bu amaçlardan yaygın olarak TGD-1' de can güvenliği ve TGD-2' de toptan göçmenin önlenmesi kabul edilir. Ancak, yeni bina projelendirmesinde çok daha

kapsamlı seçenekler söz konusu olabilir. FEMA tarafından hazırlanan haritalar TGD-1 ve TGD-2 depremlerinin spektrumunu oluşturmak için gerekli parametrelerin değerlerini içermektedir.

4.3. DBYBHY-2007’ ye göre Mevcut Binaların Deprem Performanslarının Belirlenmesi

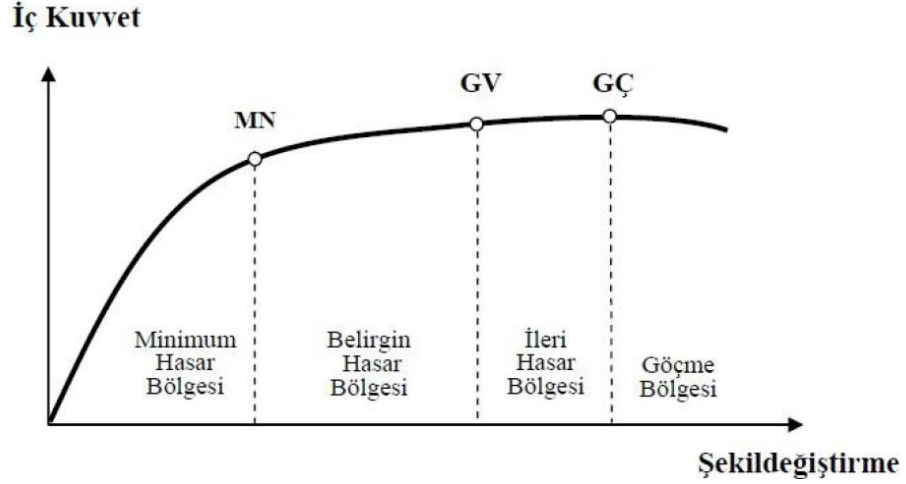
Yaşanan depremlerden edinilen tecrübeler ışığında mevcut yapıların deprem güvenliğinin belirlenmesi ve olası bir deprem öncesinde hazırlıklı olunması için çeşitli araştırmalar yapılmaktadır. Yapılan çalışmalara paralel olarak, mevcut binaların deprem güvenliğinin gerçekçi olarak belirlenebilmesi ve gerekmesi durumunda güçlendirme işlemlerinin uygun olarak yapılabilmesinin esaslarını düzenlemek amacıyla Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik 2007 (DBYBHY- 2007)’ de “Mevcut Binaların Değerlendirilmesi ve Güçlendirilmesi” başlığı altında bir bölüm (Bölüm 7) eklenmiş ve yeni şekliyle yürürlüğe girmiştir [11].

4.3.1. Kesit Hasar Sınırları

Sünek elemanlar için kesit düzeyinde üç sınır durum tanımlanmıştır. Bunlar Minimum Hasar Sınırı (MN), Güvenlik Sınırı (GV) ve Göçme Sınırı (GÇ)’dir. Minimum hasar sınırı ilgili kesitte elastik ötesi davranışın başlangıcını, güvenlik sınırı kesitin dayanımını güvenli olarak sağlayabileceği elastik ötesi davranışın sınırını, göçme sınırı ise kesitin göçme öncesi davranışının sınırını tanımlamaktadır. Gevrek olarak hasar gören elemanlarda bu sınıflandırma geçerli değildir.

4.3.2. Kesit Hasar Bölgeleri

Kritik kesitlerinin hasarı MN’ ye ulaşmayan elemanlar Minimum Hasar Bölgesi’nde, MN ile GV arasında kalan elemanlar Belirgin Hasar Bölgesi’nde, GV ve GÇ arasında kalan elemanlar İleri Hasar Bölgesi’nde, GÇ’ yi aşan elemanlar ise Göçme Bölgesi’nde yer alırlar (Şekil 4.3).



Şekil 4.3. Kesit hasar sınırları ve bölgeleri [11].

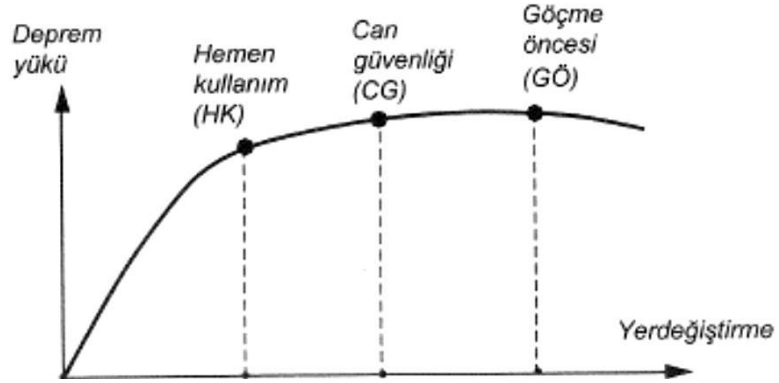
4.3.3. Taşıyıcı Eleman Deprem Hasar Sınırı ve Bölgeleri

Deprem etkisindeki taşıyıcı sistemin kolon ve kirişlerinin zorlanan kesitleri genelde iki ucunda yer alan kesitlerdir. Bu elemanlarda yer alan kesitler içerisinde en büyük hasar derecesine sahip kesitin hasar derecesi elemanın tümü için geçerli olmaktadır. Benzer şekilde perdelerin en çok zorlanan mesnet kesitlerinin hasar bölgesi, perdenin tümüne ait hasar bölgesi olarak kabul edilmektedir. Eleman hasar durumundan yararlanılarak kat hasar durumu elde edilmektedir. Eleman içerisinde dikkate alınan kesitlerinden birisi gevrek olursa elemanın tamamı gevrek olarak tanımlanmaktadır.

4.3.4. Taşıyıcı Sistemin Deprem Performans Düzeyleri

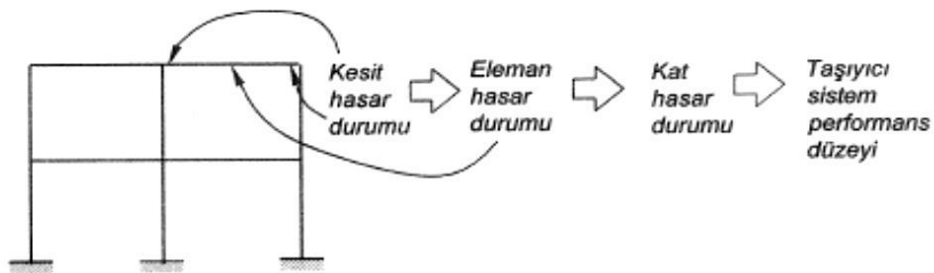
Deprem etkisindeki taşıyıcı sistemin davranışı, Şekil 4.4' de görüldüğü gibi en üst kat yer değiştirmesi ve toplam deprem taban kesme kuvveti arasında çizilecek eğri ile yorumlanmaktadır. Bu değişim Şekil 4.3' de görülen kesit davranışına benzer bir eğriden oluşmaktadır. Tüm bina için geçerli olan bu eğri Hemen Kullanım, Can Güvenliği ve Göçme Öncesi gibi sınırlar olarak tanımlanmıştır. Taşıyıcı sistemin genel davranışının tanımlandığı ve Şekil 4.4' de görülen eğrinin başlangıçta lineer elastik bir davranış sergilediği eğrinin devamında ise elastik-plastik bir davranış içerisine girdiği görülmektedir. Bu lineer elastik ve elastik-plastik davranışın sınırlı olduğu kısım için Hemen Kullanım Performans Düzeyi (HK) bölgesi olarak adı verilmiştir. Bu sınır ötesinde yer alan ve yatay yükler altında taşıyıcı sistemin sınırlı elastik ötesi şekil değiştirmelerini

güvenli olarak karşılayabilen sınır, Can Güvenliği Performans Düzeyi (CG) olarak tanımlanmaktadır. Büyük yer değiştirmelerin ortaya çıktığı ve etkiyen dış yükün azalmaya yüz tutması taşıyıcı sistemde güç tükenmesinin ortaya çıkmasına işaret etmektedir. Bu davranış sınırına ise Göçme Öncesi Performans Düzeyi (GÖ) adı verilmektedir.



Şekil 4.4. Taşıyıcı sistem (Bina) performans düzeyleri [52].

Can Güvenliği Performans Düzeyi (CG) taşıyıcı sistemin sınırlı elastik ötesi şekil değiştirmelerle yatay yük kapasitesinin güvenli olarak karşılanabileceği sınır olarak tanımlanır. Taşıyıcı sistem için bu sınırların matematiksel olarak tanımlanması kolay değildir. Kesit hasar sınırlarından eleman hasar sınırları elde edildiği gibi, eleman hasar sınırlarından taşıyıcı sistem performans düzeyi elde edilmektedir. Değerlendirmenin binanın her iki doğrultusu için ve her katta ayrı ayrı yapılması gerekmektedir.



Şekil 4.5. Hasar durumlarından bina performans düzeylerine geçiş [52].

4.3.4.1. Hemen Kullanım Performans Düzeyi

Herhangi bir katta, göz önüne alınan deprem doğrultusu için yapılan değerlendirmede kirişlerin en fazla %10'u Belirgin Hasar Bölgesi'nde olup diğer taşıyıcı elemanların tümünün Minimum Hasar Bölgesi'nde yer alması durumu için geçerli olmaktadır. Gevrek elemanlar var ise bu elemanların sünek duruma getirilmesi şartı ile bu durumdaki binanın Hemen Kullanım Performans Düzeyinde olduğu kabul edilir.

4.3.4.2. Can Güvenliği Performans Düzeyi

Eğer varsa, gevrek olarak hasar gören elemanların güçlendirilmeleri kaydı ile aşağıdaki koşulları sağlayan binaların Can Güvenliği Performans Düzeyinde olduğu kabul edilir,

a) Herhangi bir katta, göz önüne alınan deprem doğrultusu için, yapılan değerlendirmede ikincil (yatay yük taşıyıcı sisteminde yer almayan) kirişler hariç olmak üzere, kirişlerin en fazla % 30'u ve kolonların (b) de tanımlanan kadarının İleri Hasar Bölgesi'nde yer alması,

b) İleri Hasar Bölgesi'ndeki kolonların, her bir katta kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetine toplam katkısı % 20'nin altında kalmalıdır. En üst katta İleri Hasar Bölgesi'ndeki kolonların kesme kuvvetleri toplamının, ilgili kattaki tüm kolonların kesme kuvvetlerinin toplamına oranının en fazla % 40 olması,

c) Diğer taşıyıcı elemanların tümü Minimum Hasar Bölgesi veya Belirgin Hasar Bölgesi'ndedir. Ancak, herhangi bir katta alt ve üst kesitlerinin ikisinde birden Minimum Hasar Sınırı aşılmış olan kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetlerinin toplamının, ilgili kattaki tüm kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetine oranının % 30'u aşmaması (Doğrusal elastik yöntemle hesapta, alt ve üst birleşim bölgesinde her ikisinde birden yönetmelikte verilen güçlü kolon şartının sağlandığı kolonlar bu hesaba dahil edilmemektedir.) durumları dikkate alınmaktadır.

4.3.4.3. Göçme Öncesi Performans Düzeyi

Binaların Göçme Öncesi Performans Düzeyi'nde olduğunun kabul edilmesi için aşağıdaki şartları sağlamasının yanı sıra gevrek olarak hasar gören tüm elemanların Göçme Bölgesi'nde olduğunun kabul edilmesi gerekmektedir.

a) Herhangi bir katta, göz önüne alınan deprem doğrultusu için, yapılan değerlendirmede, ikincil (yatay yük taşıma sistemlerinde yer almayan) kirişler hariç olmak üzere, kirişlerin en fazla %20'si Göçme Bölgesi'ne geçebilir.

b) Diğer taşıyıcı elemanların tümü Minimum Hasar Bölgesi, Belirgin Hasar Bölgesi veya İleri Hasar Bölgesi'ndedir. Ancak, herhangi bir katta alt ve üst kesitlerinin ikisinde birden Minimum Hasar Sınırı aşılmış olan kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetlerinin, ilgili kattaki tüm kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetine oranının %30'u aşmaması gerekir. (Doğrusal elastik yöntemle hesapta, alt ve üst birleşim bölgesinde her ikisinde birden yönetmelikte verilen güçlü kolon şartının sağlandığı kolonlar bu hesaba dahil edilmez).

c) Binanın mevcut durumunda kullanımı can güvenliği bakımından sakıncalıdır.

4.3.4.4. Göçme Durumu

Bina Göçme Öncesi Performans Düzeyi'ni sağlayamıyorsa Göçme Durumu'ndadır. Binanın kullanımı can güvenliği bakımından sakıncalıdır.

4.3.5. Binalar için Performans Hedefleri

Tablo 4.4' de verilen deprem etkileri altında binalardan sağlanması gereken performans hedefleri Tablo 4.7' de verilmiştir. Bu tablo yeni tasarımı yapılacak binalar için söz konusu olan bina önem katsayısı tablosuna benzerdir. Yeni binalar için bina önem katsayısı ile karşılanması öngörülen deprem etkisi arttırılır. Mevcut binalarda ise, Tablo 4.7' de verildiği gibi, binanın kullanım amacı ve türü ile deprem etkisine bağlı olarak binanın sağlanması gereken performans hedefi öngörülmektedir.

4.3.6. Değerlendirme Yöntemleri

Deprem yönetmeliğinde mevcut betonarme binaların deprem güvenliğinin değerlendirmesinin performans kavramına dayalı yapılması öngörülmüştür. Performans kavramı, deprem mühendisliğinde yeni gelişen bir kavram olup, önce mevcut binaların deprem güvenliğinin belirlenmesi için geliştirilmiştir. Performans kavramına dayalı tasarım, klasik tasarımın genişletilmesi olarak kabul edilebilir. Deprem yönetmeliklerinin oluşumu incelenirse, daha öncede performans kavramının belirli ölçüde tanımlandığı görülebilir. DBYBHY- 2007’ de, genel anlamda binanın küçük depremleri hasarsız atlatması, büyük depremleri can güvenliğini sağlayan sınırlı hasarla atlatması ve çok büyük depremleri de toptan göçme olmadan atlatması gibi performans seviyeleri hedeflenmiştir.

Tablo 4.7. Binalar için hedeflenen deprem performans hedefleri [11].

Binanın kullanım amacı ve türü	Deprem 50 yılda aşılma olasılığı		
	%50	%10	%2
Deprem sonrası hemen kullanımı gereken binalar Hastaneler, sağlık tesisleri, itfaiye binaları, haberleşme ve enerji tesisleri, ulaşım istasyonları, vilayet, kaymakamlık, belediye binaları, afet yönetim merkezleri, vb.	-	HK	CG
İnsanların uzun süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar Okullar, yatakhaneler, yurtlar, pansiyonlar, askeri kışlalar, cezaevleri, müzeler, vb.	-	HK	CG
İnsanların kısa süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar Sinema, tiyatro, konser salonları, kültür merkezleri, spor tesisleri, vb.	HK	CG	-
Tehlikeli madde içeren binalar Toksik, parlayıcı ve patlayıcı özellikleri olan maddelerin bulunduğu ve depolandığı binalar, vb.	-	HK	GÖ
Diğer Binalar Yukarıdaki tanımlara girmeyen diğer binalar (konutlar, işyerleri, oteller) turistik tesisler, bina türü endüstri yapıları, vb.	-	CG	-

Yeni önerilen performansa dayalı değerlendirmede bu amaçlar daha belirgin şekilde tanımlanmıştır. Deprem yönetmeliğinde mevcut binaların performansa dayalı değerlendirmesinin, yakın bir gelecekte performansa dayalı tasarım olarak yeni binalara da genişletileceği beklenmektedir. Mevcut durumda önem katsayısı $I=1$ olan binaların

depreme dayanıklı tasarımının “Can Güvenliği” olarak tanımlanan performans seviyesi esas alınarak yapıldığı kabul edilmektedir. Deprem yönetmeliğinde tanımlanan sınır durumlar binalar için tanımlanmış performans seviyeleridir. Performansa dayalı değerlendirmede, binada değişik deprem etkilerinde değişik performans seviyesinin incelenmesi, Tablo 4.7’ de görüldüğü gibi yapılmaktadır. Değerlendirilecek veya güçlendirildikten sonra yeterliliğine karar verilecek binalar ile ilgili deprem performansı belirleme çalışmaları düşey yüklerin ve deprem etkilerinin birleşik etkisi altında incelenmektedir. Performans seviyesi, depremden sonra binada meydana gelecek hasar seviyesi ile ölçülmektedir. Binanın deprem performansı, taşıyıcı sistem elemanlarının (kiriş, kolon ve perde) deprem hasar seviyesinin bir bütünü olarak ifade edilmektedir. Kesitteki hasar durumunun belirlenmesi için, çözüm neticesinde elde edilecek iç kuvvetler veya şekil değiştirmelerin, yönetmelikte tanımlanan sınır değerlerle karşılaştırılması yapılmaktadır. Bir taşıyıcı sistem elemanının hasar durumu, bu elemanın depremde en çok zorlandığı kabul edilen ve doğrusal olmayan şekil değiştirmenin ortaya çıkması beklenen kesitlerin hasar durumları değerlendirilerek tanımlanmaktadır. Yönetmelikte farklı yöntemler tanımlanmış olup bu yöntemlerin kabul ve çözüm işlemleri birbirinden farklı olduğu için, matematiksel olarak aynı sonuçların elde edilmesi her zaman beklenmemelidir. Ancak, uygulama açısından ve istenmeyen sorunların çıkmaması açısından sonuçların birbirinden çok farklı olmaması uygun görülmektedir. Deprem yönetmeliğinde, taşıyıcı sistemin doğrusal olmayan davranışı için;

- a) yeni binalar ve mevcut binalar için öngörülen tasarım yöntemi,
- b) doğrusal olan değerlendirme yöntemi,
- c) doğrusal olmayan değerlendirme yöntemi

olmak üzere üç yöntem tanımlanmıştır. Hatta doğrusal olmayan yöntem içerisinde Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi olarak dördüncü bir yöntemde kabul edilmektedir.

Yönetmelikte taşıyıcı sistemin çatlamış kesit eğilme rijitlikleri,

Kirişlerde; $(EI)_e = 0.40(EI)_0$

Kolon ve perdelerde; $(EI)_e = 0.40(EI)_0$ eğer $N_{G+Q+E}/(A_c f_{cm}) \leq 0.10$

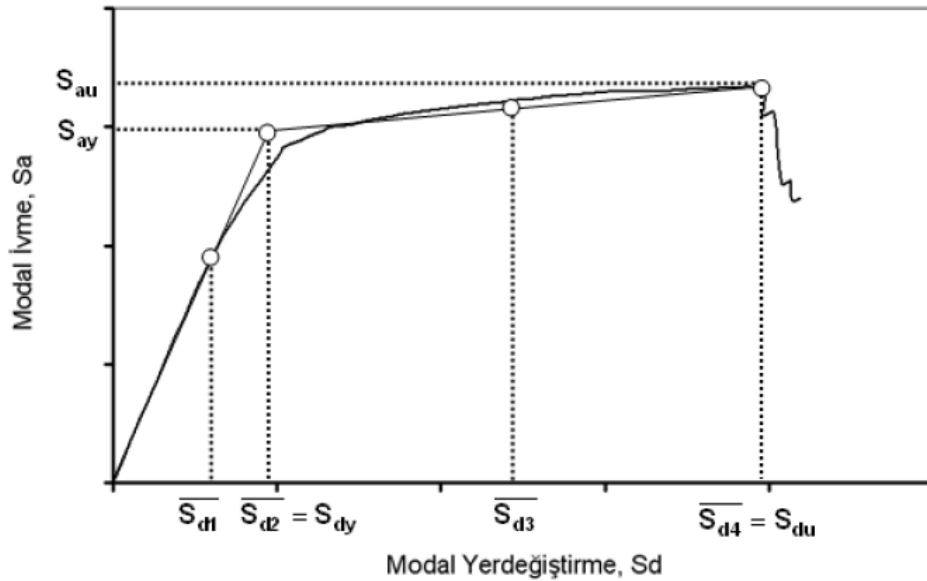
$(EI)_e = 0.80(EI)_0$ eğer $N_{G+Q+E}/(A_c f_{cm}) \geq 0.40$

olarak tanımlanmıştır. Burada E ve I sırasıyla elastisite modülü ve atalet momentini alt indis 0 ise çatlamamış kesit özelliğini belirtmektedir. Doğrusal elastik yöntemde taşıyıcı

sistemde hasarı sınırlı tutmak için görelî kat ötelemelerine sınırlama getirilmektedir. Doğrusal elastik olmayan yöntemde ise beton ve donatının birim uzamaları doğrudan sınırlandırıldığı için ayrıca görelî kat ötelemesi kontrolüne ihtiyaç duyulmamaktadır.

4.4. Sınır Hasar Seviyelerinin Belirlenmesi

Yapılan bu tez çalışmasında sınır hasar seviyelerinin belirlenmesi için FEMA-356'ya benzer bir yaklaşımla iki doğru parçası kullanılmıştır [42]. Mevcut modal kapasite eğrilerinin idealleştirilmiş modal kapasite eğrilerine dönüştürülmesi amacıyla Şekil 4.6' da görülen yöntem kullanılmış olup burada modal yer değiştirme (S_d) cinsinden dört hasar sınırı tanımlanmıştır. Bunlar sırasıyla; Hafif Hasar Sınırı (S_{d1}), Orta Hasar Sınırı (S_{d2}), İleri Hasar Sınırı (S_{d3}) ve Göçme (Çok Ağır Hasar) Sınırı (S_{d4})'dır. Bu dört hasar sınırına karşılık beş farklı hasar bölgesi tanımlanmaktadır. Bunlar; Hasarsızlık Bölgesi, Hafif Hasar Bölgesi, Orta Hasar Bölgesi, İleri Hasar Bölgesi ve Göçme (Çok Ağır Hasar) Bölgesi' dir [42].



Şekil 4.6. Sınır hasar seviyelerinin idealize edilmiş modal kapasite spektrumları üzerinde tanımlanması [42].

Burada S_{ay} ve S_{du} idealleştirilmiş modal kapasite eğrisi için sırasıyla akma ve göçme spektrum ivmelerini göstermektedir. Bu yöntemde öncelikle Hafif Hasar sınırı belirlenmekte olup bu sınır modal kapasite spektrumunun doğrusallıktan ayrıldığı noktadaki modal yer değiştirme değerine karşılık gelmektedir. Bu nokta yapı elemanlarında ortaya çıkacak ilk hasarın sınır yer değiştirme değerini ifade etmektedir.

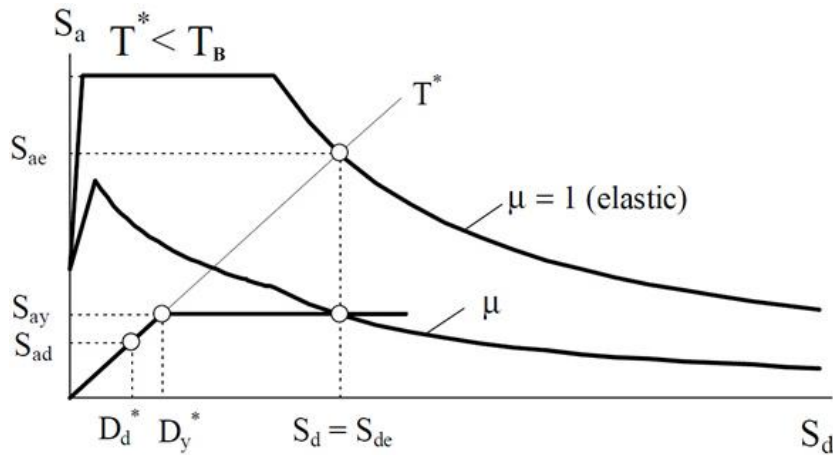
Yapının Göçme sınırı ise modal kapasite spektrumundaki nihai modal yer değiştirme değeri olarak dikkate alınmaktadır. Bu noktaya gelindiğinde bina aşırı yer değiştirme sonucu göçmekte veya göçmeye çok yakın bir duruma gelmektedir. Orta Hasar sınırının elde edilmesi amacıyla Sonraki adımda bu doğru devam ettirilmekte ve yapının Göçme sınırı belirlenerek bu doğrular kesiştirilmektedir. Böylece yapının Akma sınırın belirlenmesi amacıyla Hafif Hasar sınırından elde edilen doğru ile Göçme sınırından başlatılan doğru kesiştirilmektedir. Bu kesiştirilme işleminde idealize doğrularla Modal kapasite eğrilerinin çevrelediği alanların eşit olması durumu dikkate alınmaktadır. Orta hasar sınırı binanın akma taban kesme kuvveti kapasitesinin aşıldığı nokta olarak ta kabul edilmektedir. İleri Hasar sınırı ise Orta Hasar sınırı ile Göçme sınırı arasındaki doğrunun orta noktasına karşılık gelen yer değiştirme değeridir.

4.5. Elastik Olmayan Talep Spektrum Eğrisinin Elde Edilmesi

Şekil 4.7’ de görüldüğü gibi idealize edilmiş modal kapasite spektrumu ile talep spektrumunun kesişimi elastik sınırlar içerisinde gerçekleşmezse yapının elastik periyodunun (T^*) değerine göre talep spektrumu karakterize edilir. Yapının elastik periyodu,

$$T^* = 2\pi \sqrt{\frac{D_y^*}{S_{ay}}} \quad (4.1)$$

bağıntısı ile elde edilir. Burada, D_y^* spektral akma yer değiştirmesi ve S_{ay} ise akma spektrum ivmesidir [10].



Şekil 4.7. Elastik sınırlar içerisinde gerçekleşmeyen kesişim [10].

Talep spektrumunun karakterize edilmesi işlemi aşağıdaki denklemler yardımıyla yapılmaktadır.

$$\mu_s = \frac{S_{de}}{D_y^*} \quad (4.2)$$

$$T^* < T_B \quad R_{\mu_s} = (\mu_s - 1) \cdot \frac{T^*}{T_B} + 1 \quad (4.3)$$

$$T^* \geq T_B \quad R_{\mu_s} = \mu_s \quad (4.4)$$

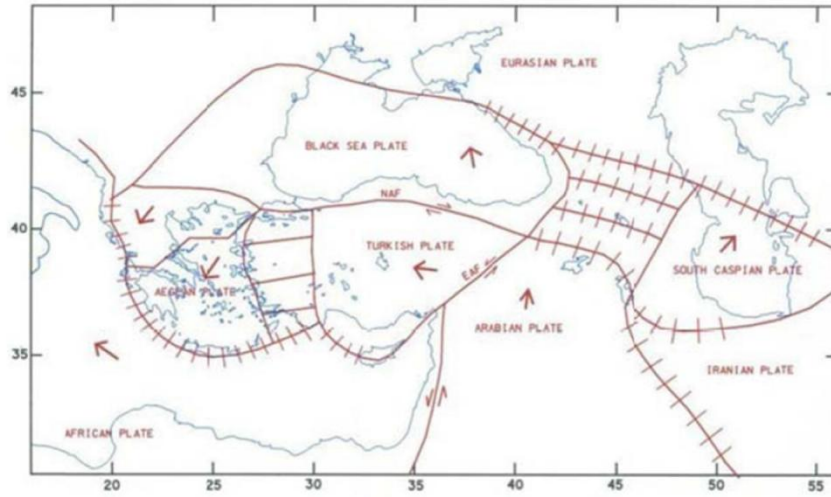
$$S_{ai} = \frac{S_{ae}}{R_{\mu_s}} \quad (4.5)$$

Burada, μ_s spektral düktilite, S_{ae} sistemin elastik periyoduna karşılık gelen spektral yer değiştirme, R_{μ_s} spektral azaltma faktörü, T_B talep spektrum eğrisinin karakteristik periyodu, S_{ai} elastik olmayan spektral ivme ve S_{ae} ise elastik spektral ivme değeridir. Bu durumda, kesişme noktası artık ideal elastik sınırlar içerisinde olacak ve elastik talep eğrisi yerine elastik olmayan talep eğrisi elde edilmiş olacaktır [10].

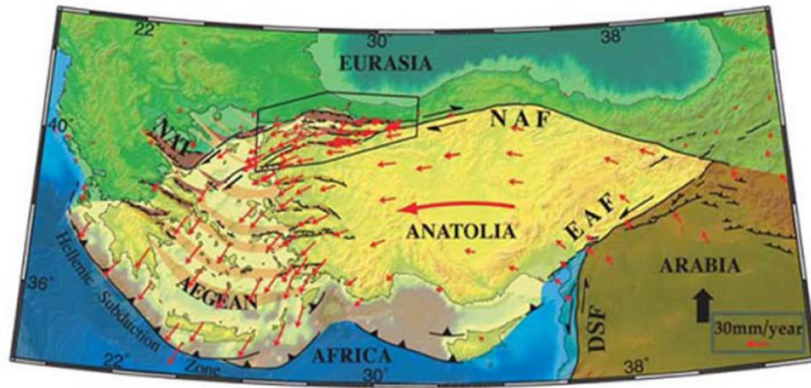
5. VAN BÖLGESİNİN TEKTONİK YAPISI VE VAN DEPREMİ HAKKINDA GENEL BİLGİLER

5.1. Bölgenin Genel Zemin ve Tektonik Yapısı

Van bölgesi, Arap plakasının kuzeyinin Avrasya plakasına doğru yaklaşması sonucu geniş bir alanı etkileyen kuzey-güney yönlü sıkışma ve daralma kuşağı içindedir. Bu sıkışma, genel olarak doğu-batı uzanımlı bindirme fayları ile kuzeybatı-güneydoğu sağ yönlü ve kuzeydoğu-güneybatı uzanımlı sol yönlü doğrultu atımlı fayların oluşmasına neden olmaktadır (Şekil 5.1 ve Şekil 5.2).

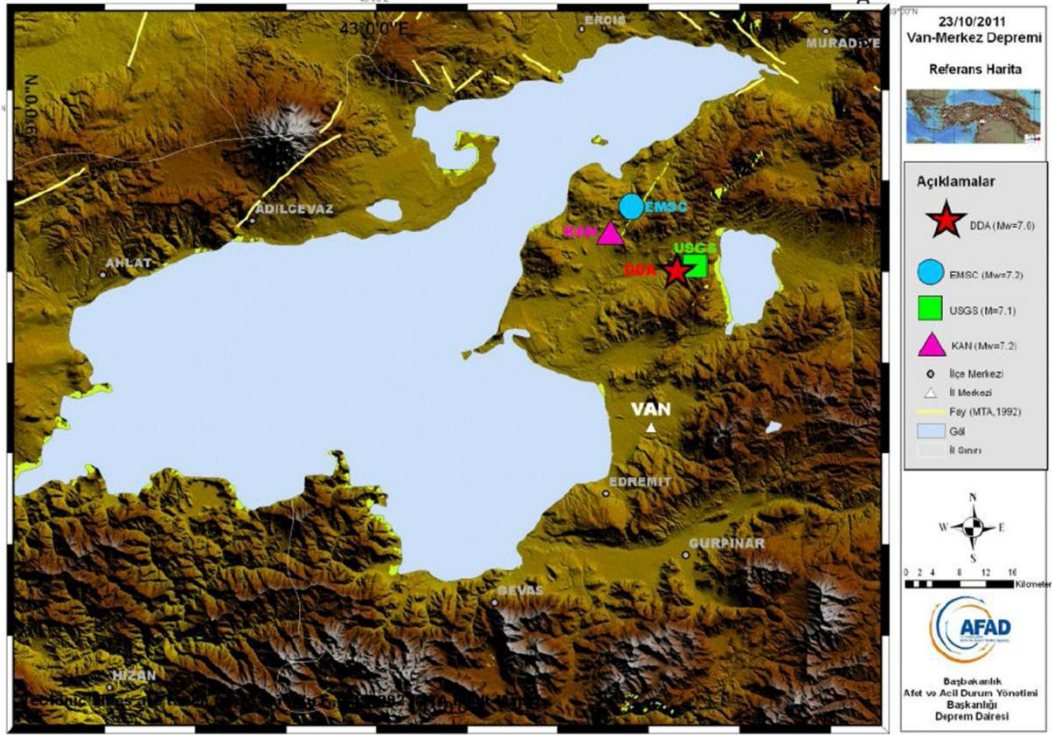


Şekil 5.1. Doğu Akdeniz ve Kafkas Bölgelerinin plaka tektonikleri [3].



Şekil 5.2. Avrasya ve Arap plakaları arasındaki göreceli hareket ve Anadolu ve Ege bloklarının batı yönlü hareketi [3].

(Tablo 5.1). Meydana gelen depremin merkez üssü Van il merkezinin kuzeyi olup kesin pozisyonu değişik kuruluşlara göre farklılık arz etmektedir (Şekil 5.4). Artçı şoklarla birlikte ayrıca 9 Kasım 2011 tarihinde $5.7M_w$ büyüklüğünde farklı bir faydan kaynaklanan ve merkez üssü Van il merkezinin hemen güneybatısında kalan Van-Edremit depremi de can ve mal kaybını artırmıştır [54].



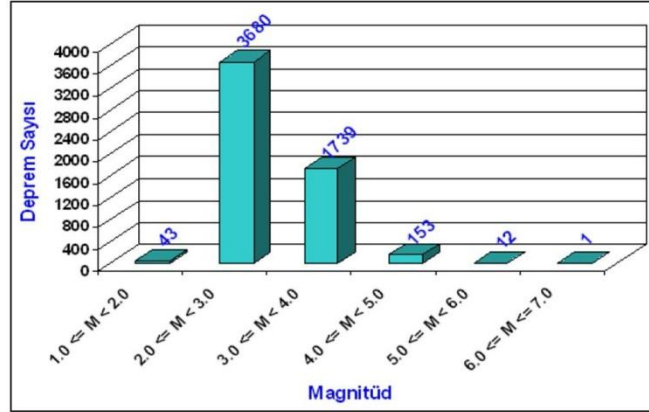
Şekil 5.4. 23 Ekim 2011 Van Depreminin çeşitli kuruluşlarca verilmiş merkez üssü koordinatları [53].

Tablo 5.1. 23 Ekim 2011 Van depremine ait çeşitli kuruluşlarca verilen parametreler

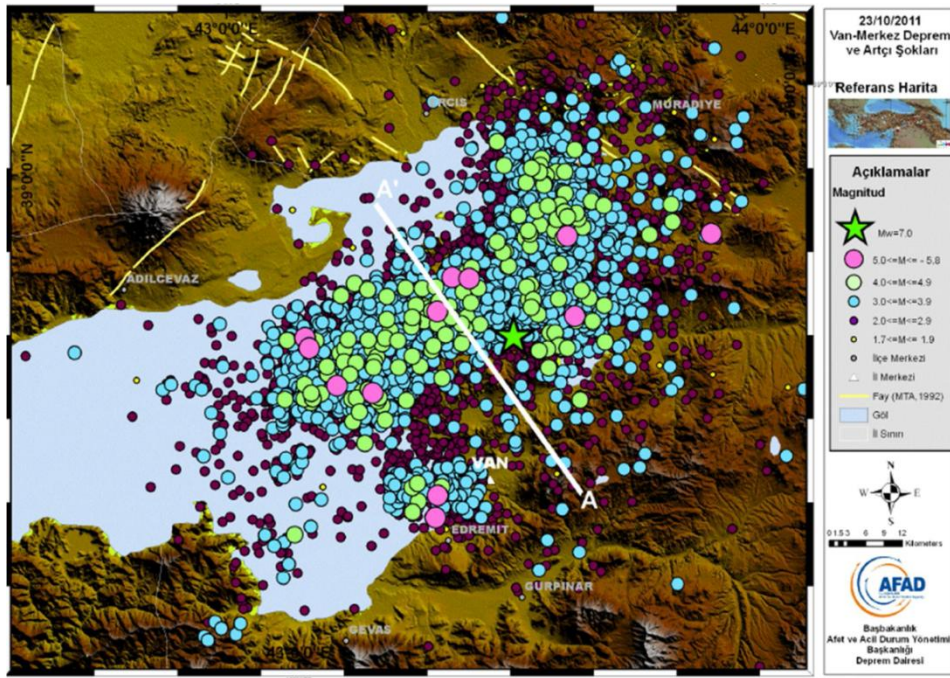
Kuruluş	KRDAE	TR-KYH	USGS	EMSC
Enlem	38.7578N	38.6890N	38.628N	38.86N
Boylam	43.3602E	43.4657E	43.486E	43.48E
Derinlik	5 km	19 km	20 km	10 km
Büyüklik	6.6 (M_L), 7.2 (M_w)	6.7 (M_L), 7.0 (M_w)	7.2 (M_w)	7.3 (M_w)
Yer	Tabanlı-VAN	VAN	Doğu Anadolu	Doğu Anadolu

23 Ekim 2011 Van Depremi KRDAE ölçümüne göre $7.2M_w$ moment magnitüd büyüklüğü bakımından ülkemizde 1999 Kocaeli ($7.6M_w$) ve Düzce ($7.1M_w$) depremleriyle beraber yer ivmesi kayıtları alınmış ilk 3 büyük deprem arasındadır. Van

Depremi yine moment magnitüd büyüklüğü olarak Türkiye’de son 110 yıl içinde meydana gelen ilk 10 deprem arasında yerini almıştır.



Şekil 5.5. 23 Ekim 2011-9 Aralık 2011 tarihleri arasında Van ve çevresinde meydana gelen depremlerin magnitüd-sayı grafiği [53].



Şekil 5.6. Artçı şok dağılımını gösteren harita [53].

Ülkemizde hiçbir depremde çok kısa bir zaman aralığında artçı deprem değerleri bu kadar büyük ve çok sayıda olmamıştır. Depremin birinci haftasında bölgede büyüklüğü 4.0-4.9 arasındaki deprem sayısı 114, magnitüdü 5.0’den büyük olan deprem sayısı ise 7 dir. İlk ay içinde, bölgede her gün ortalama olarak 180 adet artçı deprem meydana

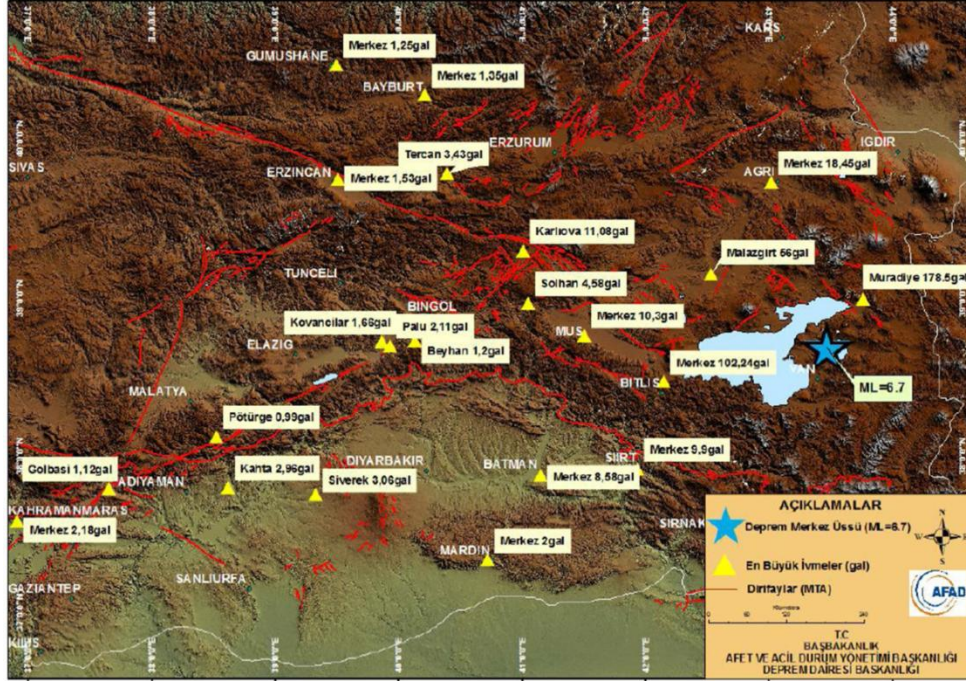
İlk depremin artçı deprem aktivitesi yoğun bir şekilde devam ederken 9 Kasım 2011 tarihinde yerel saatle 21.23' de Van şehir merkezinin yaklaşık 10 km güneyinde Edremit ilçesi sınırları içinde, Van gölünün hemen kıyısında yerel magnitüd değeri 5.6 ($M_w=5.7$) olan ikinci bir deprem daha meydana gelmiştir. Bu depremin özelliği; deprem aktivitesinin gözlemlendiği Van il merkezinin kuzeyindeki tektonik açıdan karmaşık bir yapıda olan bölgenin tersi istikametinde güneyinde yer alması, odak mekanizması çözümünün 23 Ekim 2011 tarihli depremden farklı olması ve il merkezinde kuvvetlice hissedilmesidir. Bu deprem bazı araştırmacılara göre 23 Ekim 2011 depreminin artçısı olarak değerlendirilmektedir [53]. Meydana gelen bu deprem, daha önce meydana gelen ana şoktan ve onun artçılarından farklı sismik özellikler göstermekte olup doğrultu atım karakterlidir. Bu depremin, 23 Ekim 2011 tarihinde meydana gelen $7.2M_w$ büyüklüğündeki Van Depremi ana şokuna neden olan bindirme fayının çok daha uzağında Edremit'in güneyindeki bir bindirme fayı ile ilişkili doğrultu atımlı bir faydan kaynaklandığı düşünülmektedir [54].

5.2.1. Kuvvetli Yer Hareketi Kayıtları

Van Depremi ana şok kayıtları Ulusal Kuvvetli Yer Hareketi Gözlem Ağı (TR-KYH) şebekesine ait 22 istasyonda kaydedilmiştir. Ana şok sırasında TR-KYH' nın Van istasyonunun çalışmaması nedeniyle varsayılan fay kaynağına yakın sayılabilecek ivme kayıtları elde edilememiştir. Şekil 5.9' da yer hareketi ivme değerlerinin ölçüldüğü istasyonları ve bu istasyonlar tarafından kaydedilen en yüksek yer ivmesi değerleri görülmektedir.

Tablo 5.2' de bu deprem sırasında kayıt alan istasyonlara ait bilgiler ve her bir istasyonun üç bileşenine ait en büyük ivme değerleri yer almaktadır. $M_L=6.7$ olan 23 Ekim 2011 Van depreminin merkez üssüne yaklaşık 42 km uzaklıkta bulunan Muradiye istasyonu tarafından ölçülen en büyük ivme değerleri; KG doğrultusunda 178.5cm/s^2 , DB doğrultusunda 169.5cm/s^2 ve düşey doğrultuda ise 79.5 cm/s^2 ' dir. Depremin ana şoku sırasında Van şehir merkezinde bulunan TR-KYH' nın istasyonunda kayıt alınamadığından merkez üssündeki pik ivme değerleri KRDAE ve AFAD' da ki araştırmacılar tarafından birbirlerinden bağımsız olarak tahmin edilmeye çalışılmıştır. AFAD' ın yaptığı çalışmada, 23 Ekim 2011 Van-Merkez ($M_w=7.0$) ve 9 Kasım 2011 Van-Edremit ($M_w=5.7$) depremleri göz önünde bulundurularak deprem bölgesi ve yakın

çevresinde ortaya çıkabilecek en büyük yer ivmesi ve sismik şiddet değerleri tahmin edilmiştir [3].

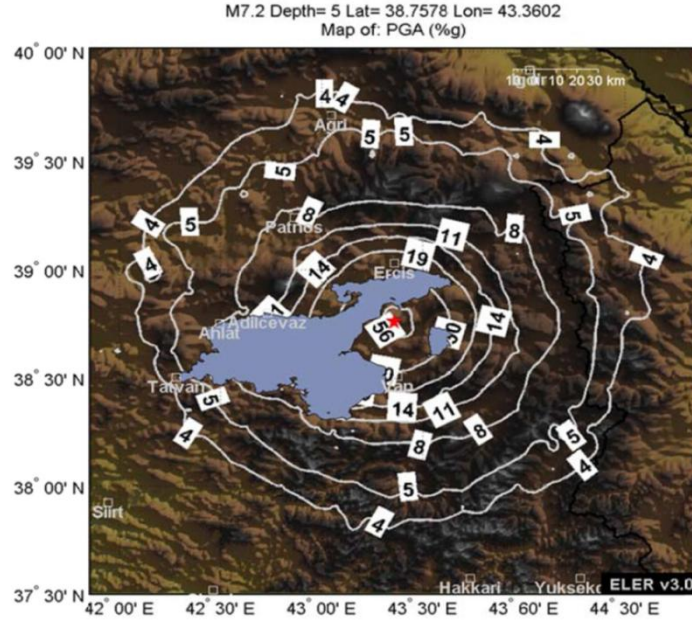


Şekil 5.9. 23 Ekim 2011 Van depremini kaydeden ivme değerlerinin ölçüldüğü istasyonlar ve maksimum ivme değerleri [53].

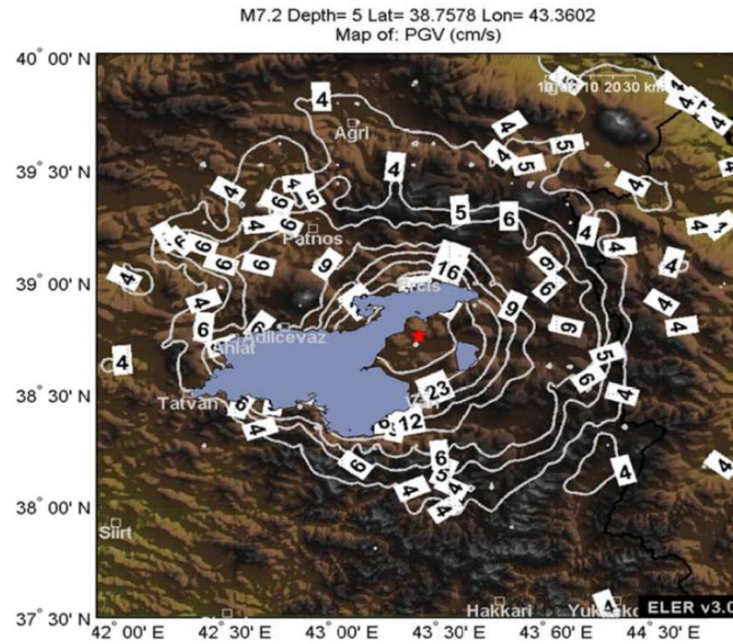
Tablo 5.2. 23 Ekim 2011 Van depreminde kayıt alan istasyonların özellikleri [53].

İstasyon				Ölçülen İvme Değerleri (gal)			İstasyonun Deprem Merkez Üssüne Uzaklığı	İstasyonun Kayma Dalgası Hızı
No	İl	İlçe/Semt	Cihaz Türü	KG	DB	Düşey		
1	Van	Muradiye	SMACH	178.50	169.50	79.50	42	293
2	Muş	Malazgirt	SMACH	44.50	56.00	25.50	95	311
3	Bitlis	Merkez	CMG-5TD	89.66	102.24	35.51	116	Alüvyon
4	Ağrı	Merkez	CMG-5TD	18.45	15.08	7.21	121	295
5	Siirt	Merkez	CMG-5TD	9.90	9.16	7.04	158	Alüvyon
6	Muş	Merkez	CMG-5TD	10.30	6.86	4.64	170	315
7	Bingöl	Solhan	CMG-5TD	4.58	4.19	2.46	211	463
8	Bingöl	Karlıova	CMG-5TD	7.52	11.08	4.65	222	Sert
9	Batman	Merkez	CMG-5TD	8.29	8.58	3.74	223	450
10	Mardin	Merkez	CMG-5TD	2.00	1.90	1.58	284	Sert

KRDAE' nün raporunda Van-Merkez depreminde tahmin edilen en büyük ivme değeri Merkez'e bağlı Kasımoğlu ve Yumru tepe köylerinde 351 cm/s^2 olarak hesaplanmıştır. Bu ivmelere göre tahmin edilmiş maksimum sismik şiddet değerleri Van-Merkez depremi için IX olarak tahmin edilmiştir (Şekil 5.10).



Şekil 5.10. Ana sarsıntıyla ilişkili pik yer ivmesi dağılımı [56].



Şekil 5.11. Ana sarsıntıyla ilişkili pik yer hızı dağılımı [56].

KRDAE' nün raporunda sunulan ana sarsıntı ile ilişkilendirilen tahmini PGA ve PGV dağılımları Şekil 5.10 ve Şekil 5.11' de gösterilmiştir. Şekiller depremin merkez üssünde pik ivmelerin 0.6g ile pik hızların ise 50 cm/s' den fazla olabileceğini göstermektedir. Bunu kanıtlayacak kayıtlar olmamakla birlikte, meydana gelen yapısal hasarlar ve hasar dağılımlarına bakılarak böyle bir yer hareketinin varlığı desteklenebilir [56].



Şekil 5.12. KRDAE' nün verilerine göre depremin merkez üssü, Aslan otel ve Van Muradiye kayıt istasyonunun konumu



Şekil 5.13. TR-KYH' nın verilerine göre depremin merkez üssü, Aslan otel ve Van Muradiye kayıt istasyonunun konumu.

23 Ekim 2011 Van depreminin ivme değerleri Van-Merkez istasyonundan elde edilemediği için Aslan Otel’ in bulunduğu konumda tahmini yer ivmesi değerlerinin elde edilmesi gerekmektedir. Bu amaçla daha önceden araştırmacıların önerdikleri ampirik formüller kullanılmıştır. 23 Ekim 2011 tarihinde meydana gelen Van depreminin Şekil 5.12 ve 5.13’ da görüldüğü gibi merkez üssü KRDAE ve TR-KYH’ e ait verilere göre farklılık göstermektedir. Depremin merkez üssünün Aslan otele uzaklığı KRDAE ve TR-KYH verilerine göre sırasıyla 28 ve 22 km’ dir. Aynı zamanda Depremin merkez üssünün Van Muradiye istasyonuna uzaklığı ise sırasıyla 42 ve 43 km’ dir. Bunlara ilaveten, KRDAE ve TR-KYH verilerine göre depremin derinliği ise sırasıyla 5 km ve 19 km’ dir. Her bir deprem mesafesi ve derinliği ayrı ayrı dikkate alınıp uzaklıklar hesaplanmış ve azalım ilişkisi formüllerinde kullanılmıştır. Bu uzaklıklar ve hesaplarda 23 Ekim 2011 Van depreminin en büyük ivmesinin elde edildiği KG bileşenin en büyük genlik değeri olan 178.5cm/s^2 değeri dikkate alınmıştır. Bu depremin KRDAE ve TR-KYH’ e ait verilere göre büyüklüğü sırasıyla 7.2 ve 7.0 M_w olarak verilmiştir. Bu deprem büyüklüğü değerleri ve depremin uzaklığı dikkate alınıp 23 Ekim 2011 Van depreminin KG bileşenin Van Muradiye istasyonunda ölçülen en büyük değerine ulaşmaya çalışılmıştır. Bu ampirik formüller ve elde edilen ivme değerleri Tablo 5.3-5.4’ de görülmektedir.

Tablo 5.3. KRDAE’ nün verilerine göre 23 Ekim 2011 Van depreminin ivme azalım ilişkileri

$M_w=7.2$	Estava (1970) $A=1230 e^{(0.8 M)} (R+25)^{-3}$	Donovan (1973) $A=1300 e^{(0.67 M)} (R+25)^{-1.6}$	McGuire (1974) $A=472.3 e^{(0.64 M)} (R+25)^{-1.301}$	Shah ve Ark. (1973) $A=5000 e^{(0.8 M)} (R+40)^{-2}$	Katayama $\text{Log}(A)=2.308+0.411 M-1.637 \text{Log}(R+30)$	Ortalama
L(Km)						
0.000	624.54	938.16	719.00	991.71	706.57	795.996
28.000	138.96	281.93	270.50	343.15	240.14	254.936
42.297	86.19	192.39	198.26	234.28	167.42	175.708

Tablo 5.3 ve 5.4’ de görülen ortalama ivme genlik değerleri 23 Ekim 2011 Van depreminin KG bileşeninin maksimum ivme genlik değerine KRDAE için % 1.5 ve TR-KYH için %3 civarında bir farkla yaklaşmıştır. Bu değerler dikkate alınıp Aslan otelde elde edilecek deprem ivmesi katsayısının belirlenmesi için; merkez üssünde elde edilen ivme değerleri için bir artım katsayısı, Aslan otel için ise bir azalım katsayısı hesaplanmıştır. Bu artım ve azalım katsayıları ortalama ivme genlik değerlerinin bir birlerine doğrusal orantılarıyla hesaplanmıştır. Söz konusu bu iki katsayının çarpımından depremin Aslan otelde oluşturacağı maksimum ivme genlik değeri katsayısı hesaplanmıştır. Bu deprem ivmesi genlik katsayısı KRDAE için 1.45091 ve TR-KYH için 1.51761 olarak hesaplanmıştır. Çözümlerde bu iki katsayı değerinin ortalaması olan 1.48426 dikkate alınmıştır. 9 Kasım 2011 tarihinde 5.7M_w Van-Edremit depreminin ivme kayıtları Van Merkez (Bayındırlık İl Müd.) istasyonundan elde edilmiştir. Aslan otel ile Bayındırlık ölçüm istasyonu arasındaki mesafe 0.73 km olduğu için ölçülen ivme kayıtlarının genlik değerlerinde herhangi bir artım veya azalım katsayısı uygulanmamıştır.

Tablo 5.4. TR-KYH’ nın verilerine göre 23 Ekim 2011 Van depreminin ivme azalım ilişkileri

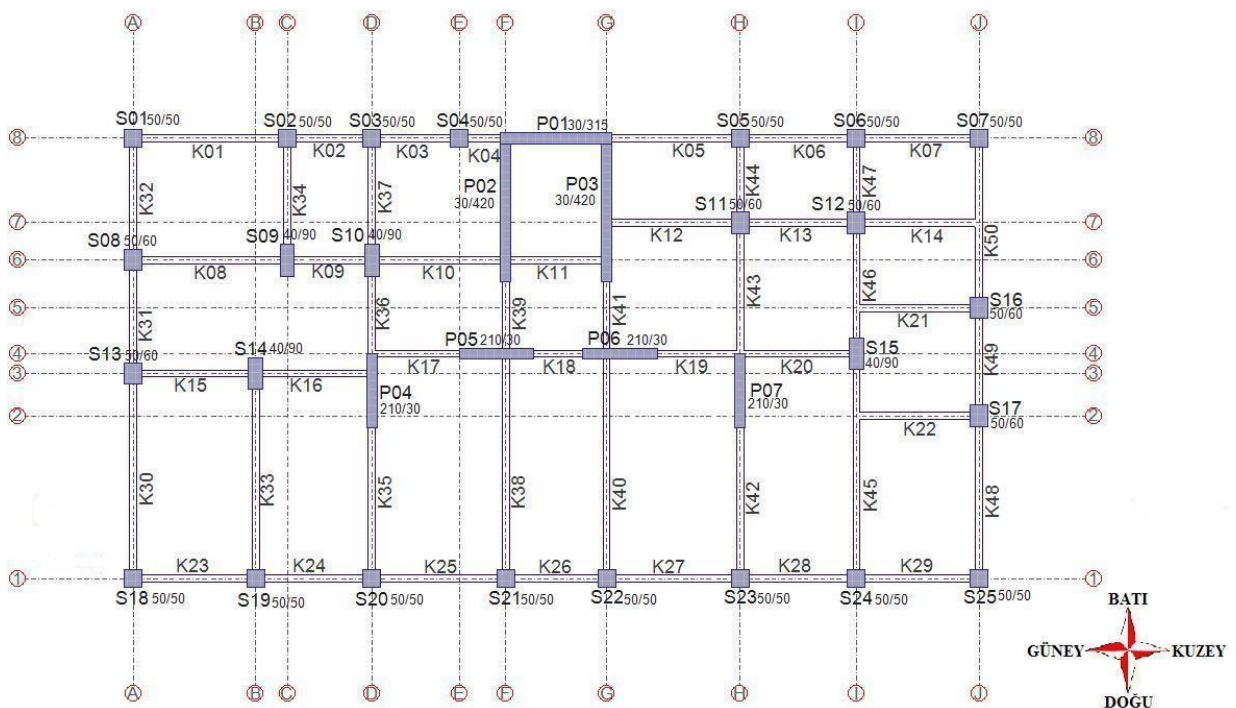
M_w=7.0	Donovan (1973) A=1300 e^(0.67 M) (R+25)^{-1.6}	Donovan (1973) A=1230 e^(0.58 M) (R+25)^{-1.32}	McGuire (1974) A=472.3 e^(0.64 M) (R+25)^{-1.301}	Shah ve Ark. (1973) A=5000 e^(0.8 M) (R+40)⁻²	Katayama Log (A)=2.308+0.411 M-1.637 Log (R+30)	Ortalama
L(Km)						
0.000	820.50	1018.26	632.61	845.08	584.73	780.236
29.082	238.73	367.71	231.82	283.33	192.81	262.88
47.019	150.96	251.95	159.71	178.56	124.92	173.22

6. SAYISAL UYGULAMA

Bu bölümde, 9 Kasım 2011 Van depreminde yıkılan Aslan otelin Statik İtme (Pushover) analizi ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan yöntemle sismik tepkileri elde edilmiştir. Statik itme analizi yardımıyla bu binanın; malzeme özellikleri, yerel zemin sınıfları ve sismik özellikleri belirlenmiştir. Zaman tanım alanında doğrusal olmayan yöntem kullanılarak 23 Ekim 2011 ve 9 Kasım 2011 Van depremleri ile bu iki deprem arasındaki artçı sarsıntılar dikkate alınmış ve Aslan otelin yıkılma mekanizmaları elde edilmiştir.

6.1. Binanın Tanımı ve Yıkılma Sebeplerinin Belirlenmesi

Aslan otel Van ili merkez ilçesi Bahçivan Mahallesi Sıhke Caddesi üzerinde yer almakta olup bodrum, zemin ve 4 kattan oluşmaktadır. Bu bina hem düşey hem de yatay taşıyıcıların bazıları haricinde simetrik olmayan bir inşa tazına sahiptir. Binanın taşıyıcı sistemi perde ve çerçevelerden oluşan karma bir yapıdan meydana gelmiştir. Binanın zemin kat kalıp planı Şekil 6.1’ de görülmektedir.



Şekil 6.1. Zemin kat kalıp planı

Binanın uzun doğrultusu (x yönü) 23.87 m olup Güney-Kuzey yönünde; kısa doğrultusu (y yönü) ise 12.41 m olup Doğu-Batı yönünde yer almaktadır. Toplam bina yüksekliği 18 m olup tüm katlarda kat yüksekliği eşit ve 3 m' dir. Ayrıca, döşeme kalınlığı 14 cm ve bodrum çepeçevre betonarme perdelerden oluşmaktadır. Bina taşıyıcı sisteminde toplam 25 adet kolon ve 7 adet perde eleman mevcut olup tüm kirişler 20×50 boyutundadır. Kolon ve perde elemanların boyut ve sayıları Tablo 6.1' de verilmiştir.

Tablo 6.1. Binada bulunan kolon ve perde elemanların boyut ve sayıları

Kolon Boyutları	Kolon Sayısı	Perde Boyutları	Perde Sayısı
50×50	15	30×210	4
50×60	6	30×315	1
40×90	4	30×420	2

Aslan otel, 23 Ekim 2011 günü Türkiye saati ile 13.41' de meydana gelen Van depreminden sonra az hasar veya orta hasar görmüştür. Bu depremde sonra 30 Ekim 2011' e kadar Richter ölçeğine göre 2.0M_w ve üzeri 1561 artçı sarsıntı yaşanmıştır [53]. Bu artçı sarsıntılardan sonra az hasarlı olan binalar orta hasarlı, orta hasarlı olan binalar ağır hasarlı binalar haline dönüşmüş ve yeni can kayıplarının ortaya çıkmasına neden olmuştur. 23 Ekim 2011 tarihindeki ana depremde sonra 9 Kasım 2011 günü Türkiye saati ile 21.23' de meydana gelen ve 5.6M_L büyüklüğündeki depremin [19,45] etkisi ile Aslan otel tamamıyla yıkılmıştır (Şekil 6.2 ve 6.3).



Şekil 6.2. Aslan otelin kuzey tarafından yıkılma durumu-1



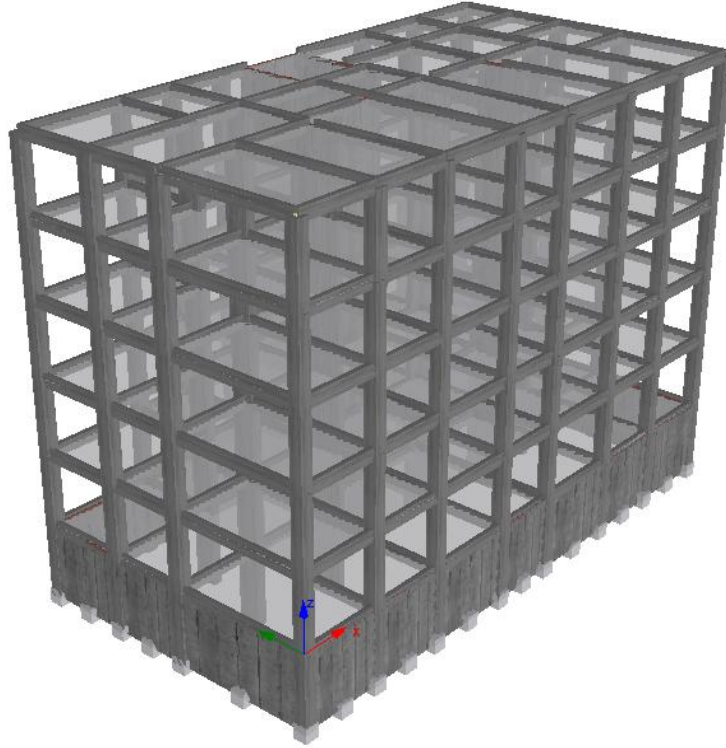
Şekil 6.3. Aslan otelin kuzey tarafından yıkılma durumu-2

Şekil 6.2 ve 6.3’de verilen Aslan otelin kısmen yıkılmış çerçevesinin J-J aksı olduğu belirlenmiştir (Şekil 6.1). Bu akstan A-A aksına kadar olan taşıyıcı sistemin bir bölümü tamamıyla bir bölümü ise kısmen göçük durumdadır (Şekil 6.2-6.3).

6.2. Aslan Otelin Statik İtme (Pushover) Analizi

Aslan Otel’ in projesinde malzeme sınıfları, beton için C16 ve çelik için S220 olarak verilmiş olup [4] binanın inşası sırasında işçilik, malzeme ve kontrol gibi etkilerden dolayı projede belirtilen beton malzeme sınıfı sağlanamaya bilmektedir. Bu nedenle, binanın göçme durumu, 23 Ekim 2011 tarihindeki ana deprem ve Statik itme analiz sonuçları karşılaştırılıp binanın malzeme özellikleri elde edilmek istenmiştir. Bu amaçla Aslan otelin betonarme malzemesinde donatı için S220 ve beton için C6, C8, C10, C12, C14, C16, C18 ve C20 sınıfları kullanılmıştır. Çözümlerde binanın kat döşemeleri rijit diyafram olarak kabul edilmiştir. Döşeme yükleri program yardımıyla düğüm noktaları tekil yüklerine dönüştürülmekte olup bodrum katın alt ucundaki kolon ve perdeler ankastre mesnetlerle sınırlandırılmıştır. Aynı zamanda Bölüm 3’ de ayrıntılı olarak verilen farklı zemin sınıflarına ait Talep Spektrum eğrisi; 23 Ekim 2011 depremine ait Talep Spektrumu ve Statik itme analizinden elde edilen Modal Kapasite Spektrum Eğrileri ile karşılaştırılmıştır. Böylece yapının bulunduğu zeminin sınıfının belirlenmesi amaçlanmıştır. Çözümler için Fibre eleman yöntemine dayalı SeismoStruct bilgisayar analiz programı kullanılmış olup sonlu eleman modeli Şekil 6.4’ de verilmiştir. Statik itme

analizleri yardımıyla x ve y yönleri için yapının taban kesme kuvvetine karşılık tepe yer değiştirmesi arasındaki doğrusal olmayan grafikler elde edilmiş ve söz konusu bu eğriler yapının 1. modu dikkate alınarak Modal Kapasite Spektrum Eğrileri' ne dönüştürülmüştür.



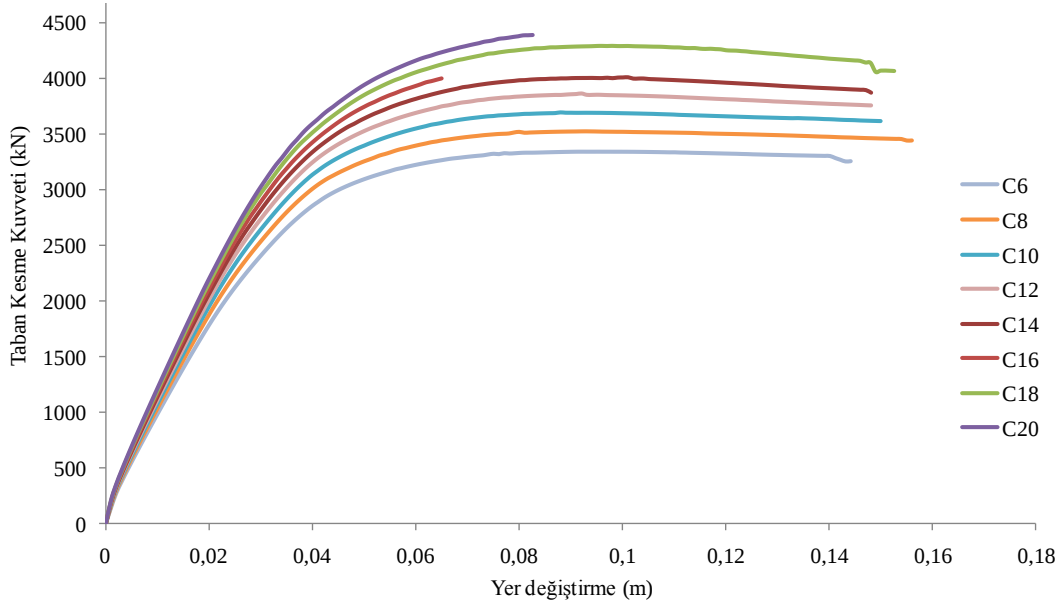
Şekil 6.4. Aslan otelin 3 boyutlu sonlu eleman modeli

Tablo 6.2. Farklı malzeme sınıfları için Etkin Kütle ve Modal Katkı Çarpanları

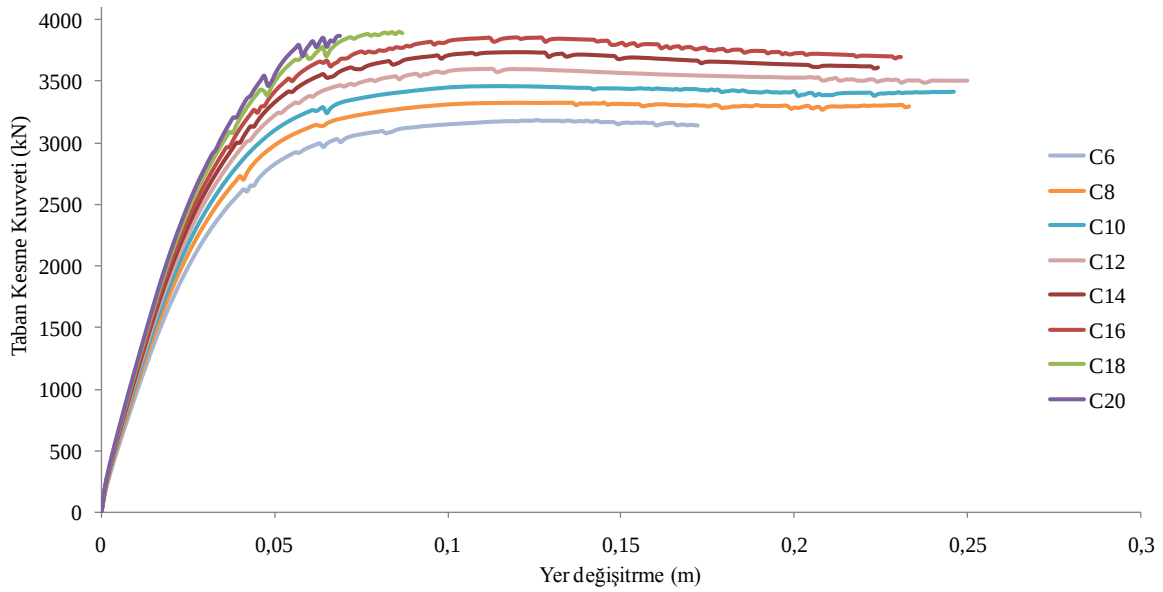
Malzeme Sınıfı	Modal Kütle Oranları	Modal Katkı Çarpanı (Γ_1)	Etkin Kütle (M_1^*)
C6	0.3697	1.9278	344.2558
C8	0.3670	1.9304	341.7222
C10	0.3646	1.9326	339.5375
C12	0,3625	1,9345	337,6043
C14	0.3607	1.9362	335.8630
C16	0.3590	1.9377	334.2744
C18	0.3574	1.9391	332.8108
C20	0.3559	1.9404	331.4518

Aslan otelin x ve y yönlerinde Modal Kapasite Spektrum Eğrilerinin elde edilmesi için yapının modal analizi yapılmıştır. Yapının her bir beton malzeme sınıfı için 1. moduna ait Modal kütle oranları, Modal Katkı Çarpanları (Denklem 3.5) ve Etkin Kütle değerleri

(Denklem 3.3) elde edilmiş olup Tablo 6.2’ de verilmiştir. Modal analiz çözümlerinde SeismoStruct [36] yapı analiz programı kullanılmış olup Tablo 6.2’ de verilen Etkin kütle değerleri bu program yardımıyla elde edilmiştir. Farklı malzeme durumlarında Aslan otelin x ve y yönlerine ait taban kesme kuvveti ve yer değiştirme eğrileri Şekil 6.5 ve 6.6’ da görülmektedir.



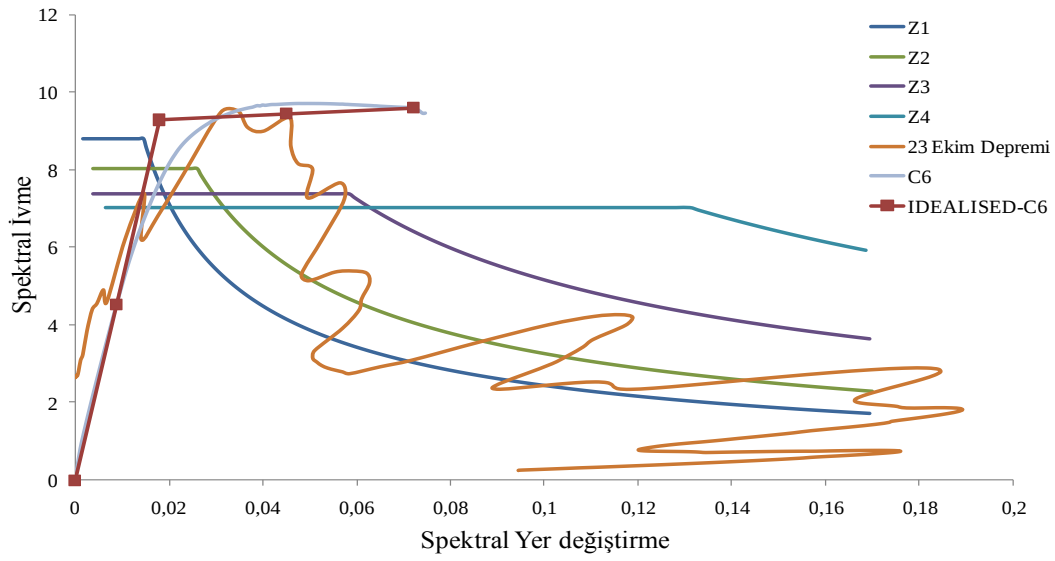
Şekil 6.5. Farklı malzeme sınıfları için x yönüne ait taban kesme kuvveti ve yer değiştirme eğrileri



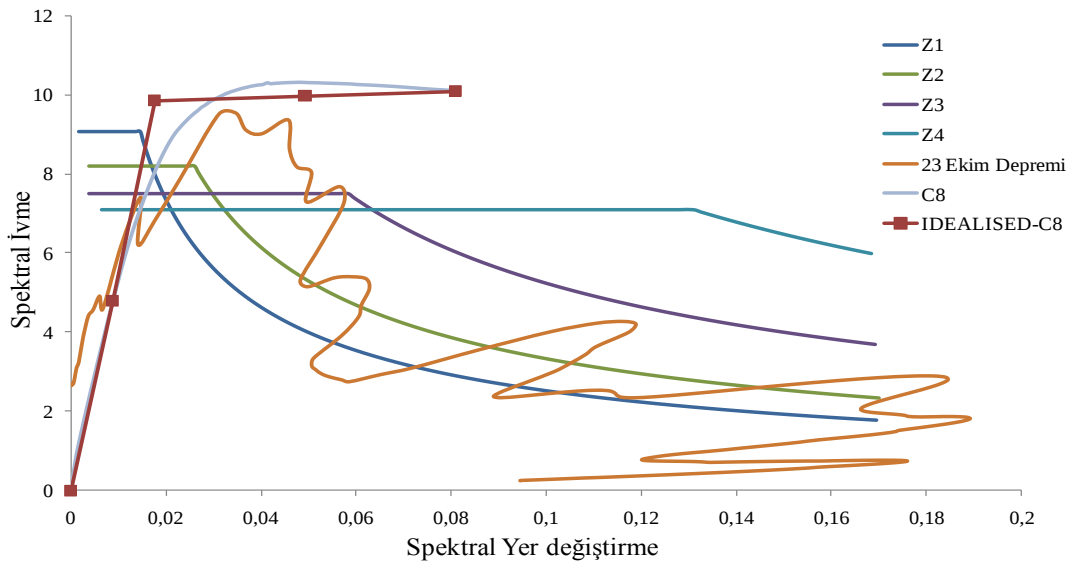
Şekil 6.6. Farklı malzeme sınıfları için y yönüne ait taban kesme kuvveti ve yer değiştirme eğrileri

Şekil 6.5’ de görülen eğriler dikkate alındığında, tüm malzeme sınıfları için elde edilen taban kesme kuvvetleri 3345-4391 aralığında değişen değerlere sahip olmaktadır. Aynı zamanda, eğrilerin doğrusallıktan ayrıldığı kısımlar yaklaşık 2 cm olup kopma anındaki en büyük yer değiştirme değerleri ise C16 için yaklaşık 7 cm, C20 için 9 cm ve diğer malzeme sınıflarında ise 15 cm civarında elde edilmiştir. Aynı zamanda, Aslan otelin y yönünde statik itme analizinden elde edilen Taban kesme kuvveti-yer değiştirme eğrileri dikkate alındığında (Şekil 6.6), tüm malzeme sınıfları için elde edilen taban kesme kuvvetleri 3188-3869 aralığında değişen değerlere sahip olmaktadır. Bunun yanı sıra, eğrilerin doğrusallıktan ayrıldığı kısımlar yer değiştirme değerleri için yaklaşık 2 cm civarında olup kopma anındaki en büyük yer değiştirme değerleri ise C20 için yaklaşık 7 cm, C18 için 9 cm, C6 için 17 cm ve diğer malzeme sınıflarında ise 23 cm civarında elde edilmiştir. Böylece Aslan otelin x yönü için elde edilen taban kesme kuvvetinin y yönüne göre daha büyük olduğu; y yönündeki düktilitesinin ise x yönüne göre daha büyük olduğu belirlenmiştir.

Bu tez çalışmasında, Aslan otelin C6, C8, C10, C12, C14, C16, C18 ve C20 beton malzemesi ve S220 çeliği dikkate alınarak oluşturulan Modal Kapasite ve idealize edilmiş eğriler sırasıyla Bölüm 3.2.1 ve Bölüm 4.4’ de belirtilen yöntemler kullanılarak x yönü için Şekil 6.7-6.14’ de y yönü için Şekil 6.15-6.22’ de görülmektedir. Aynı şekillerde DBYBHY-2007’ de belirtilen ivme spektrum eğrileri, Talep Spektrum Eğrileri olarak dört farklı zemin durumu için verilmiş olup Bölüm 4.5’ de açıklanan elastik olmayan talep spektrum eğrileri için verilen yöntem kullanılarak elde edilmiştir. Ayrıca bu Talep Spektrum Eğrilerine ilave olarak 23 Ekim 2011 günü Türkiye saati ile 13.41’ de meydana gelen Van depreminin spektrum eğrisi Gerçek Talep Spektrum Eğrisi olarak dikkate alınmıştır. Bu depremin ivme genlikleri Bölüm 5.2.1’ de belirtilen yöntem kullanılarak arttırılmış ve bu değerler kullanılarak depremin talep spektrum eğrisi elde edilmiştir.

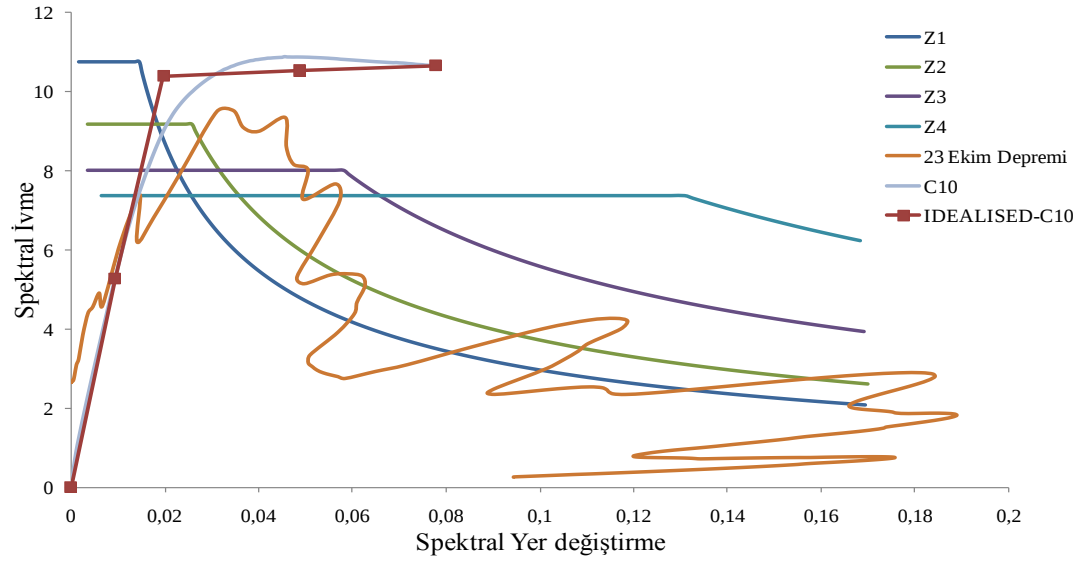


Şekil 6.7. 23 Ekim 2011 Van depreminin ve Z1-Z4 zeminlerinin elastik olmayan talep spektrum eğrileri ile Aslan otelin x doğrultusu için C6 beton sınıfında Modal kapasite eğrisi ve idealize edilmiş Modal kapasite eğrilerinin karşılaştırılması.

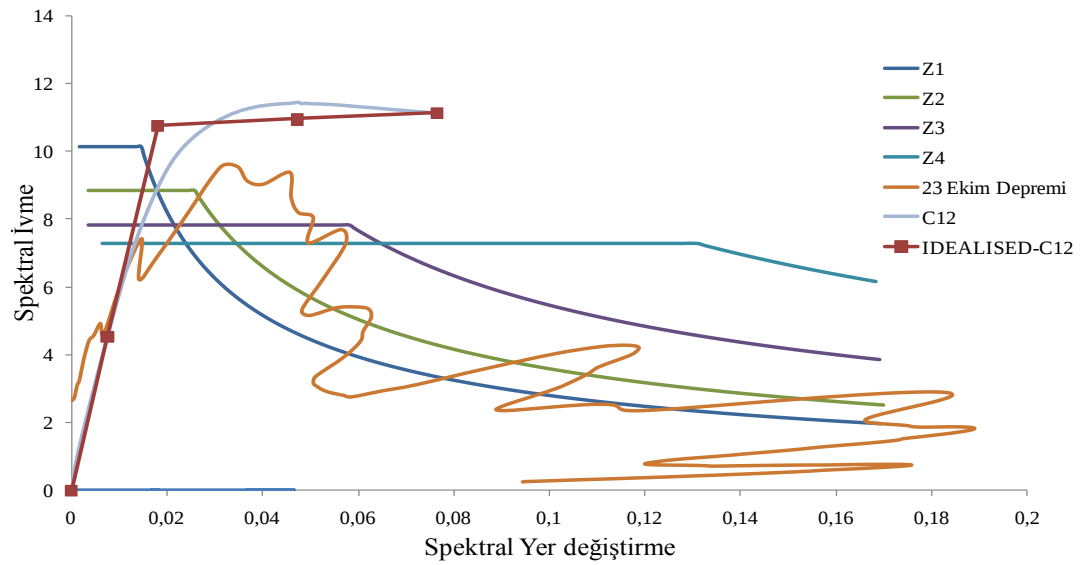


Şekil 6.8. 23 Ekim 2011 Van depreminin ve Z1-Z4 zeminlerinin elastik olmayan talep spektrum eğrileri ile Aslan otelin x doğrultusu için C8 beton sınıfında Modal kapasite eğrisi ve idealize edilmiş Modal kapasite eğrilerinin karşılaştırılması

Şekil 6.7 ve Şekil 6.8 eğrileri incelendiğinde 23 Ekim 2011 Van depreminin Talep eğrisi ile Aslan otelin İdealleştirilmiş Modal kapasite eğrisi C6 beton sınıfı için Z3 zeminin elastik olmayan Talep spektrum eğrisi ile çakıştığı görülmektedir. Aynı zamanda C8 beton sınıfı için bu çakışma Z3 ve Z4 arası bir zemin için Talep spektrum eğrisi ile çakıştığı görülmektedir.

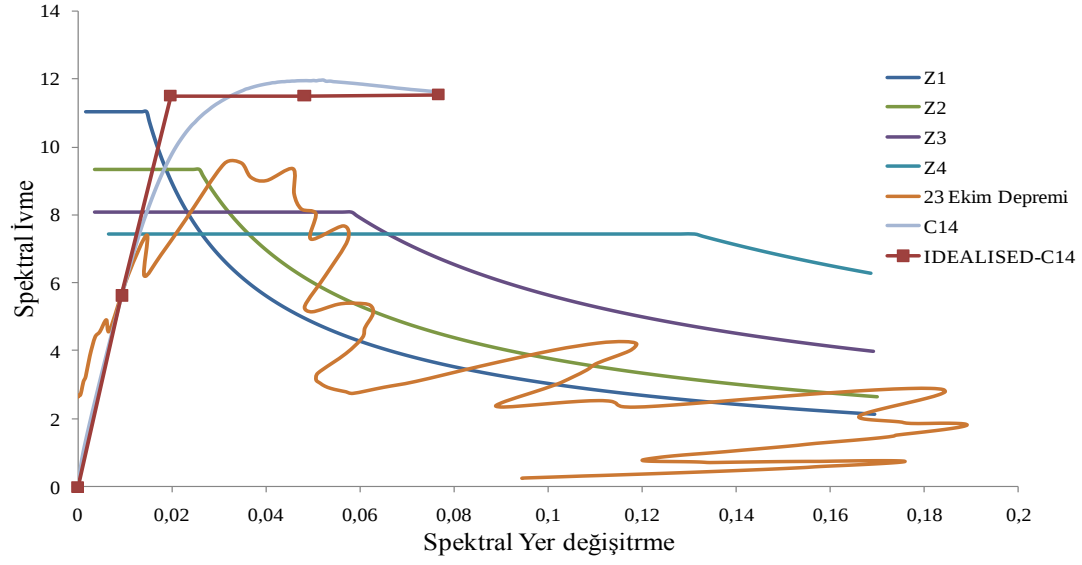


Şekil 6.9. 23 Ekim 2011 Van depreminin ve Z1-Z4 zeminlerinin elastik olmayan talep spektrum eğrileri ile Aslan otelin x doğrultusu için C10 beton sınıfında Modal kapasite eğrisi ve idealize edilmiş Modal kapasite eğrilerinin karşılaştırılması.

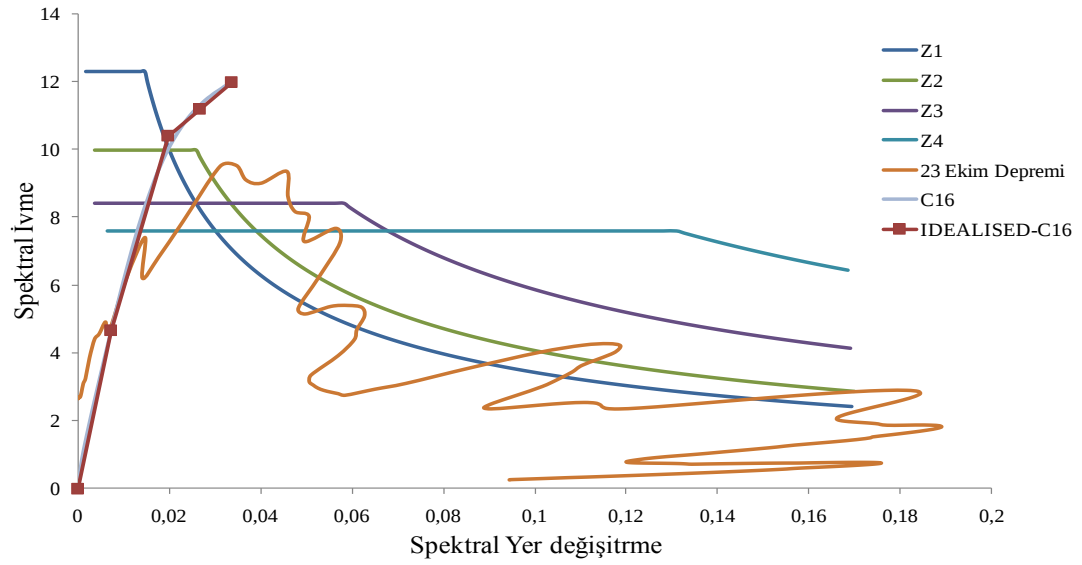


Şekil 6.10. 23 Ekim 2011 Van depreminin ve Z1-Z4 zeminlerinin elastik olmayan talep spektrum eğrileri ile Aslan otelin x doğrultusu için C12 beton sınıfında Modal kapasite eğrisi ve idealize edilmiş Modal kapasite eğrilerinin karşılaştırılması.

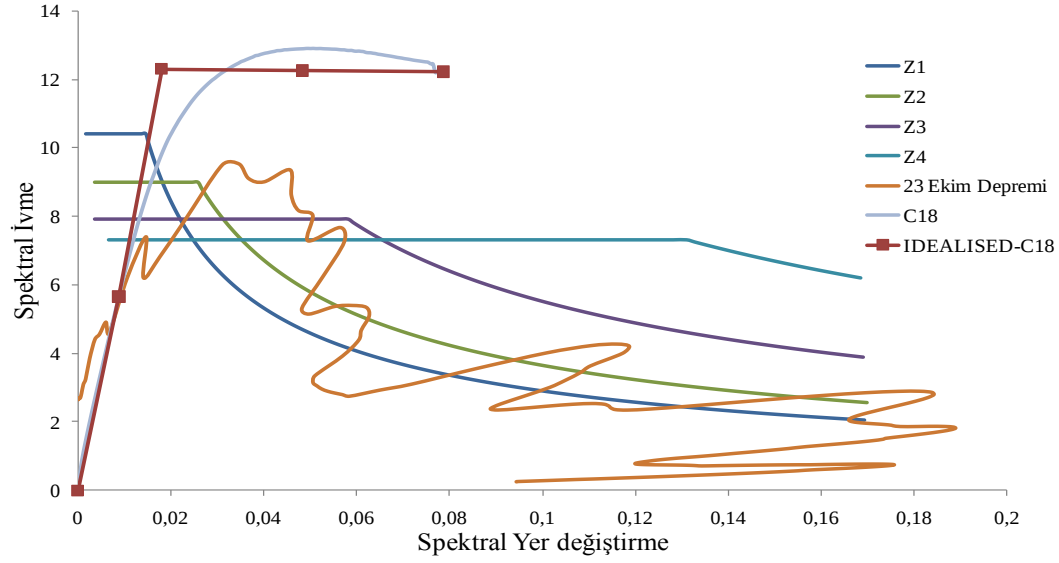
Şekil 6.9 ve Şekil 6.10’ da görülen C10 ve C12 sonuçları birbirlerine yakın olup Z4 Talep spektrum eğrisi ile çakışmaktadır. Aynı zamanda; C6, C8, C10 ve C12 malzeme sınıfları için çakışmanın Bölüm 4.4’ de anlatılan İdealleştirilmiş Modal kapasite eğrilerinin sınır hasar seviyelerinin hafif hasar bölgesinde meydana geldiği açıkça görülmektedir.



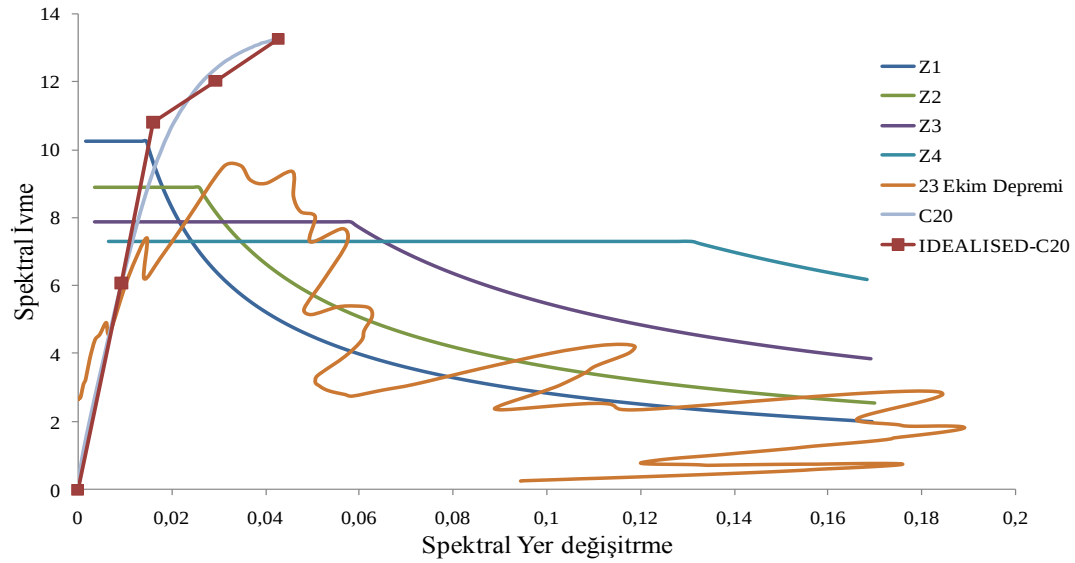
Şekil 6.11. 23 Ekim 2011 Van depreminin ve Z1-Z4 zeminlerinin elastik olmayan talep spektrum eğrileri ile Aslan otelin x doğrultusu için C14 beton sınıfında Modal kapasite eğrisi ve idealize edilmiş Modal kapasite eğrilerinin karşılaştırılması



Şekil 6.12. 23 Ekim 2011 Van depreminin ve Z1-Z4 zeminlerinin elastik olmayan talep spektrum eğrileri ile Aslan otelin x doğrultusu için C16 beton sınıfında Modal kapasite eğrisi ve idealize edilmiş Modal kapasite eğrilerinin karşılaştırılması

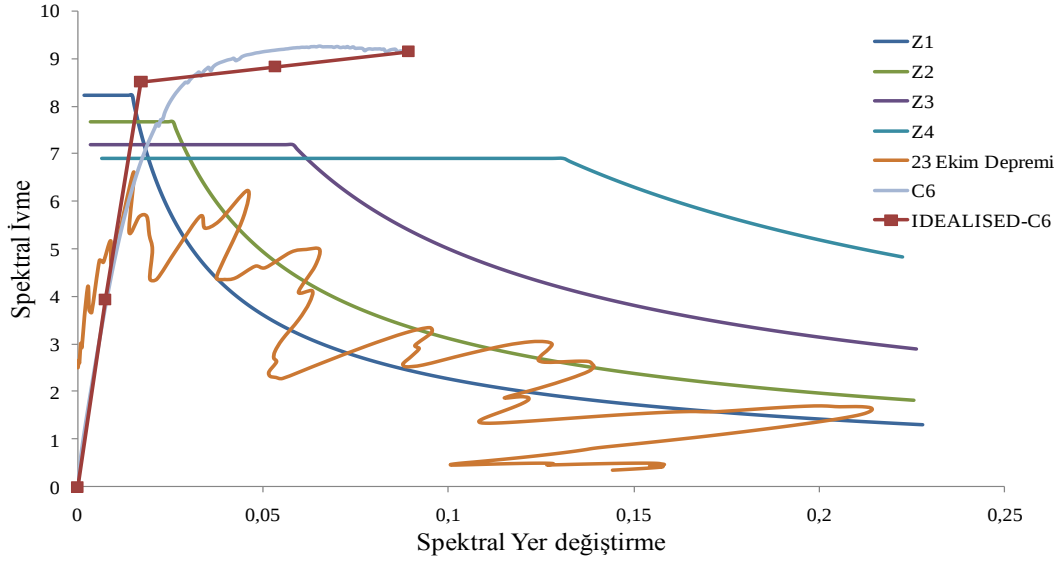


Şekil 6.13. 23 Ekim 2011 Van depreminin ve Z1-Z4 zeminlerinin elastik olmayan talep spektrum eğrileri ile Aslan otelin x doğrultusu için C18 beton sınıfında Modal kapasite eğrisi ve idealize edilmiş Modal kapasite eğrilerinin karşılaştırılması

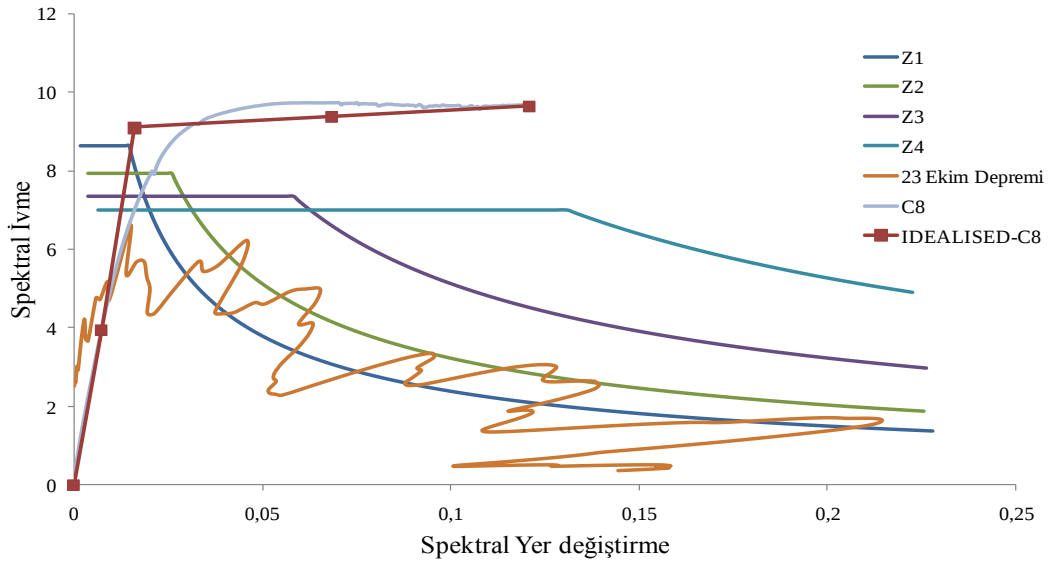


Şekil 6.14. 23 Ekim 2011 Van depreminin ve Z1-Z4 zeminlerinin elastik olmayan talep spektrum eğrileri ile Aslan otelin x doğrultusu için C20 beton sınıfında Modal kapasite eğrisi ve idealize edilmiş Modal kapasite eğrilerinin karşılaştırılması

C14 ve sonraki malzeme sınıflarında Z4 Talep spektrum eğrisinden daha kötü zeminler için elde edilecek Talep spektrum eğrilerinin olması gerektiği Şekil 6.11-6.14' den açıkça görülebilir. C14 ve C16 malzeme sınıfları için çakışmanın hafif hasar sınırına yakın, C18 ve C20 malzeme sınıfı için ise hasarsız bölgede olduğu görülmektedir.

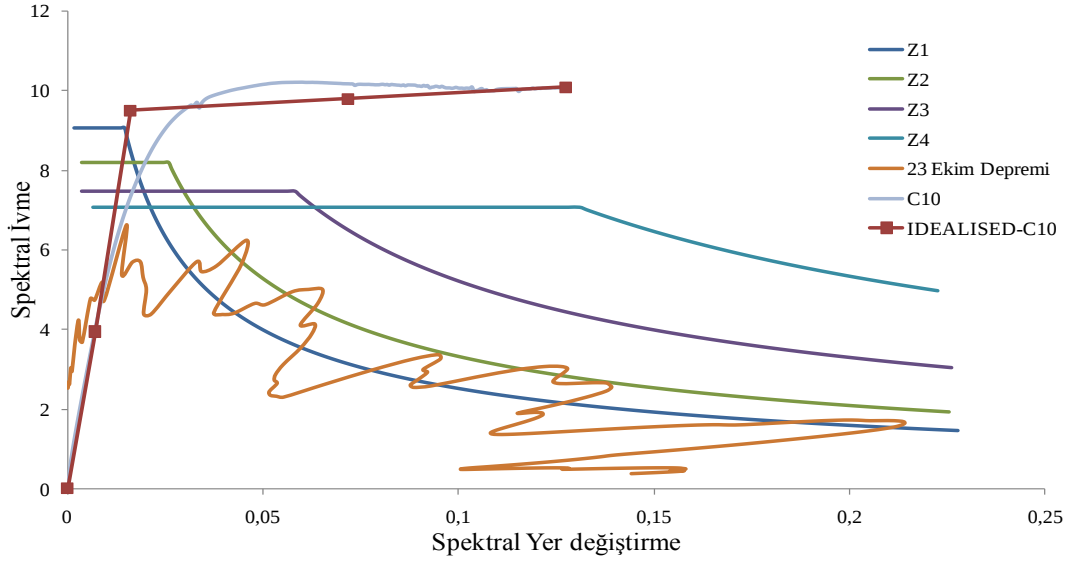


Şekil 6.15. 23 Ekim 2011 Van depreminin ve Z1-Z4 zeminlerinin elastik olmayan talep spektrum eğrileri ile Aslan otelin y doğrultusu için C6 beton sınıfında Modal kapasite eğrisi ve idealize edilmiş Modal kapasite eğrilerinin karşılaştırılması

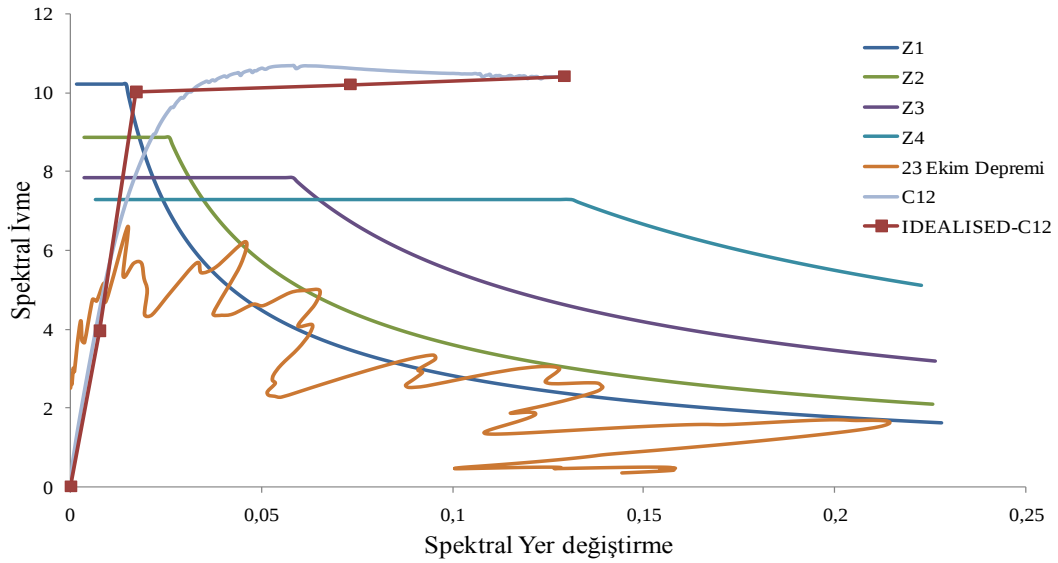


Şekil 6.16. 23 Ekim 2011 Van depreminin ve Z1-Z4 zeminlerinin elastik olmayan talep spektrum eğrileri ile Aslan otelin y doğrultusu için C8 beton sınıfında Modal kapasite eğrisi ve idealize edilmiş Modal kapasite eğrilerinin karşılaştırılması

C6, C8, C10 ve C12 beton malzeme sınıfları için 23 Ekim 2011 Van depreminin Talep eğrisi ile Aslan otelin İdealleştirilmiş Modal kapasite eğrisinin hafif hasar bölgesinde çakıştığı Şekil 6.15-6.18’ de görülmektedir. C14 ve C16 malzeme sınıfları için çakışma hafif hasar sınırında meydana gelirken C18 ve C20 için meydana gelen çakışmanın hasarsız bölgede olduğu Şekil 6.19-6.22’ de görülmektedir.



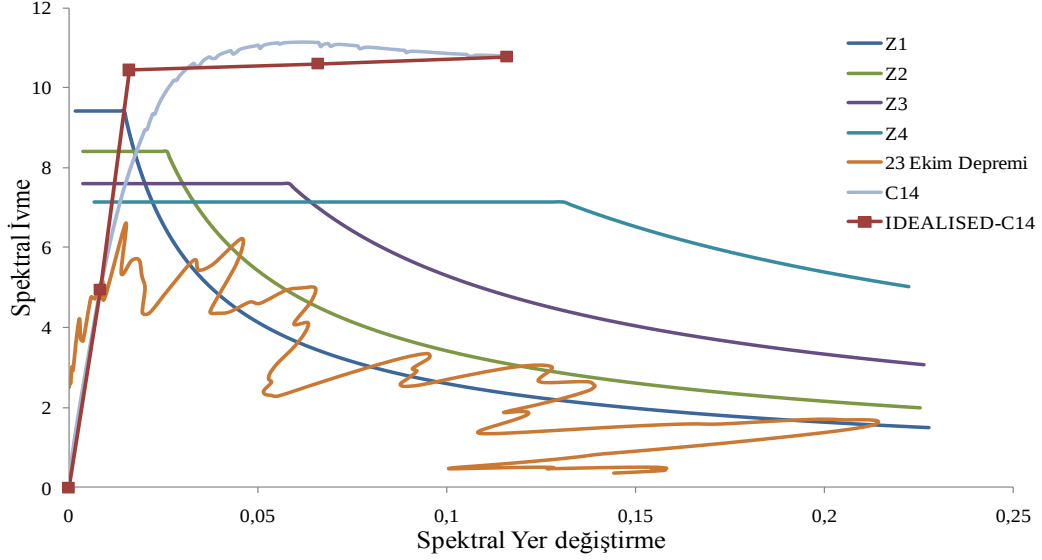
Şekil 6.17. 23 Ekim 2011 Van depreminin ve Z1-Z4 zeminlerinin elastik olmayan talep spektrum eğrileri ile Aslan otelin y doğrultusu için C10 beton sınıfında Modal kapasite eğrisi ve idealize edilmiş Modal kapasite eğrilerinin karşılaştırılması



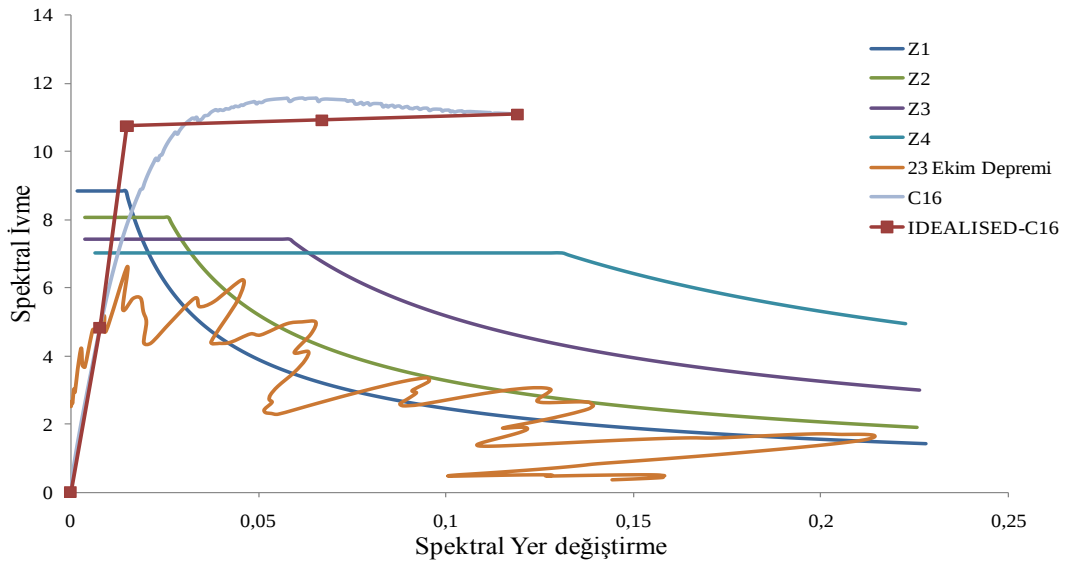
Şekil 6.18. 23 Ekim 2011 Van depreminin ve Z1-Z4 zeminlerinin elastik olmayan talep spektrum eğrileri ile Aslan otelin y doğrultusu için C12 beton sınıfında Modal kapasite eğrisi ve idealize edilmiş Modal kapasite eğrilerinin karşılaştırılması

Şekil 6.15-6.22 eğrileri incelendiği zaman 23 Ekim 2011 Van depreminin Talep eğrisi ile Aslan otelin İdealleştirilmiş Modal kapasite eğrileri C6-C20 arası malzeme sınıfları için Z1-Z4 arası tüm zemin sınıfları için elastik olmayan Talep spektrum eğrisi ile çakışmadığı görülmektedir. Binanın bulunduğu zeminin bu zemin sınıfları içerisinde en

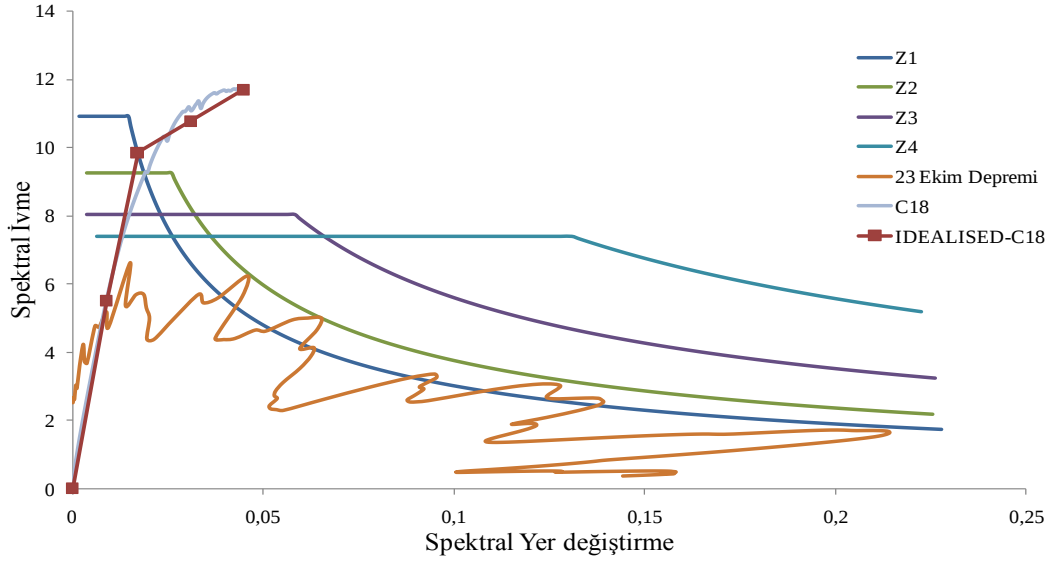
kötü zemin olan Z4 sınıfından daha kötü bir zemin sınıfı için bu eğrilerin çakışması gerektiği aynı şekillerden açıkça görülebilir.



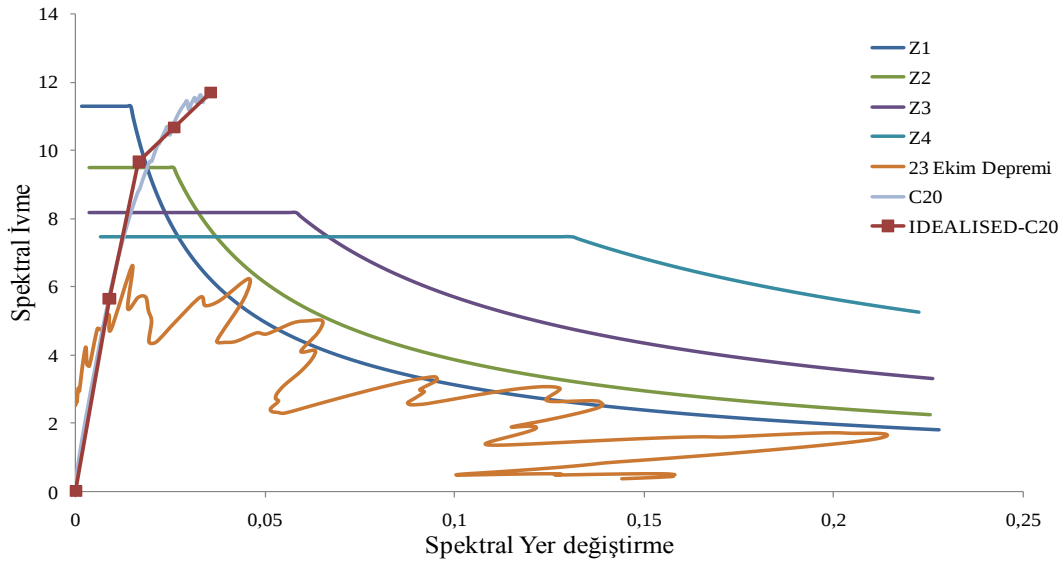
Şekil 6.19. 23 Ekim 2011 Van depreminin ve Z1-Z4 zeminlerinin elastik olmayan talep spektrum eğrileri ile Aslan otelin y doğrultusu için C14 beton sınıfında Modal kapasite eğrisi ve idealize edilmiş Modal kapasite eğrilerinin karşılaştırılması



Şekil 6.20. 23 Ekim 2011 Van depreminin ve Z1-Z4 zeminlerinin elastik olmayan talep spektrum eğrileri ile Aslan otelin y doğrultusu için C16 beton sınıfında Modal kapasite eğrisi ve idealize edilmiş Modal kapasite eğrilerinin karşılaştırılması



şekil 6.21. 23 Ekim 2011 Van depreminin ve Z1-Z4 zeminlerinin elastik olmayan talep spektrum eğrileri ile Aslan otelin y doğrultusu için C18 beton sınıfında Modal kapasite eğrisi ve idealize edilmiş Modal kapasite eğrilerinin karşılaştırılması



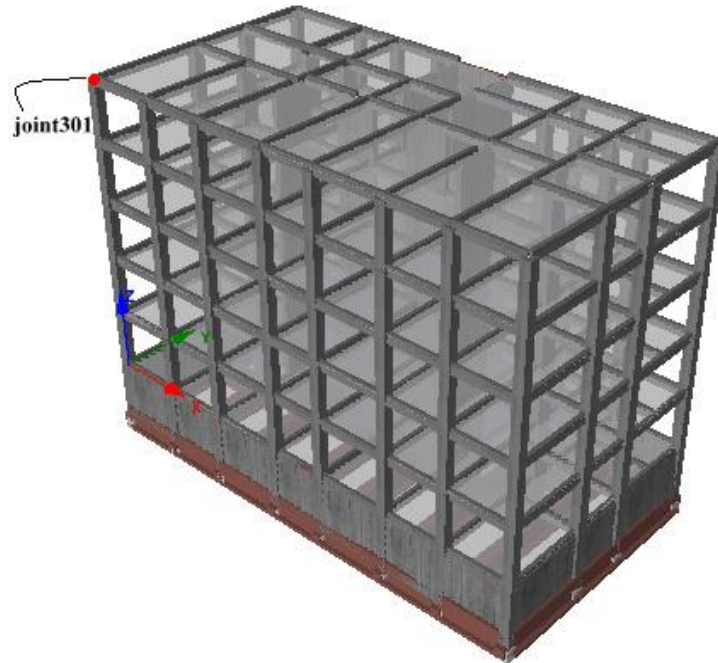
şekil 6.22. 23 Ekim 2011 Van depreminin ve Z1-Z4 zeminlerinin elastik olmayan talep spektrum eğrileri ile Aslan otelin y doğrultusu için C20 beton sınıfında Modal kapasite eğrisi ve idealize edilmiş Modal kapasite eğrilerinin karşılaştırılması

Bölüm 5.1’ de bölgenin jeolojik yapısı hakkında Van ve Erciş yerleşim merkezlerinin Van Gölü Formasyonu olarak tanımlanan göl, akarsu ve karasal çökeltmenin tekrarlanmasıdan oluşan gevşek zemin (alüvyon tabaka) üzerinde yer aldığı belirtilmişti. Aslan otelin bulunduğu konum dikkate alındığında Aslan otelin yer aldığı zemin sınıfının Z4 sınıfında olacağı anlaşılmaktadır. şekil 6.7 ve 6.14’ de görülen

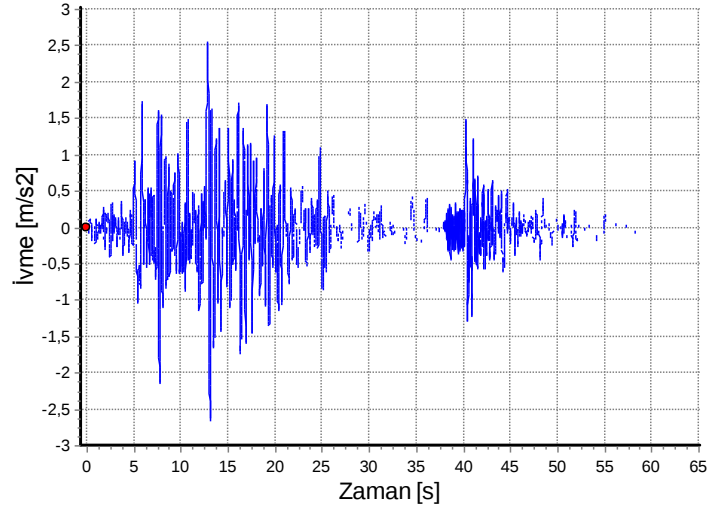
eğrilerin karşılaştırılmasından x yönü için zemin sınıfının C6 için Z3, C8 için Z3-Z4 arası C10 ve C12 için Z4, C14 ve üzeri beton sınıfları için Z4' den daha düşük dayanımlı zeminlerin olacağı anlaşılmaktadır. Aynı zamanda y yönü için tüm malzeme sınıflarında Talep eğrileri ile çakışabilmesi için Z4 zemininden daha kötü bir zemin sınıfının olması gerektiği anlaşılmaktadır. Bölüm 6.1' de bahsedilen Aslan otelin yıkılma şekli ve Şekil 6.5 ve 6.6 eğrileri ve Elastik olmayan Talep spektrum eğrileri ile Modal kapasite eğrilerinin karşılaştırmasının yapıldığı Şekil 6.7. ve 6.22 eğrileri dikkate alındığında; Aslan otel için kabul edilecek malzeme sınıfı x doğrultusundaki özellikler dikkate alınarak zaman tanım alanındaki çözümlerin yapılması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır. Böylece zaman tanım alanındaki çözümlerde Aslan otelin C8 beton malzeme sınıfı için Z3-Z4, C10 ve C12 beton malzeme sınıfları için ise Z4 zemin sınıfında olacağı kabul edilmiştir.

6.3. Aslan Otelin Zaman Tanım Alanındaki Lineer Olmayan Sismik Analizleri

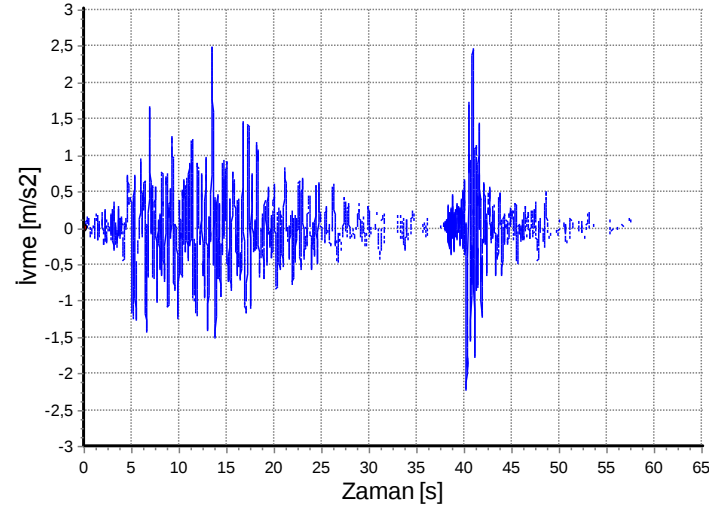
Bu bölümde, Aslan otelin zemin-yapı etkileşimi dikkate alınarak lineer olmayan sismik analizleri elde edilmiştir. Binanın temel elemanları proje verileri üzerinden alınmış [4] olup zemin-yapı etkileşimi ise elastik yaylarla temsil edilmiştir. Aslan otelin bu temel özellikleri ve zemin yatak katsayıları dikkate alınarak güncelleştirilen sonlu eleman modeli Şekil 6.23' de görülmektedir,



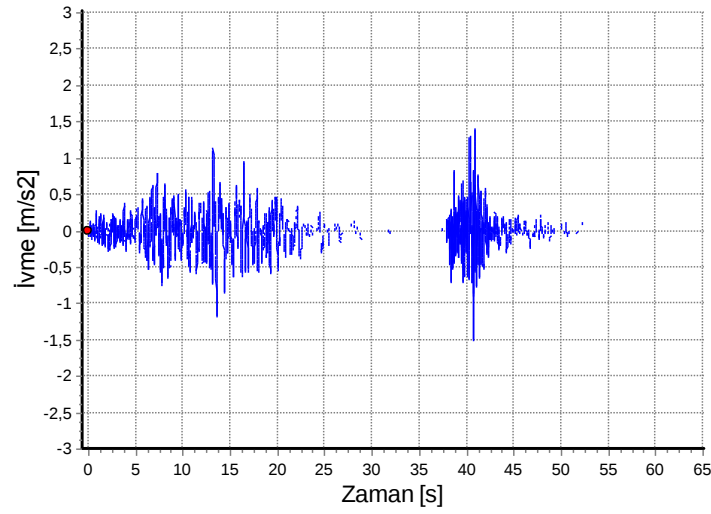
Şekil 6.23. Aslan otelin güncelleştirilmiş sonlu eleman modeli



a) KG doğrultusu



b) DB doğrultusu



c) Düşey doğrultusu

Şekil 6.24. 23 Ekim 2011 Van ve 9 Kasım 2011 Van-Edremit depremlerinin ivme bileşenleri

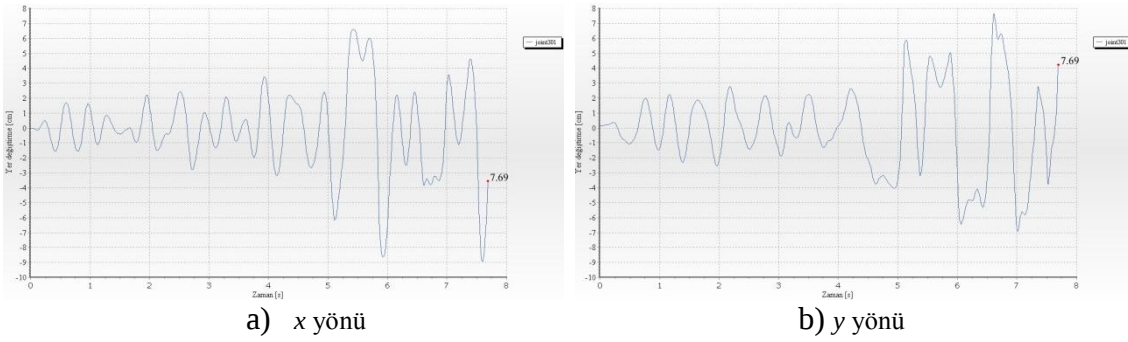
Binanın beton malzemesi olarak C8-C12 aralığında bulunan elastik ve elastik olmayan malzeme özellikleri kullanılmıştır. Tablo 6.3’ de Aslan otelin lineer olmayan sismik analizlerinde kullanılan beton malzemesine ait mekanik özellikler görülmektedir [44]. Bu tabloda görülen etriye oranı ise %20 olarak seçilmiştir. Kullanılan çelik malzeme sınıfının ise BÇ-I (S220) çeliği olduğu proje verileri üzerinden alınmıştır. Zemin yatak katsayısı ise Z4 zemin sınıfı için $2000-10000 \text{ kN/m}^3$ olarak verilmekte olup çözümlerde ortalama olarak 6000 kN/m^3 ve Z3 zemin sınıfı için ise $10000-100000 \text{ kN/m}^3$ olarak verilen değerler için ortalama 55000 kN/m^3 seçilmiştir [18]. Böylece, Aslan otelin C8 beton malzemesi için Z3-Z4 zemin sınıfı, C10 ve C12 beton malzemesi için Z4 zemin sınıfı seçilerek zaman tanım alanındaki çözümler elde edilmiştir. Sismik etki olarak, 23 Ekim 2011 Van depreminin ivme genlikleri ile 9 Kasım 2011 Van-Edremit depreminin ivme genliklerinin birleştirilmiş formu kullanılmıştır. Kullanılan bu ivme genlik değerlerinden yalnızca 23 Ekim 2011 tarihinde meydana gelen depremin Van-Muradiye istasyonu tarafından ölçülen ivme genliklerinin zaman adımları 0.0078 s olduğundan bu zaman adımı 0.01 olarak “Baseline Correction” yapılarak düzenlenmiştir [36]. Düzenlenen ivme genlikleri Bölüm 5.2.1’ de verilen bilgiler ışığında 1.48426 katsayısıyla arttırılmıştır. 23 Ekim 2011 Van depreminin düzeltilen bu ivme genlik değerleri ile 9 Kasım 2011 Van-Edremit depreminin ivme genliklerinin birleştirilmiş formuna ait bileşenler her bir eksen için ayrı ayrı dikkate alınmıştır (Şekil 6.24). Birleştirilen bu ivme genlik değerleri, $0.00-37.44 \text{ s}$ zaman aralığı için 23 Ekim 2011 Van depremine; $37.44-62.45 \text{ s}$ zaman aralığı için 9 Kasım 2011 Van-Edremit depremine aittir. Depremlerin Kuzey-Güney (KG) bileşeni x doğrultusunda, Doğu-Batı (DB) bileşeni y doğrultusunda ve Düşey (D) bileşeni ise z doğrultusunda etki ettirilmiştir. Çözümler SeismoStruct programı yardımıyla elde edilmiştir.

Tablo 6.3. Aslan otelin Malzeme Özellikleri [57].

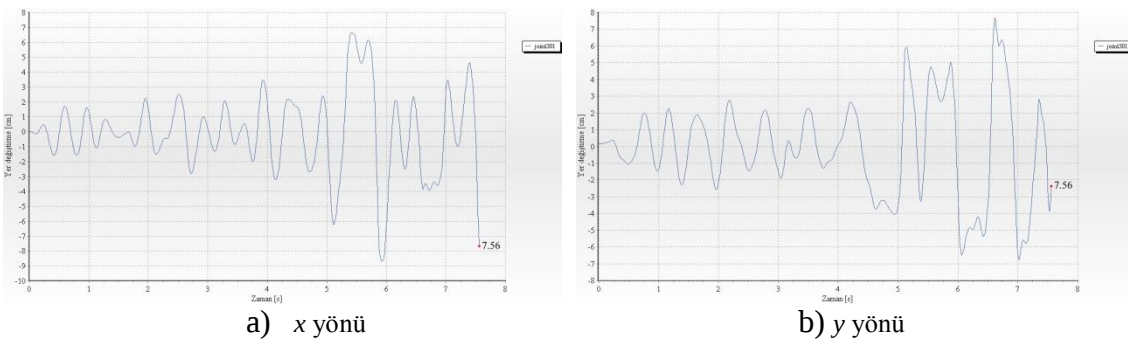
Beton Malzeme Sınıfı	C8	C10	C12
Basınç Dayanımı (kPa)	8000	10000	12000
Çekme Dayanımı (kPa)	990	1107	1212
Elastisite Modülü (MPa)	23192.388	24277.402	25258.330
Poisson Oranı	0.20	0.20	0.20
Kütle Yoğunluğu (kg/m^3)	2500	2500	2500
Ertiye Oranı	%20	%20	%20

6.3.1. Aslan otelin C8 beton ve Z3-Z4 zemin sınıfları için lineer olmayan sismik analizleri

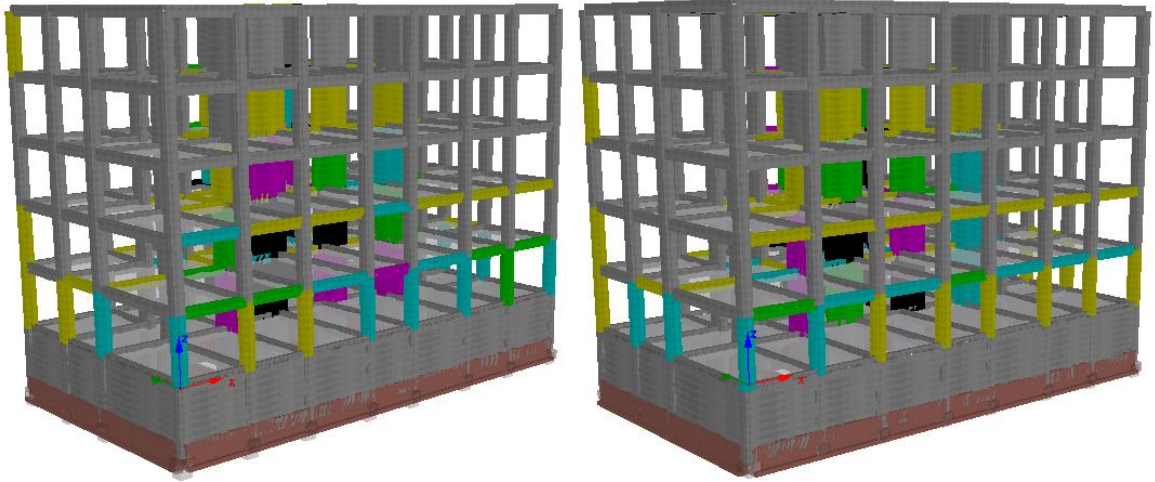
Bölüm 6.1’ de Aslan otelin 23 Ekim 2011 tarihindeki ana depremden sonra 9 Kasım 2011 günü Türkiye saati ile 21.23’ de meydana gelen ve 5.6M_L büyüklüğündeki depremin [19,45] etkisi ile yıkıldığı belirtilmiştir (Şekil 6.2 ve 6.3). Şekil 6.25, 6.26’ da C8 beton malzeme sınıfı ile Z3 ve Z4 zeminleri için yapılan sismik analiz sonuçlarından 301 nolu düğüm noktasının x ve y eksenlerine ait yer değiştirmenin zamanla değişim grafikleri görülmektedir. Şekil 6.25’den Z3 sınıfı için 301 nolu düğüm noktasının mutlak değerce en büyük yer değiştirmesi x yönünde 8.91 cm ve y yönünde 7.63 cm olarak elde edilmiştir. Ancak 23 Ekim 2011 Van depreminin düzeltilmiş ivme kayıtları altında çözümlerdeki iterasyonlar 7.69 s sırasında ıraksamıştır. Böylece bu an binanın göçme anı olarak kabul edilmiştir. Çözümler Z4 zemin sınıfı için tekrarlanmış olup Şekil 6.26’ dan görüldüğü gibi x ve y yönleri için mutlak değerce en büyük yer değiştirme değerleri sırasıyla 8.69 cm ve 7.67 cm olarak elde edilmiştir. Fakat söz konusu deprem için 7.56 s sırasında iterasyonlar ıraksamış ve bu zaman anı binanın göçme anı olarak kabul edilmiştir. Şekil 6.27 ‘de Z3 ve Z4 zemin sınıfları için Aslan otelin göçme anındaki hasar durumları görülmektedir.



Şekil 6.25. Z3 zemin sınıfı için Aslan otelin joint301 tepe düğüm noktasının yer değiştirme-zaman eğrisi



Şekil 6.26. Z4 zemin sınıfı için Aslan otelin joint301 tepe düğüm noktasının yer değiştirme-zaman eğrisi

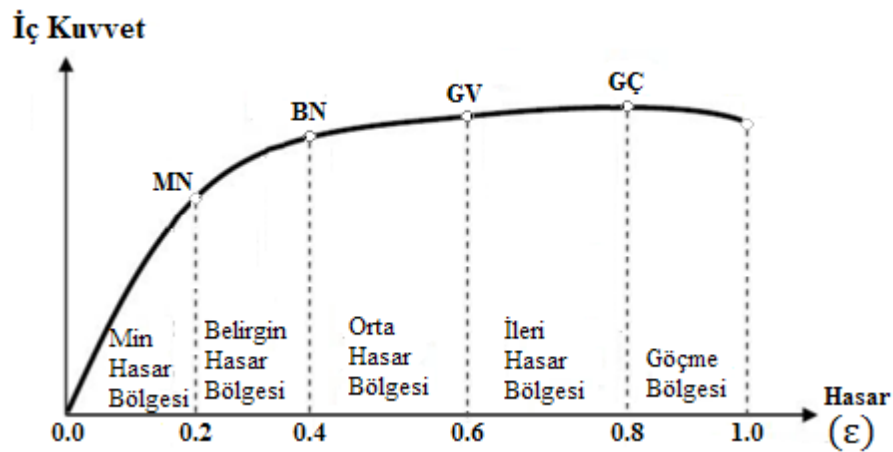


a) Z3 zemini 7.69 s.'deki hasar durumu

b) Z4 zemini 7.56 s.'deki hasar durumu

Şekil 6.27. a) Z3 ve b) Z4 zemin sınıfları için Aslan otelin göçme anındaki hasar durumları

Şekil 6.28' de görüldüğü gibi Bölüm 4.3.2' ye benzer bir yaklaşımla dört hasar sınırına karşılık beş hasar bölgesi tanımlanmıştır. Bunlar sırasıyla, Minimum Hasar Sınırı (MN), Belirgin Hasar Sınırı (BN), Güvenlik Sınırı (GV) ve Göçme Sınırı (GÇ)' dir. Hasar durumu %20'yi geçmeyen elemanlar Minimum Hasar Bölgesinde, %20-40 arasında yer alan elemanlar Belirgin Hasar Bölgesinde, %40-60 arasında yer alan elemanlar Orta Hasar Bölgesinde, %60-80 arasında yer alan elemanlar İleri Hasar Bölgesinde ve %80-100 arasında yer alan elemanlar ise Göçme Bölgesinde yer almaktadır.



Şekil 6.28. Kesit hasar sınır ve bölgeleri

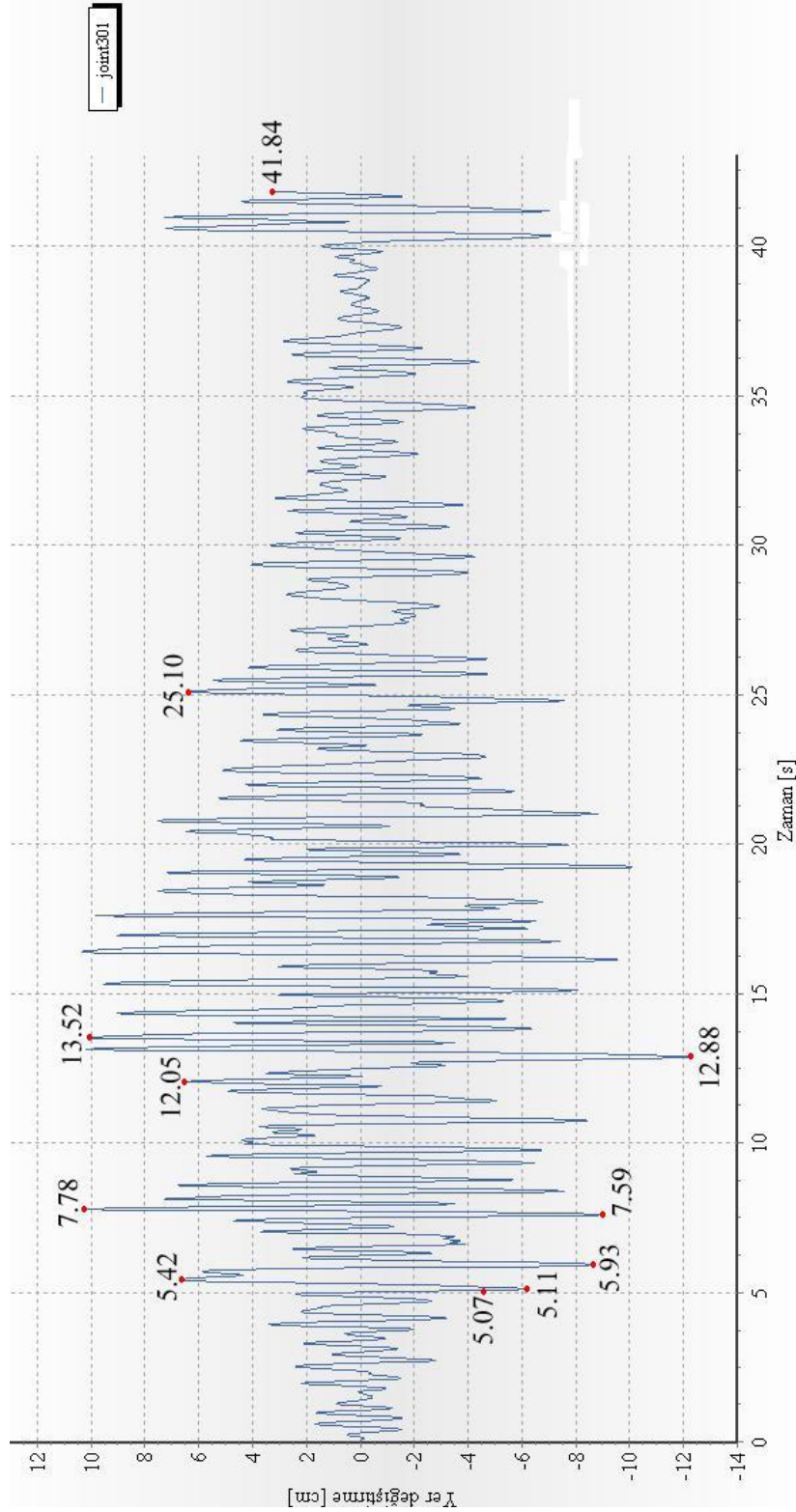
6.3.2. Aslan otelin C10 beton ve Z4 zemin sınıfı için lineer olmayan sismik analizi

Bu bölümde Aslan otelin beton malzemesi için C10 ve Z4 zemin sınıfı için söz konusu deprem etkisi altında sismik analizleri elde edilmiştir. Bu otelin 4.kat 301 nolu düğüm noktasının x yönüne ait yer değiştirmesinin zamanla değişim grafiği Şekil 6.29' da görülmekte olup yer değiştirme değerlerinin mutlak maksimumu ise 12.17 cm olarak elde edilmiştir.

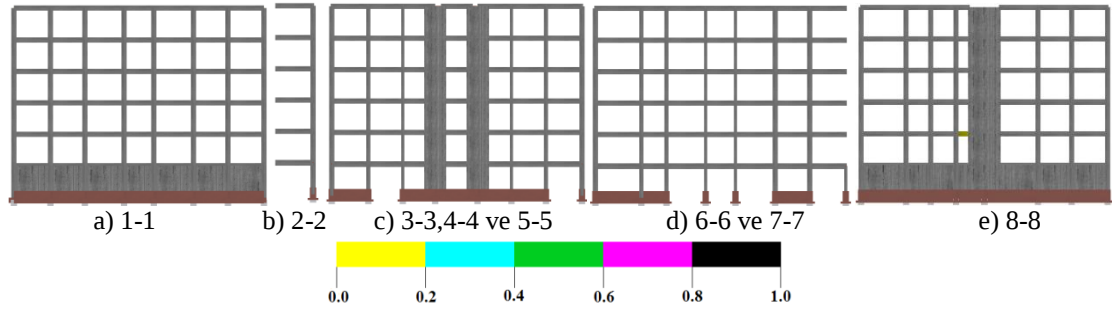
Şekil 6.30' da görüldüğü gibi x yönü için ilk hasar, binanın Kuzey-Güney yönünde hareketi sonucunda 5.07 s. anında 8-8 aksı üzerinde bulunan zemin kata ait P01 perdesine saplanan K04 kirişinde meydana gelmiştir. Oluşan hasar % 20'nin altında olup diğer elemanlarda herhangi bir hasar meydana gelmemiştir. 5.11 s. zaman adımına ulaşıldığında zemin katta bulunan K04 kirişindeki hasar seviyesi % 60'ın üzerine çıkarken 1.kata ait K04 kirişinde de yeni bir hasar bölgesi meydana gelmiştir. Bu zaman adımında zemin kat'ın P01, P02 ve P04 perdeleri ile 1. ve 2. kata ait P02 perdelerinde yeni hasar bölgeleri meydana gelmiştir. Zemin kattaki P01 ve P02 perdelerinde meydana gelen hasar seviyeleri sırasıyla % 60 ve % 80'nin üzerinde olup diğer perdelerdeki hasarlar %20'nin altında kalmıştır. 5.42 s.'ye anına ulaşıldığında binanın Güney-Kuzey yönünde hareketi sonucu merdiven boşluğunda bulunan perde elemanlar ile bu perdelerle saplanan kirişlerde mevcut hasarlar artarken bu hareket yeni hasarların meydana gelmesine yol açmıştır. Bu zaman adımında K04 kirişi tüm katlarda hasar görürken zemin katta bulunan P01 perdesindeki hasar % 80'nin üzerine çıkmıştır. Zemin ve 1. kattaki P03 perdesi ile zemin kattaki P07 perdesinde oluşan hasarlar bu zaman adımında meydana gelmiştir.

5.93 s. zaman anında binanın Kuzey-Güney yönündeki hareketi sonucu binada hasar gören eleman sayısı artmış olup bu ana kadar hasar oluşmayan 1-1 ve 2-2 akslarındada yeni hasarlar meydana gelmiştir (Şekil 6.33). 1-1 ve 2-2 akslarındaki hasarlar %40'ın altında olup 1-1 aksının zemin kat kirişlerinin tamamı hasar görmüştür. 4-4 aksı üzerinde bulunan P05 ve P06 perdelerinde oluşan hasarlar %80'e ulaşırken zemin kattan üst katlara doğru oluşan hasar oranları azalmaktadır. İlerleyen zaman adımlarında mevcut hasarlar artmış ve 7.59 s. anına ulaşıldığında 1-1 aksı üzerinde bulunan zemin kat ile 1.katta bulunan kirişlerin tamamı hasar görmüştür. Bu zaman anında 4-4 aksı üzerinde bulunan zemin kat ve 1.kata ait P05 ve P06 perdelerinde mevcut hasarlar artarken zemin katın P05 perdesiyle 1.katın P05 ve P06 perdelerinde oluşan hasarlar %80'nin üzerine

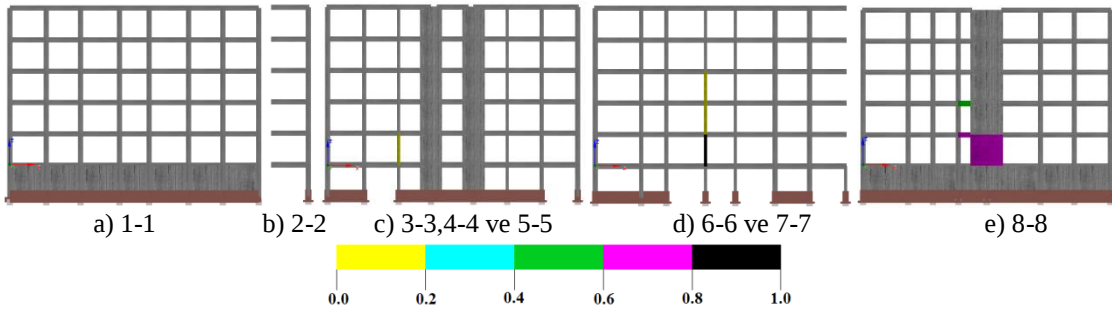
çıkıştır. Bu zaman adımımda 8-8 aksında bulunan K05 kirişi ve 7-7 aksında bulunan K12 kirişi (bodrum kat hariç) tüm katlarda hasar görmüştür.



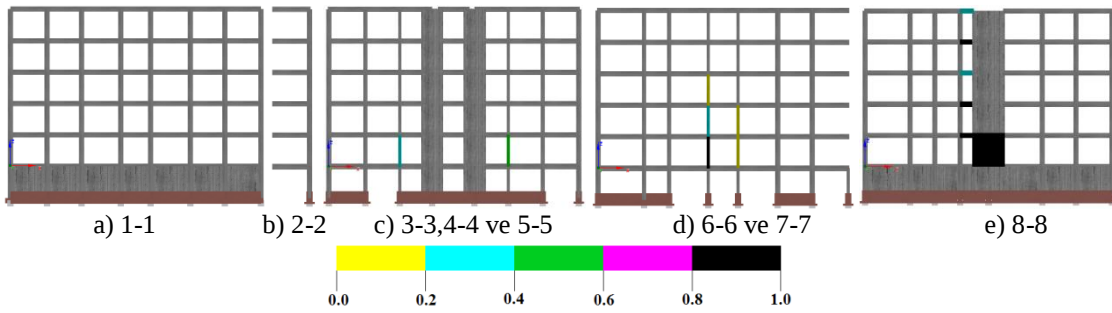
Şekil 6.29. C10 malzeme sınıfındaki Aslan otelin 301 tepe düğüm noktasının Z4 zemin sınıfı için x yönündeki yer değiştirme-zaman eğrisi



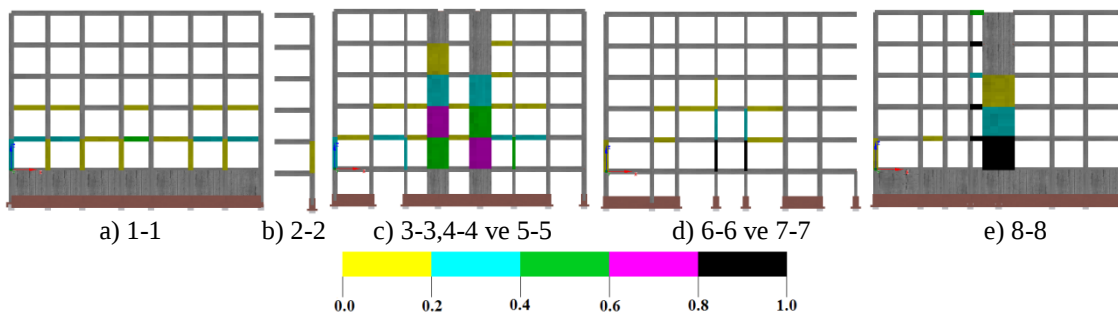
Şekil 6.30. x-yönü için Aslan otelin 5.07 s. ' deki hasar durumu



Şekil 6.31. x-yönü için Aslan otelin 5.11 s. ' deki hasar durumu



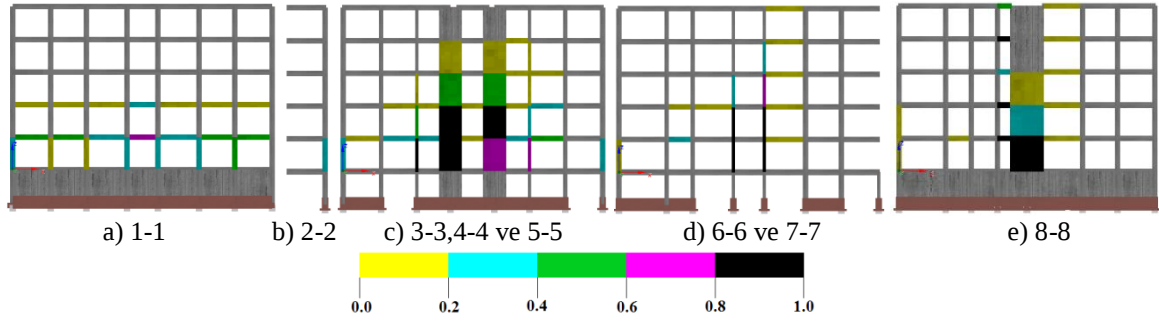
Şekil 6.32. x-yönü için Aslan otelin 5.42 s. ' deki hasar durumu



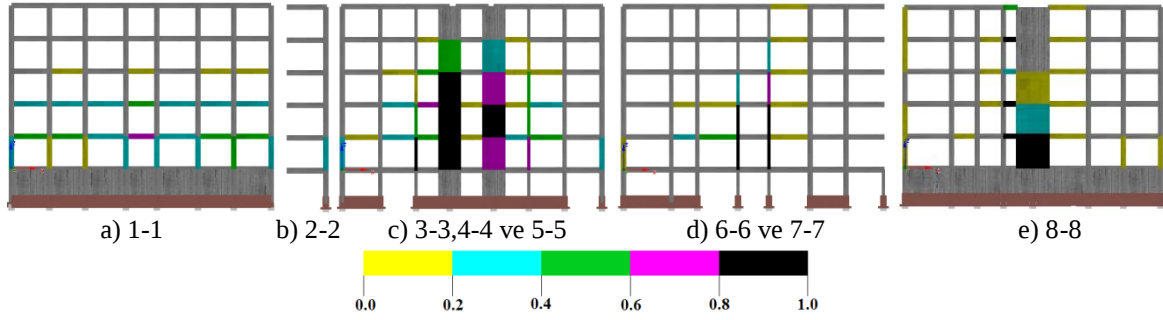
Şekil 6.33. x-yönü için Aslan otelin 5.93 s. ' deki hasar durumu

7.78 s. zaman anına ulaşıldığında binanın Güney-Kuzey yönünde hareketi sonucu 1-1 aksı üzerinde bulunan zemin katın kiriş ve kolonlarının tamamında % 80'e varan hasarlar meydana gelmiştir (Şekil 6.35). 4-4 aksında bulunan bazı perde, kolon ve kiriş

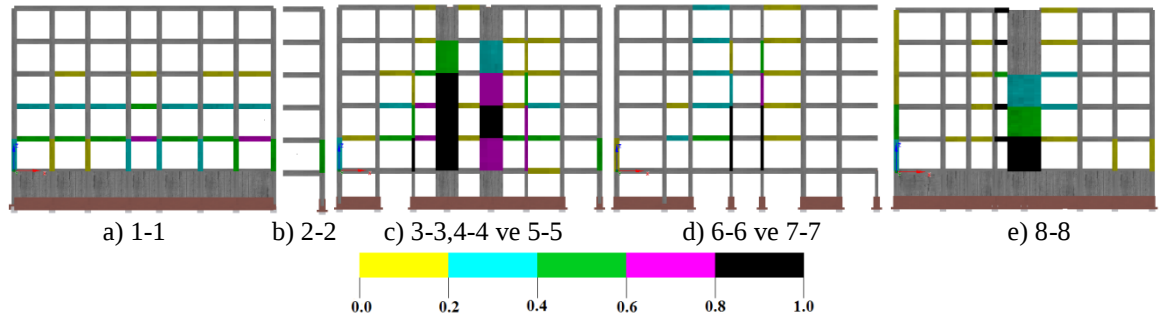
elemanların mevcut hasarında artışlar görülmüştür. 8-8 aksı üzerinde bulunan S01 kolonu, 2. kat hariç diğer katlarda ve S6 ve S7 kolonları ise sadece zemin katta hasar görmüştür. Bu elemanlardaki hasarlar %20 civarında meydana gelmiştir.



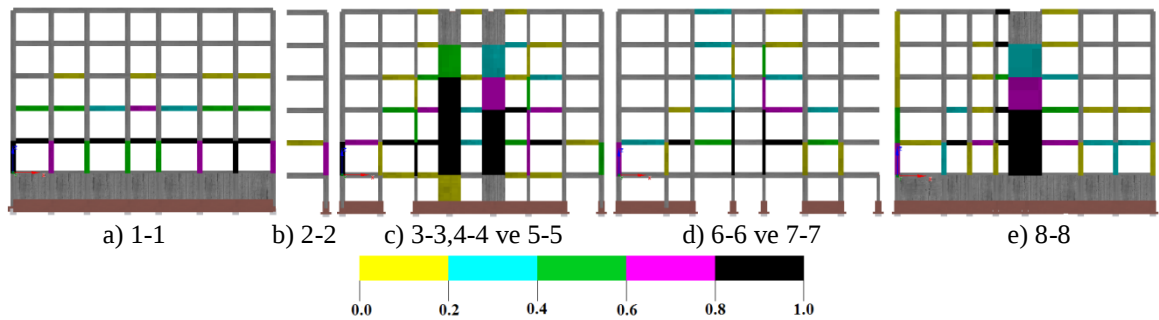
Şekil 6.34. x-yönü için Aslan otelin 7.59 s.' deki hasar durumu



Şekil 6.35. x-yönü için Aslan otelin 7.78 s.' deki hasar durumu

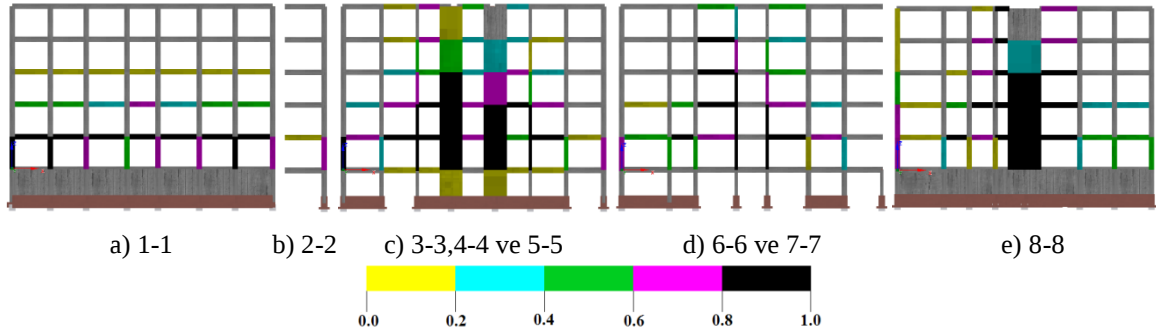


Şekil 6.36. x-yönü için Aslan otelin 12.05 s.' deki hasar durumu

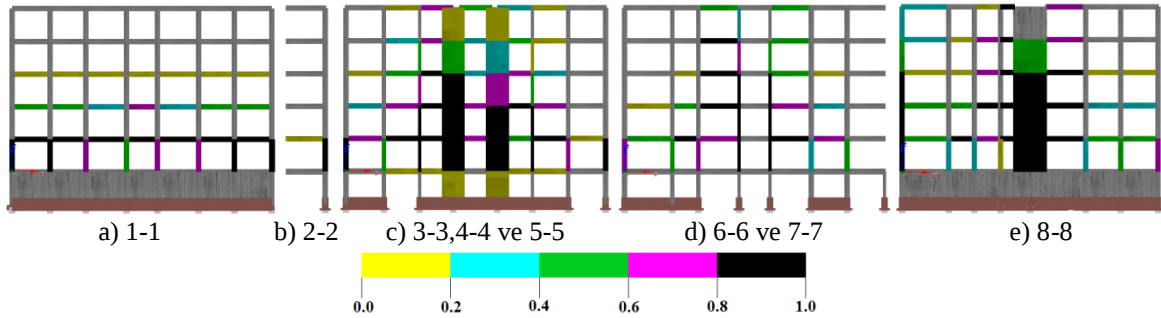


Şekil 6.37. x-yönü için Aslan otelin 12.88 s.' deki hasar durumu

12.05 s.'ye ulaşıldığında mevcut hasarlarda artışlar görülürken bodrum katta ilk hasar bölgesi 4-4 aksı üzerinde yer alan K20 kirişinde meydana gelmiştir. Bu anda 6-6 aksı üzerindeki K10 kirişinde zemin ve 1. katta bulunan hasarlar bodrum kat hariç diğer katlarda da meydana gelmiştir. Aynı zamanda 8-8 aksı üzerindeki P01 perdesindeki mevcut hasarlarda artışlar görülürken S01 kolonundaki hasarlar 2.katta da ilerleyiş göstermiştir. 12.88 s. zaman adımına ulaşıldığında binanın Kuzey-Güney yönündeki hareketi sonucu 4-4 aksı üzerinde bulunan bodrum kata ait P05 perdesi ile K16, K17, K19 ve K20 kirişlerinde ilave hasar bölgesi meydana gelmiştir. Aynı zamanda bu aks üzerinde bulunan K17 ve K19 kirişlerinde mevcut hasarlarda büyüme görülürken bodrum ve 4. katlara ait bu kirişlerde yeni hasar bölgesi elde edilmiştir. 8-8 aksının zemin katına ait hasar görmemiş tüm elemanlarında yeni hasarlar meydana gelmiştir (Şekil 6.37).



Şekil 6.38. x-yönü için Aslan otelin 13.52 s.'deki hasar durumu



Şekil 6.39. x-yönü için Aslan otelin 25.10 s.'deki hasar durumu

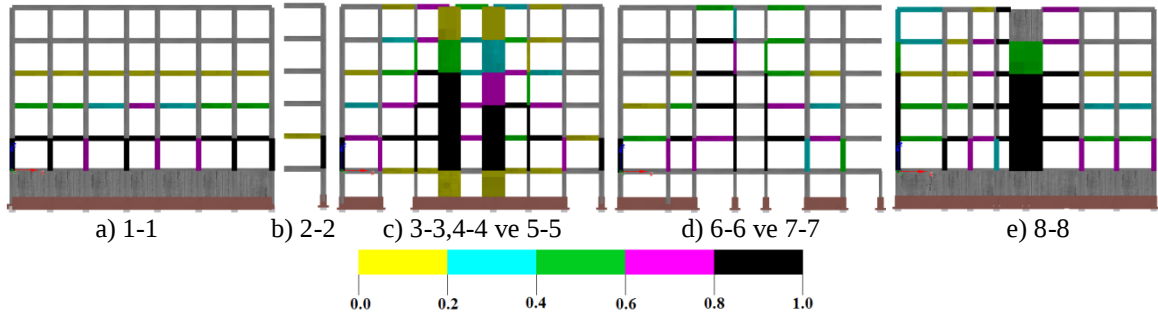
13.52 s. zaman anında binanın Güney-Kuzey yönünde hareketi sonucu 1-1 aksının 2.kat kirişlerinin tamamında %20'e varan hasarlar oluşmuştur. Bu zaman anında 3-3 aksında bulunan K16 kirişinde mevcut hasarlarda artışlar görülerek 3 ve 4. katlarda yeni hasar bölgesi oluşmuştur. 4-4 aksı üzerindeki P05 ve P06 perdelerinde mevcut hasarlarda değişim gözlenmezken 4. katta ait P05 perdesi ve bodrum kata ait P06 perdesinde %20'e varan yeni hasar bölgeleri meydana gelmiştir. 6-6, 7-7 ve 8-8 akslarında bulunan taşıyıcı

elemanların bazılarında mevcut hasar miktarlarında artışlar gözlenirken 6-6 ve 7-7 aksları için 1. kat K08 kirişi, 4. kat P02 perdesinde ve 8-8 aksı üzerinde bulunan 1. kat K01 kirişi ve 2. kat K02 kirişlerinde %20' e varan yeni hasar bölgeleri oluşmuştur (Şekil 6.38). 25.10 s.'ye ulaşıldığında tüm akslarda bulunan taşıyıcı elemanların bazılarında mevcut hasar miktarlarında artışlar gözlenirken 3-3 aksının 2. kat K15 kirişi, 4-4 aksının 4. kat P06 perdesi ve K20 kirişi, 6-6 aksının 2.kat K09 kirişi, 7-7 aksının 2. kat K13 kirişi ve 8-8 aksında 2, 3 ve 4. katların K01 kirişlerinde, 2 ve 3. katın K02 kirişlerinde ve 2. kat K06 ve K07 kirişlerinde %20' e varan yeni hasar bölgeleri oluşmuştur (Şekil 6.39).

Tablo 6.4. 23 Ekim 2011 Van Depremi sonrası x yönünde meydana gelen hasar durumu

		Toplam Eleman Sayısı	% 0-20	% 20-40	% 40-60	% 60-80	% 80-100	Toplam Hasar
Bodrum Kat	Perde	20	2	-	-	-	-	2
	Kolon	25	-	-	-	-	-	-
	Kiriş	15	4	-	-	-	-	4
Zemin Kat	Perde	7	-	-	-	-	7	7
	Kolon	25	1	4	5	7	8	25
	Kiriş	29	2	-	5	5	15	27
1. Kat	Perde	7	-	-	-	-	7	7
	Kolon	25	-	-	-	-	1	1
	Kiriş	29	1	6	7	5	6	25
2. Kat	Perde	7	-	-	1	2	4	7
	Kolon	25	-	-	-	-	1	1
	Kiriş	29	14	2	2	2	4	24
3. Kat	Perde	7	1	1	4	1	-	7
	Kolon	25	-	-	1	-	-	1
	Kiriş	29	2	3	2	3	2	12
4. Kat	Perde	7	2	1	-	-	-	3
	Kolon	25	-	1	-	-	-	1
	Kiriş	29	3	2	3	2	1	11
Toplam	Perde	55	5	2	5	3	18	33
	Kolon	150	1	5	6	7	10	29
	Kiriş	160	26	13	19	17	28	103

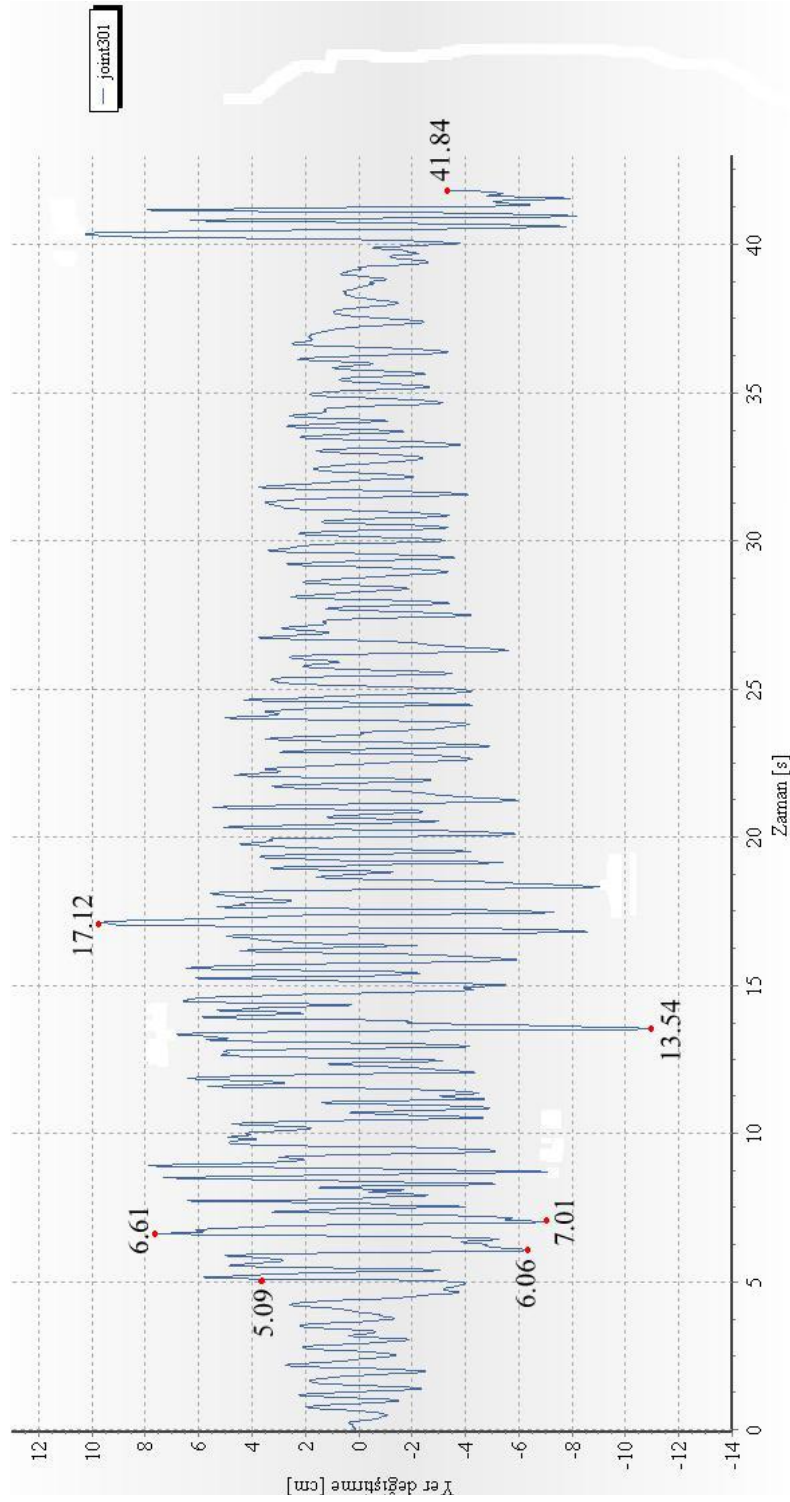
Şekil 6.30-6.39’de bulunan hasar durumları dikkate alınarak 23 Ekim 2011 Van depreminden sonra Aslan otelin x yönünde bulunan taşıyıcı elemanlarında meydana gelen toplam hasar oranı ve sayıları Tablo 6.4’ de verilmiştir. Deprem sonrasında binada bulunan toplam 55 adet perde elemanından 33’ ü, 150 adet kolon elemanından 29’ u ve 160 kiriş elemanından 103’ ü hasar görmüştür. Tablo 6.4’ de görüldüğü gibi, %60-80 (İleri hasar bölgesi) ve %80-100 (Göçme bölgesi) aralıklarındaki hasar bölgelerinde bulunan Perde elemanları için zemin kattan son kata doğru hasar gören eleman sayısında azalmalar görülmektedir. Diğer hasar bölgelerinde bulunan Perde elemanları için bu durum söz konusu değildir. Tüm hasar gören kolonlar içerisinde %60-80 (İleri hasar bölgesi) ve %80-100 (Göçme bölgesi) hasar aralıklarında bulunan kolonlarda, zemin kattan son kata doğru hasar gören eleman sayısında azalmalar görülmektedir. Diğer hasar bölgelerinde bulunan kolon elemanları için bu durum söz konusu değildir. Tüm hasar gören kirişler içerisinde %80-100 (Göçme bölgesi) hasar aralığında bulunan kirişlerde, zemin kattan son kata doğru hasar gören eleman sayısında azalmalar görülmektedir. Diğer hasar bölgelerinde bulunan kiriş elemanları için bu durum söz konusu değildir. Toplam hasar gören eleman sayıları dikkate alındığında tüm taşıyıcı elemanlar için zemin kattan üst kata doğru hasar gören eleman sayısında azalmaların olduğu Tablo 6.4’ den açıkça görülmektedir.



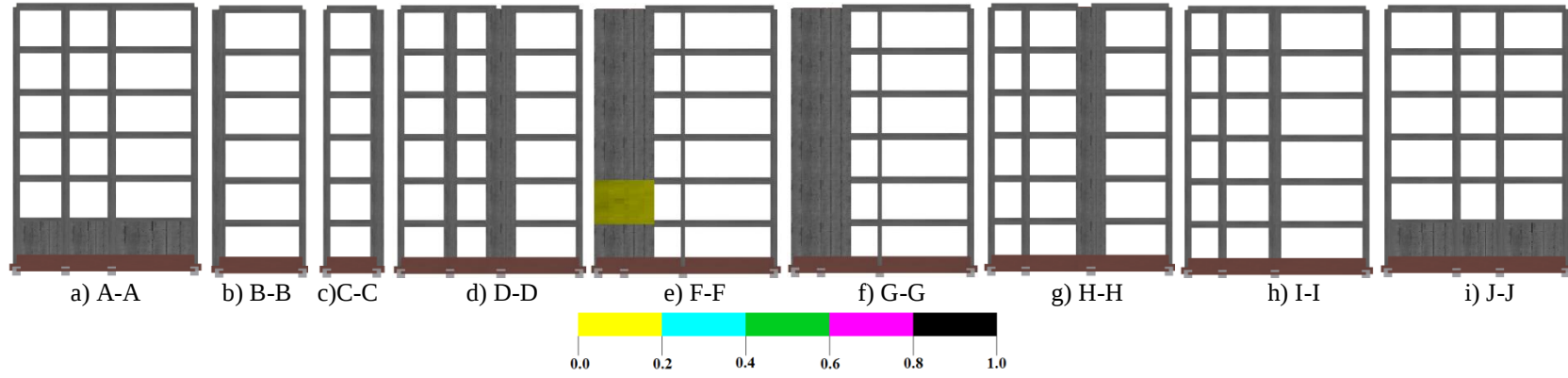
Şekil 6.40. x-yönü için Aslan otelin 41.84 s.’deki hasar durumu

Şekil 6.24’ de görülen Van depremi ivme kayıtlarının 37.44 s. anından sonraki ivme kayıtları 9 Kasım 2011 Van-Edremit depremi ivme kayıtlarına aittir. Bu andan sonraki Aslan otelin 41.84 s. anındaki hasar durumu Şekil 6.40’ da görülmektedir. 41.84 s. anında binanın taşıyıcı elemanlarında mevcut bulunan hasar miktarlarında artışlar görülmüş olup binanın nümerik olarak iterasyonlarının sağlanmadığı belirlenmiştir. Böylece binanın göçme zamanı olarak 41.84 s. anı kabul edilmiştir.

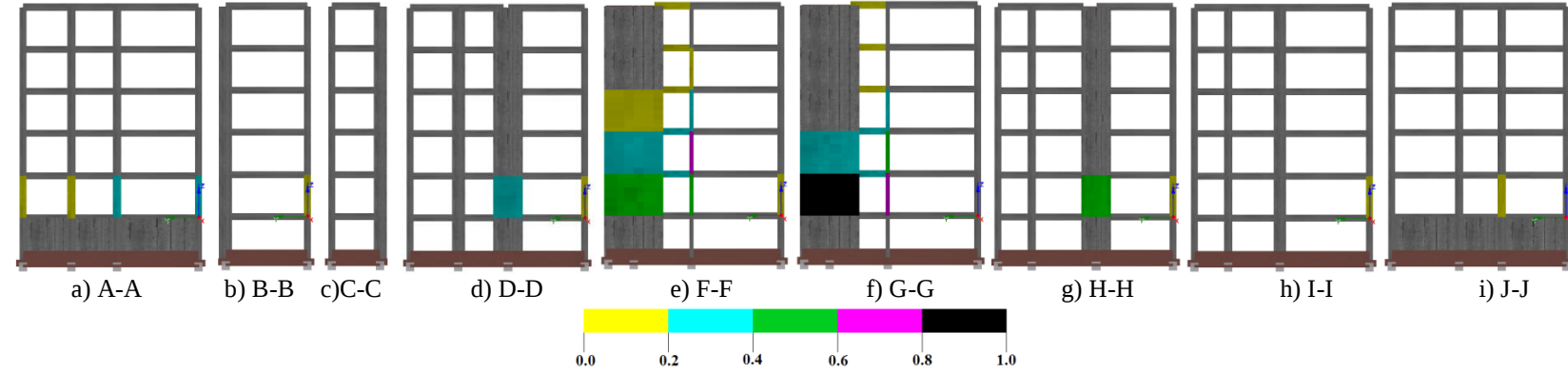
Aslan otelin 4.kat 301 nolu düğüm noktasının y yönüne ait yer değiştirmesinin zamanla değişim grafiği Şekil 6.41’ de görülmekte olup yer değiştirme değerlerinin mutlak maksimumu ise 10.87 cm olarak elde edilmiştir.



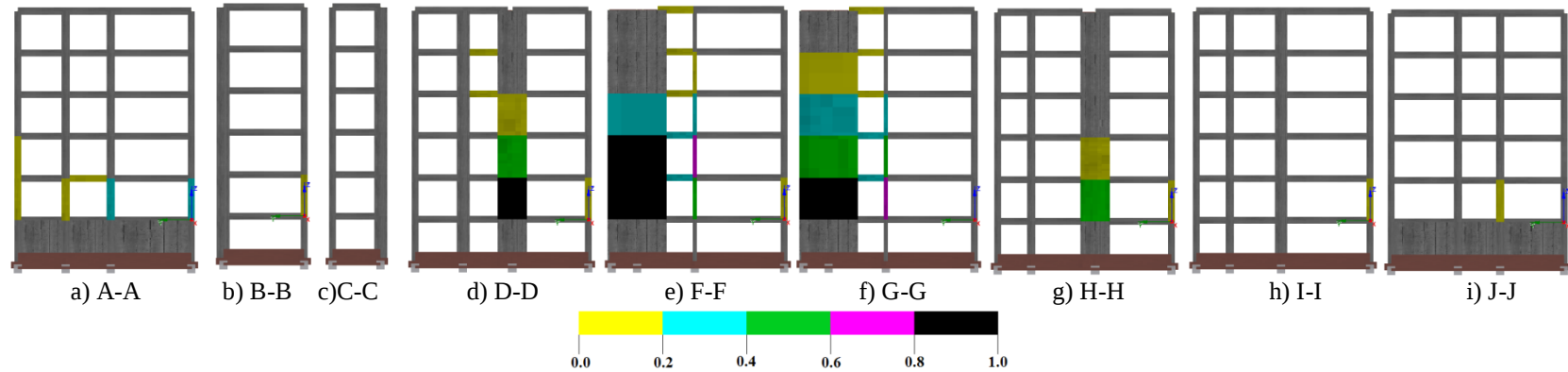
Şekil 6.41. C10 malzeme sınıfındaki Aslan otelin joint301 tepe düğüm noktasının Z4 zemin sınıfı için y yönündeki yer değiştirme-zaman eğrisi



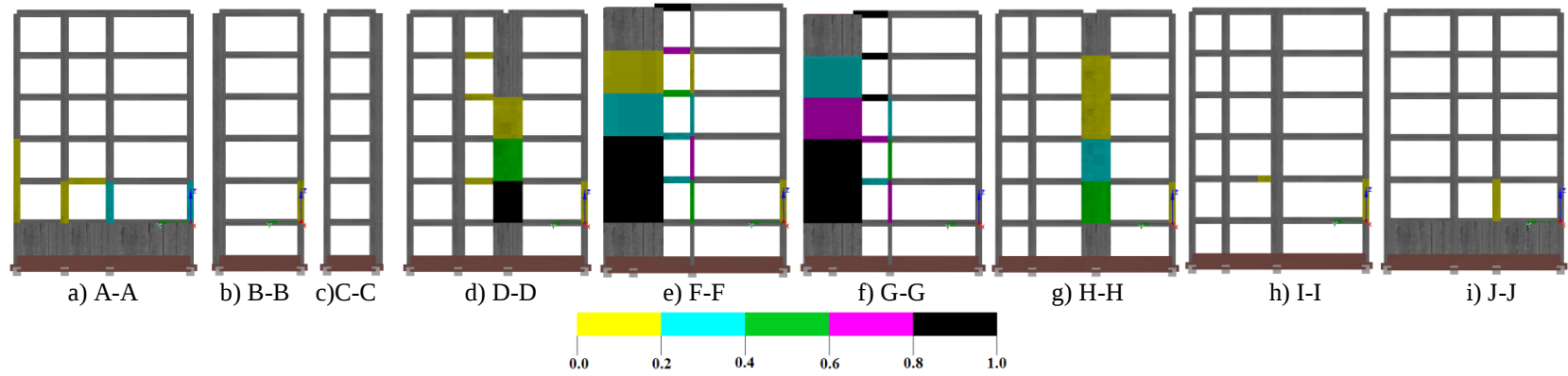
Şekil 6.42. y-yönü için Aslan otelin 5.09 s.'deki hasar durumu



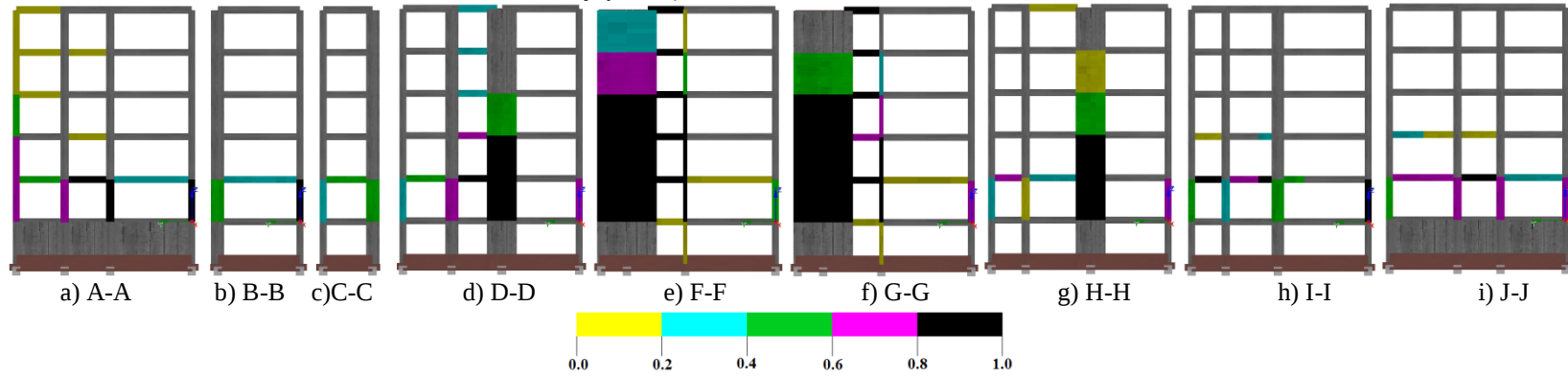
Şekil 6.43. y-yönü için Aslan otelin 6.06 s.'deki hasar durumu



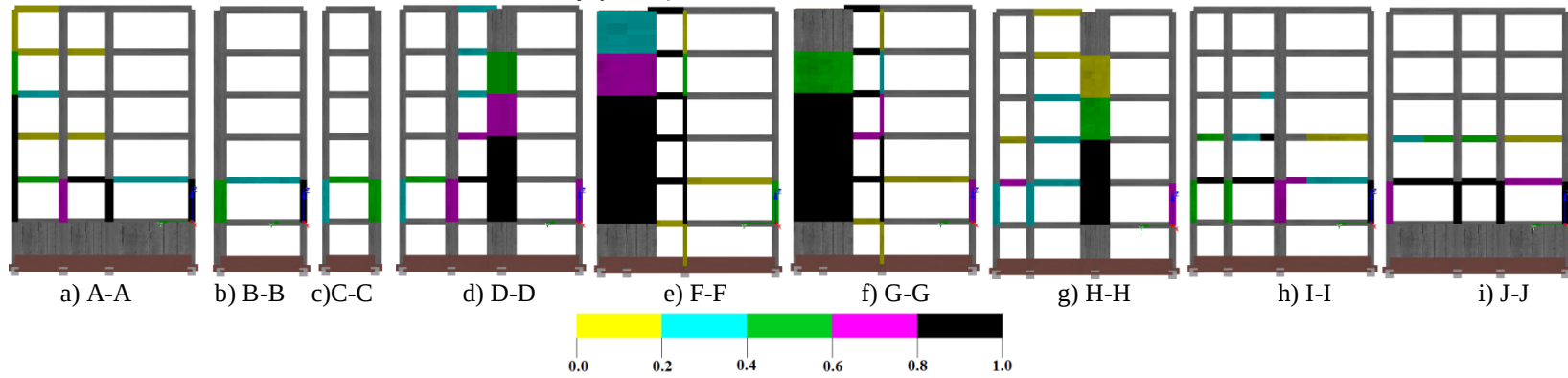
Şekil 6.44. y-yönü için Aslan otelin 6.61 s.'deki hasar durumu



Şekil 6.45. y-yönü için Aslan otelin 7.01 s.'deki hasar durumu



Şekil 6.46. y-yönü için Aslan otelin 13.54 s.'deki hasar durumu



Şekil 6.47. y-yönü için Aslan otelin 17.12 s.'deki hasar durumu

Şekil 6.42’ de görüldüğü gibi y yönünde meydana gelen ilk hasar, binanın Doğu-Batı yönündeki hareketi sonucunda 5.09 s. anında F-F aksı üzerinde bulunan zemin katın P02 perdesinde meydana gelmiştir. Hasarın miktarı %0-20 aralığında olup diğer elemanlarda herhangi bir hasar meydana gelmemiştir.

6.06 s. zaman adımına ulaşıldığında binanın Batı-Doğu yönündeki hareketi sonucunda Şekil 6.43’ da görüldüğü gibi A-A aksı üzerinde bulunan zemin katın tüm kolonlarında, B-B aksının zemin kat S19 kolonunda, D-D aksının P04 perdesinde % 0-40 aralığında değişen hasarlar oluşmuştur. F-F aksı üzerinde bulunan zemin, 1 ve 2. kat P02 perdesinde %0-60, bodrum ve 4. kat hariç diğer katların P05 perdesinde %0-80, bu iki perde arasında yer alan tüm katların (bodrum hariç) K39 kirişinde %0-40 ve zemin kat S21 kolonunda %0-20 aralığında değişen hasar miktarları oluşmuştur. G-G aksında P03 perdesi zemin katta % 80’ nin üzerinde hasar görürken 1. katta bu hasar % 20-40 aralığında kalmıştır. Aynı aks üzerinde bulunan P06 perdesi zemin katta % 60-80, 1. katta % 40-60 ve 2. katta % 20-40 aralığında hasar görürken P03 ve P06 perdeleri arasında bulunan K41 kirişinde bodrum kat hariç diğer katlarda %40’ı geçmeyen hasarlar meydana gelmiştir. H-H aksı üzerinde bulunan zemin kat P07 perdesinde meydana gelen hasar % 40-60 aralığında kalırken zemin kat S23 kolonu ile I-I aksının zemin kat S24 ve J-J aksının zemin kat S17 kolonlarında oluşan hasar miktarı % 0-20 aralığındadır.

6.61 s. zaman anında binanın Doğu-Batı yönünde hareketi sonucu mevcut hasarlarda artışlar görülürken yeni hasar bölgeleri meydana gelmiştir (Şekil 6.44). A-A aksı üzerinde bulunan zemin kat K31 kirişi ve S01 kolonunda oluşan hasar miktarı % 0-20 aralığında kalırken D-D aksında 1. kat P04 perdesinde meydana gelen hasar % 40-60, 2. kat P04 perdesi ile 2 ve 3. kat K36 kirişinde meydana gelen hasar % 0-20 aralığında oluşmuştur. G-G aksında P03 perdesi 2. katta % 20-40 aralığında hasar görürken 3. katta bulunan P03 perdesi ile H-H aksı üzerinde bulunan 1. kat P07 perdesinde % 0-20 aralığında hasar meydana gelmiştir.

7.01 s. zaman anında bina Batı-Doğu yönünde hareket etmiş ve mevcut hasarların bazılarında artışlar görülürken D-D aksı zemin kat K36 kirişi, F-F aksı 3. kat P02 perdesi, H-H aksı 2 ve 3. Kat P07 perdesi ve I-I aksında zemin katta bulunan K21 tali kirişinin saplandığı K46 kirişinde % 0-20 aralığında yeni hasar bölgeleri meydana gelmiştir.

13.54 s. zaman anına ulaşıldığında mevcut hasar miktarlarında artışlar meydana gelmiş olup hasar gören eleman sayısı da artmıştır (Şekil 6.46). A-A aksında bulunan S01 kolonunda 2, 3 ve 4. katta % 0-80 aralığında hasarlar meydana gelirken K32 kirişinde

bodrum kat hariç diğer katlarda % 60'ı geçmeyen hasarlar oluşmuştur. Ayrıca, aynı aks üzerinde bulunan 1 ve 3. kat K31 kirişinde % 0-20, zemin kat K30 kirişinde % 20-40 aralığında hasarlar görülmüştür. B-B aksında zemin kat S14 kolonu ve K33 kirişi ile C-C aksı üzerinde bulunan zemin kat S02 ve S09 kolonları ile K34 kirişinde % 60'ı geçmeyen hasarlar meydana gelmiştir. D-D aksında zemin kat S03 ve S10 kolonları ile K37 kirişinde % 20-80 aralığında hasarlar oluşurken K36 kirişinde tüm katlarda (bodrum kat hariç) % 20'nin üzerinde hasar görülmüştür. Bu zaman adımıında F-F aksı 4. kat P02 perdesinde % 20-40 aralığında hasar oluşurken P05 perdesi ile K39 kirişinde tüm katlarda hasar meydana gelmiş ve zemin kat K38 kirişinde % 40-60 aralığında hasarlar oluşmuştur. G-G aksı üzerinde bulunan K41 kirişinde tüm katlarda hasarlar oluşurken P06 perdesi bodrum katta % 0-20, 3. katta % 20-40 aralığında hasar görmüş olup zemin kat K40 kirişi ile S22 kolonunda % 80'a varan hasarlar oluşmuştur. H-H aksı üzerinde bulunan zemin katta ait tüm kolonlarda % 0-80 aralığında bulunan hasarlar meydana gelirken zemin katta K43 ve K44 kirişlerinde % 80'a varan hasarlar oluşmuştur. Aynı zamanda, 4. kat K43 kirişinde ise % 0-20 aralığında hasarlar oluşmuştur. Bu zaman adımıında I-I aksında zemin kat kolonlarının tamamında %80-100 aralığında hasarlar oluşurken K22 tali kirişinin saplandığı zemin kat K45 kirişi ile K21 tali kirişinin saplandığı 1. kat K46 kirişinde % 20-60 aralığında hasarlar oluşmuştur. Ayrıca, aynı aks üzerinde bulunan zemin kat K47 kirişinde % 80-100 aralığında hasar meydana gelmiştir. J-J aksı üzerindeki zemin kat kolonlarının tümünde % 40-80 aralığında hasar meydana gelirken zemin kat K48, K49 ve K50 kirişlerinde % 80-100 aralığında, 1. kat K49 ve K50 kirişlerinde % 40'a varan hasarlar elde edilmiştir.

17.12 s. zaman anına ulaşıldığında binanın Doğu-Batı yönündeki hareketi sonucu bazı elemanlarda mevcut hasarlarda değişim gözlenmezken yeni hasar bölgeleri meydana gelmiştir (Şekil 6.47). Bu zaman adımıında A-A aksı 1. kat K32 kirişi, D-D aksı 3. kat P04 perdesi ile G-G aksı üzerinde bulunan 4. kat P06 perdesinde % 0-60 aralığında hasarlar oluşmuştur. Ayrıca, H-H aksında bodrum kat hariç diğer katlarda K43 kirişinde % 40'a varan hasarlar meydana gelmiş olup I-I aksı 1. kat K45 kirişi ile 2. kat K46 kirişi ve J-J aksı 1. kat K48 kirişinde % 40'ı geçmeyen hasarlar meydana gelmiştir.

Şekil 6.42-6.47'de bulunan hasar durumları dikkate alınarak 23 Ekim 2011 Van depreminden sonra Aslan otelin y yönünde bulunan taşıyıcı elemanlarında meydana gelen toplam hasar oranı ve sayıları Tablo 6.5' de verilmiştir. Deprem sonrasında binada bulunan toplam 47 adet perde elemanından 29' u, 150 adet kolon elemanından 29' u ve 120 kiriş

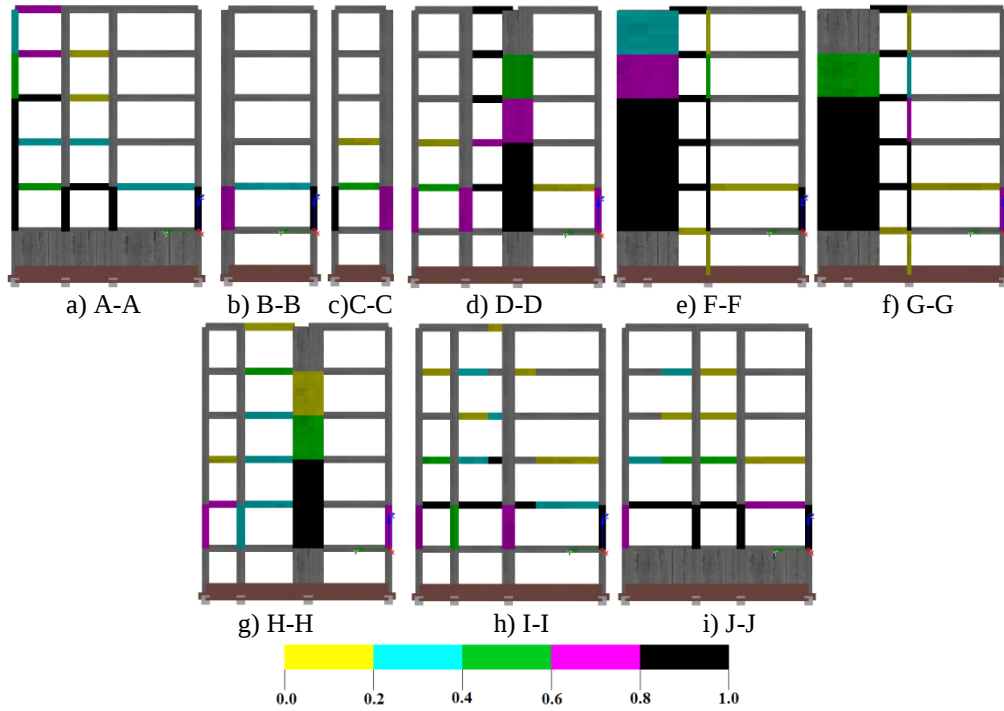
elemanından 54' ü hasar görmüştür. Tablo 6.5' de görüldüğü gibi, %80-100 (Göçme bölgesi) aralığındaki hasar bölgesinde bulunan perde elemanları için zemin kattan son kata doğru hasar gören eleman sayısında azalimler görülmektedir. Diğer hasar bölgelerinde bulunan Perde elemanları için bu durum söz konusu değildir.

Tablo 6.5. 23 Ekim 2011 Van Depremi sonrası y yönünde meydana gelen hasar durumu

		Toplam Eleman Sayısı	% 0-20	% 20-40	% 40-60	% 60-80	% 80-100	Toplam Hasar
Bodrum Kat	Perde	12	2	-	-	-	-	2
	Kolon	25	-	-	-	-	-	-
	Kiriş	15	2	-	-	-	-	2
Zemin Kat	Perde	7	-	-	-	-	6	6
	Kolon	25	-	4	5	7	9	25
	Kiriş	21	2	4	3	3	8	20
1. Kat	Perde	7	-	-	-	-	6	6
	Kolon	25	-	-	-	-	1	1
	Kiriş	21	5	3	3	2	2	15
2. Kat	Perde	7	-	-	1	2	3	6
	Kolon	25	-	-	-	-	1	1
	Kiriş	21	-	4	-	-	2	6
3. Kat	Perde	7	1	1	3	1	-	6
	Kolon	25	-	-	1	-	-	1
	Kiriş	21	3	1	-	-	2	6
4. Kat	Perde	7	2	1	-	-	-	3
	Kolon	25	1	-	-	-	-	1
	Kiriş	21	2	1	-	-	2	5
Toplam	Perde	47	5	2	4	3	15	29
	Kolon	150	1	4	6	7	11	29
	Kiriş	120	14	13	6	5	16	54

Tüm hasar gören kolonlar içerisinde %60-80 (İleri hasar bölgesi) ve %80-100 (Göçme bölgesi) hasar aralıklarında bulunan kolonlarda, zemin kattan son kata doğru hasar gören eleman sayısında azalimler görülmektedir. Diğer hasar bölgelerinde bulunan kolon elemanları için bu durum söz konusu değildir. Tüm hasar gören kirişler içerisinde % 40-60, (Orta hasar bölgesi), %60-80 (İleri hasar bölgesi) ve %80-100 (Göçme bölgesi) hasar

aralıklarında bulunan kirişlerde, zemin kattan son kata doğru hasar gören eleman sayısında azalmalar görülmektedir. Diğer hasar bölgelerinde bulunan kiriş elemanları için bu durum söz konusu değildir. Toplam hasar gören eleman sayıları dikkate alındığında tüm taşıyıcı elemanlar için zemin kattan üst kata doğru hasar gören eleman sayısında azalmaların olduğu Tablo 6.5’ den açıkça görülmektedir.



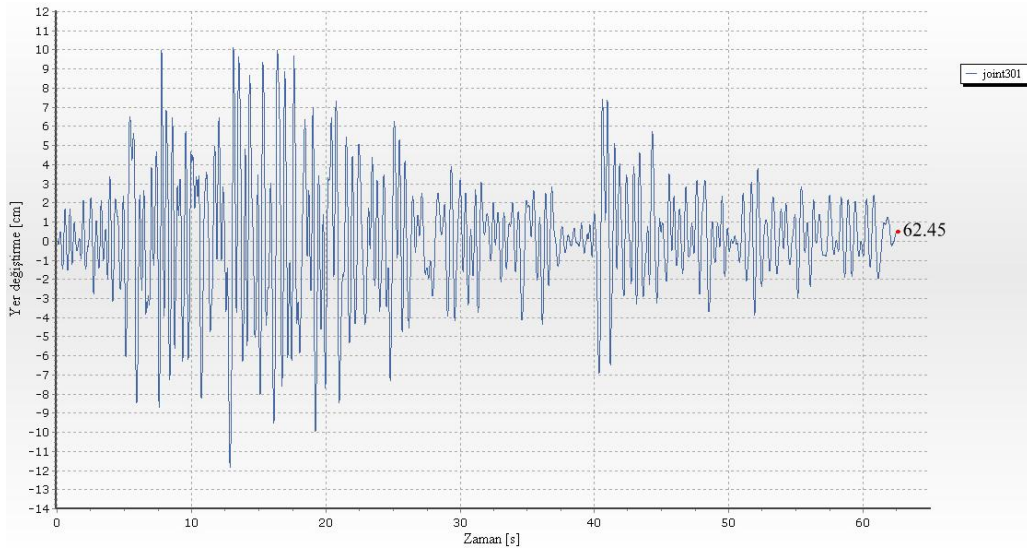
Şekil 6.48. y-yönü için Aslan otelin 41.84 s.’ deki hasar durumu

Aslan otelin 37.44 s.’ den sonraki göçme anına (41.84 s.) ait hasar durumu Şekil 6.48’ de verilmiştir. Bu anda binanın taşıyıcı elemanlarında mevcut bulunan hasar miktarlarında artışlar görülmüş olup binanın nümerik olarak iterasyonlarının sağlanmadığı belirlenmiştir. C10 beton malzemesi ve Z4 zemin sınıfı için alınan bu çözümlerde x ve y yönleri için mutlak maksimum yer değiştirmeler sırasıyla 12.17 ve 10.87 cm olarak elde edilmiştir.

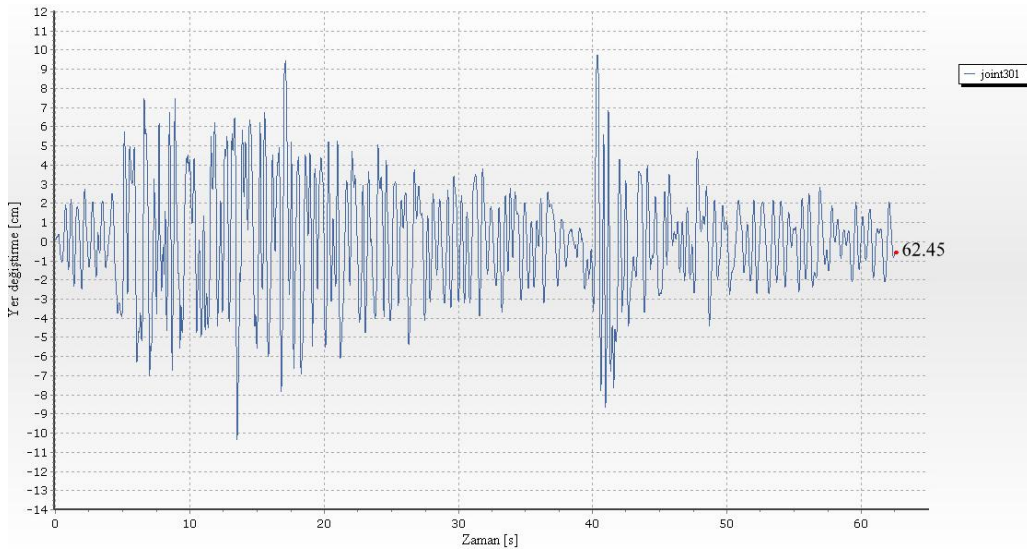
6.3.3. Aslan otelin C12 beton ve Z4 zemin sınıfı için lineer olmayan sismik analizi

Bu bölümde Aslan otelin C12 beton malzeme sınıfı ile Z4 zemini için söz konusu depremlerin etkisi altında sismik analizleri elde edilmiştir. Bu otelin 4. kat 301 nolu düğüm noktasına ait x ve y yönlerindeki yer değiştirmelerin zamanla değişim grafikleri Şekil 6.49’

da görülmektedir. Aslan otelin bu depremler etkisi altında hasar durumları Şekil 6.50 ve 6.51’ de verilmiştir. Çözümlerde söz konusu binada hasar olmasına rağmen herhangi bir nümerik problemle karşılaşılmamıştır. Şekil 6.49’ dan görüldüğü gibi Aslan otelin x ve y yönlerinde mutlak değerce en büyük yer değiştirme değerleri sırasıyla 11.84 ve 10.31 cm olarak elde edilmiştir. Bu değerler C10 beton malzemesi için x yönünde 12.17 ve y yönünde ise 10.87 cm olarak verilmiştir. Böylece C12 çözümleri C10 çözümlerine göre x yönünde % 2.8 ve y yönünde % 5.4 daha küçük yer değiştirme değerlerine sahip olduğundan Aslan otelin taşıyıcı sistemi hasar görmesine rağmen yıkılmamıştır.

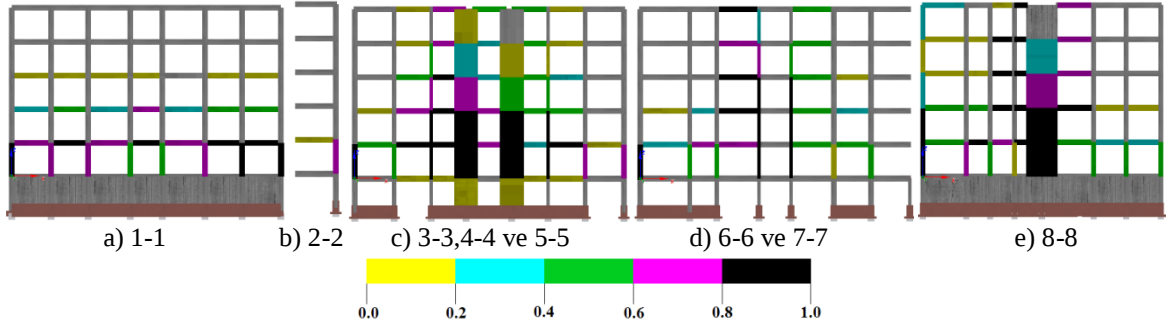


a) x yönü



b) y yönü

Şekil 6.49. C12 beton malzeme sınıfındaki Aslan otelin 301 nolu düğüm noktasının yer değiştirme-zaman grafiği



Şekil 6.50. x-yönü için Aslan otelin 62.45 s.' deki hasar durumu

Şekil 6.50' de Aslan otelin 62.45 s. anında x yönündeki akslara ait hasar durumu görülmektedir. Bu anda 1-1 aksı üzerinde zemin kata ait S18, S24 ve S25 kolonlarında %80-100; S19, S20 ve S23 kolonlarında %60-80; S21 ve S22 kolonlarında ise %40-60 aralığında hasarlar görülmüştür. Diğer katlara ait söz konusu kolonlarda herhangi bir hasar görülmemiştir. Zemin kata ait K23, K25 ve K27 kirişlerinde %60-80; K24, K26, K28 ve K29 kirişlerinde ise %80-100 aralığında hasarlar oluşmuştur. Bu kirişlerideki hasarlar 1. ve 2. katlarda daha küçük değerler sahip olmuştur. Ancak 2. kat K27 kirişi ile 3. ve 4. kat kirişlerinde herhangi bir hasar elde edilmemiştir. 2-2 aksı üzerindeki S17 kolonu %60-80 ve K22 kirişinde %20' e varan hasarlar oluşmuştur. 3-3, 4-4 ve 5-5 akslarında bulunan bodrum kata ait P05 ve P06 perdeleri ile K16, K17, K19 ve K20 kirişlerinde %20' e varan hasarlar meydana gelmiş olup diğer taşıyıcı elemanlarda herhangi bir hasar meydana gelmemiştir. 1. kata ait S13 kolonunda %80-100, S14 kolonunda %40-60 ve S15 ile S16 kolonlarında %60-80 aralığında hasarlar oluşurken diğer katlarda bulunan bu kolonlarda herhangi bir hasar oluşmamıştır. Zemin ve 1. katta bulunan P04-P07 perdelerinde %80-100 aralığında hasarlar oluşurken üst katlara doğru bu perdelerde oluşan hasar miktarının azaldığı Şekil 6.50' de görülmektedir. Aynı durum kiriş elemanları içinde geçerli olup zemin kat K16 ve K20 kirişleri ile zemin, 1. ve 2. kata ait K17 kirişinde %80-100 aralığında hasarlar oluşmuştur. 6-6 ve 7-7 aksları üzerinde bulunan S11 kolonunda %0-20, S09, S10 ve S12 kolonlarında %40-60, S08 kolonunda ise %80-100 aralığında hasarlar meydana gelmiş olup zemin kat kolonlarının tamamında hasarlar oluşmuştur. Bu akslar üzerinde bulunan zemin ve 3. kata ait K10 kirişinde %60-80 aralığında hasar görülürken 1., 2. ve 4. katta bu kiriş %80-100 aralığında hasar görmüştür. K12 kirişi bodrum kat hariç diğer katlarda %40-60 aralığında hasar görmüş olup zemin katta bulunan K08, K09 ve K13 kirişlerinde %80' e varan hasarlar oluşmuştur. Ayrıca, 1. kat K08 ve K13 kirişlerinde %20'e varan hasarlar meydana gelirken 1. kat K09 ve K13 kirişlerinde %20-60 aralığında

hasar meydana gelmiştir. Bu akslar üzerinde bulunan P02 ve P03 perdeleri 3. ve 4. katlar hariç diğer katlarda %80-100 aralığında hasar görmüş olup 3. katta P02 perdesi %60-80, P03 perdesi %40-60, 4. katta P02 perdesi %20-40 aralığında hasar görmüştür. Bu zaman anında 8-8 aksı üzerinde bulunan P01 perdesinde zemin ve 1. katta %80-100, 2. katta %60-80 ve 3. katta %20-40 aralığında hasar meydana gelmiştir. Zemin katta bulunan tüm kolonlarda hasarlar oluşurken S04 kolonunda %0-20; S03, S05, S06 ve S07 kolonlarında %40-60; S02 kolonunda %60-80 ve S01 kolonunda ise %80-100 aralığında hasarlar oluşmuştur. Diğer katlarda yalnızca S01 kolonunda hasarlar oluşurken olup diğer kolon elemanlarında her hangi bir hasar oluşmamıştır. Bu aks üzerindeki zemin ve 1. kata ait kiriş elemanlarının tamamında %100'e varan hasarlar meydana gelmiştir. Zemin kata ait, K06 ve K07 kirişlerinde %20-40; K01 ve K05 kirişlerinde %40-60; K03 kirişinde %60-80 ve K02 ile K04 kirişlerinde %80-100 aralığında hasarlar oluşmuştur. Ayrıca, 1. kat K06 ve K07 kirişlerinde %0-20, K01 ve K02 kirişlerinde %40-60, K03 ve K04 kirişlerinde ise %80-100 aralığında hasarlar meydana gelmiştir. 2. ve 3. katlarda K01 ve K02 kirişlerinde %20' e varan hasarlar oluşurken K03 ve K04 kirişlerinde %80-100 aralığında hasar oluşmuştur. K05 kirişi 2, 3 ve 4. katta %60-80, 4. kat K03 kirişinde %0-20, K01 kirişinde %20-40 ve K06 kirişinde ise %80-100 aralığında hasarlar meydana gelmiştir. Tüm taşıyıcı elemanlarda oluşan hasarlar genelde zemin kattan 4. kata doğru bir azalım göstermiştir.

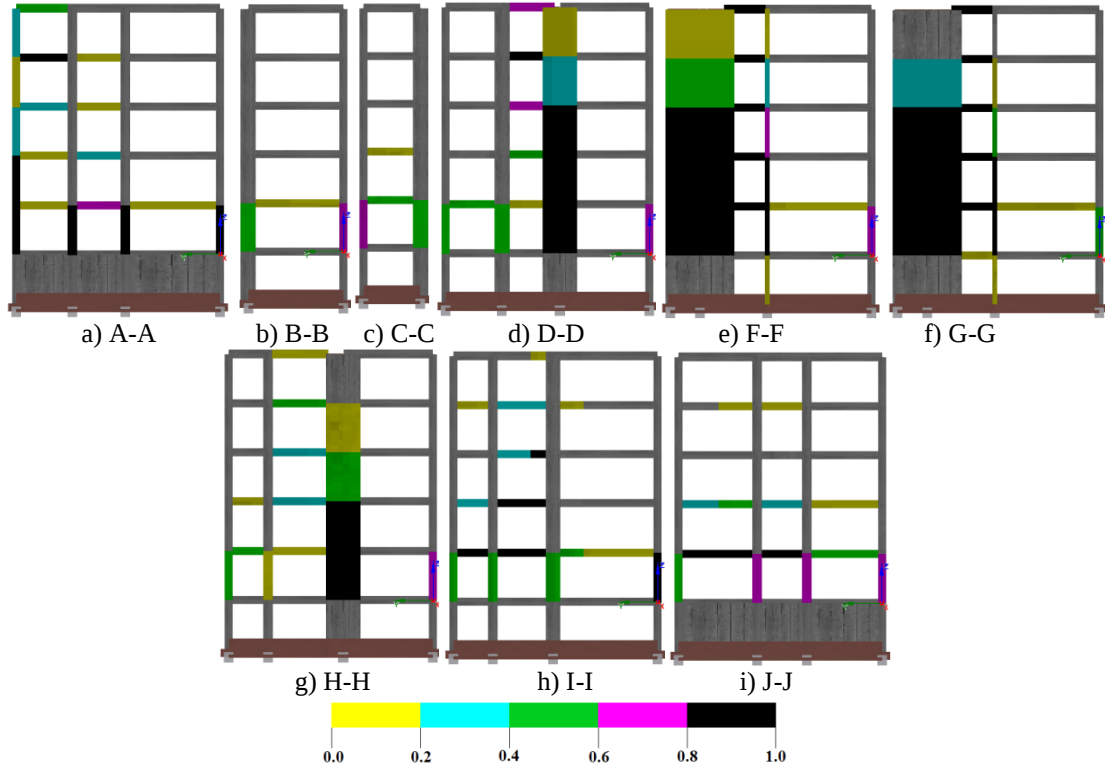
C10 (Şekil 6.40) çözümlerinin göçme anı olan 41.84 s. anı ve C12 (Şekil 6.50) çözümlerinin en son analizinden elde edilen x yönüne ait hasar durumları karşılaştırıldığında; C12 çözümleri için tüm taşıyıcı elemanlarda (kolon, kiriş ve perdeler) elde edilen hasarlar, C10 çözümlerine göre genel olarak azalım göstermiştir.

Şekil 6.51' de Aslan otelin 62.45 s. anında y yönündeki akslara ait hasar durumu görülmektedir. Bu anda A-A aksı zemin kat kolonlarının tamamında %80-100 aralığında hasar meydana gelmiş olup diğer katlarda yalnızca S01 kolonunda hasar meydana gelmiştir. Zemin ve 1. kat K32, 2. ve 3. kat K31 ile zemin kat K30 kirişlerinde %20'e varan hasarlar oluşmaktadır. Aynı zamanda, 1. kat K31 ve 2. kat K32 kirişlerinde %20-40; 4. kat K31 kirişinde %40-60; zemin kat K31 kirişinde %60-80 ve 3. kat K32 kirişinde ise %80-100 aralığında hasarlar oluşmuştur. B-B aksı üzerinde zemin katta bulunan S14 kolonunda %40-60, S19 kolonunda %60-80 aralığında ve K33 kirişinde %20' e varan hasarlar oluşurken C-C aksı üzerinde bulunan zemin kata ait S09 kolonu ile K34 kirişinde %40-60, S03 kolonunda %60-80 ve 1. kat K34 kirişinde %0-20 aralığında değişen hasarlar oluşmuştur. D-D aksı zemin kat S03, S10 ve S20 kolonlarında %80' e varan hasarlar

görmüş olup P04 perdesinde ise zemin, 1. ve 2. katlarda %80-100, 3. katta %20-60 ve 4. katta %0-20 aralığında hasar görmüştür. Bu aks üzerinde hasar gören tek kiriş K36 kirişi olup üst katlara doğru hasar miktarında genel olarak bir artım görülmektedir. F-F aksı zemin kat S21 kolonunda %80' e varan hasarlar meydana gelmiş olup diğer katlarda bu elemanda her hangi bir hasar meydana gelmemiştir. P05 perdesinde tüm katlarda hasar görürken bodrum ve 4. katta %0-20, zemin ve 1. katta %80-100, 2. katta %60-80 ve 3. katta %20-40 aralığında hasar görmüştür. Zemin kat K38 kirişinde %20' e varan hasar oluşurken K39 kirişinde bodrum kat hariç tüm katlarda %80-100 aralığında hasar oluşmuştur. G-G aksında bulunan K41 kirişinde bodrum katta %20' e varan hasar oluşurken diğer katlarda ise %80-100 aralığında meydana gelmiştir. Ayrıca, zemin kata ait K40 kirişinde %0-20 ve S22 kolonunda ise %60' a varan hasarlar meydana gelmiş olup diğer katlarda bu elemanlarda her hangi bir hasar meydana gelmemiştir. H-H aksında zemin kata ait S05, S11 ve S23 kolonlarında %80' e varan hasarlar meydana gelirken diğer katlarda bu kolon elemanlarında herhangi bir hasar meydana gelmemiştir. Zemin ve 1. kat P07 perdesinde %80-100 aralığında hasarlar meydana gelmiş olup bu hasarlar 2. katta %40-60 ve 3. katta %0-20 aralığında ortaya çıkmıştır. Bu aks üzerinde bulunan K42 ve K43 kirişlerinde %60' ı geçmeyen hasarlar oluşurken K44 kirişinde hiçbir katta hasar oluşmamıştır. I-I aksı zemin kat S06, S12 ve S15 kolonlarında %40-60 aralığında hasar oluşurken S24 kolonunda %80-100 aralığında hasarlar ortaya çıkmıştır. Ayrıca, diğer katlarda bulunan kolon elemanlarında herhangi bir hasar oluşmamıştır. K45 kirişinin bulunduğu zemin katta %60' varan 3. katta ise %20' e varan hasarlar oluşmuştur. Ayrıca, K46 kirişinde ise zemin, 1. ve 2. katta %80-100, 3. katta %20-40 ve 4. katta %0-20 aralığında hasarlar meydana elde edilmiştir. K47 kirişinde ise zemin katta %80-100, 2. katta %20-40 ve 3. katta %20' e varan hasarlar oluşmuştur. J-J aksı zemin kat S07, S16, S17 ve S25 kolonlarında %40-80 aralığında hasarlar meydana gelmiş olup diğer katlarda bulunan bu kolonlarda her hangi bir hasar meydana gelmemiştir. Bu aks üzerinde bulunan zemin kirişlerinde %40-100; 1. kat kirişlerinde %0-60, 3.kat kirişlerinde %0-20 aralığında değişen hasarlar elde edilmiştir. Bunun yanı sıra diğer kat kirişlerinde herhangi bir hasar elde edilmemiştir.

C10 (Şekil 6.48) çözümlerinin göçme anı olan 41.84 s. anı ve C12 (Şekil 6.51) çözümlerinin en son analizinden elde edilen y yönüne ait hasar durumları karşılaştırıldığında; C12 çözümleri için kolonlarda elde edilen hasarlar, C10 çözümlerine göre genel olarak azalım göstermiş olup kiriş elemanlarda yapının sismik davranışına bağlı

olarak bazı bölgelerde elde edilen hasarlarda artışlar görülürken bazı bölgelerde ise azalışlar görülmüştür. Perde elemanlarında ise genel olarak benzer hasar büyüklükleri elde edilmiştir.



Şekil 6.51. y-yönü için Aslan otelin 62.45 s.' deki hasar durumu

7. SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında, betonarme binaların doğrusal olmayan davranışları için Fibre eleman yöntemi kullanılarak 23 Ekim 2011 tarihinde meydana gelen depremde hasar görmüş ve 9 Kasım 2011 tarihindeki depremle yıkılmış bir binanın yıkılma mekanizması ve sebepleri incelenmiştir. Nümerik hesaplar yardımıyla binanın malzeme özellikleri, yerel zemin sınıfı ve zeminin sismik karakteristikleri belirlenmiştir.

Çözümlerde, son yıllarda hassaslığı test edilmiş ve gelişmiş bir yöntem olarak adlandırılan Fibre eleman yöntemi seçilmiştir. Bu amaçla SeismoStruct programı kullanılmış olup nümerik çözümlerde kullanılan beton ve çelik modellerinin teorileri tanıtılmıştır. Nümerik uygulama için Van' da yıkılan Aslan Otel' in proje verileri söz konusu programa tanıtılarak Statik İtme analizleri ile malzeme özellikleri, yerel zemin sınıfı ve sismik özellikleri belirlenmeye çalışılmıştır. Statik itme analizleri sonuçlarına göre x yönünde elde edilen sonuçlara göre yerel zemin sınıfının C6 için Z3, C8 için Z3-Z4 arası, C10 ve C12 için Z4, C14 ve üzeri beton sınıflarında ise Z4' den daha düşük dayanımlı zeminlerin olacağı anlaşılmıştır. Aynı zamanda, binanın y yönü için elde edilen statik itme analizi sonuçlarından tüm malzeme sınıflarında, elastik olmayan talep spektrum eğrisi ile idealize edilmiş modal kapasite spektrum eğrisinin çakışması için Z4 zemininden daha kötü bir zemin sınıfının olması gerektiği görülmüştür. Bu sebeplerden, Aslan otelin C8 beton malzemesi için Z3-Z4 yerel zemin sınıfına, C10 ve C12 beton malzemesi için ise Z4 yerel zemin sınıfına sahip olacağı kabul edilerek zaman tanım alanındaki (sismik) çözümler elde edilmiştir.

Aslan otelin sismik analizlerine, SeismoStruct programı yardımıyla HHT- α adım-adım integrasyon algoritması kullanılarak ulaşılmıştır. Sismik etki olarak, 23 Ekim 2011 Van depreminin ivme genlikleri ile 9 Kasım 2011 Van-Edremit depreminin ivme genliklerinin birleştirilmiş formu kullanılmıştır. Bu ivme genlik değerlerinden yalnızca 23 Ekim 2011 tarihinde meydana gelen depremin ivme genliklerinin zaman adımları 0.0078 s olduğundan bu zaman adımı 0.01 olarak düzenlenmiş ve ivme genlikleri Bölüm 5.2.1' de verilen bilgiler ışığında 1.48426 katsayısıyla arttırılmıştır. Düzenlenen bu yeni sismik veriler dikkate alınarak Aslan otelin doğrusal olmayan sismik analiz sonuçlarından elde edilen yıkılma mekanizmaları ile gerçekte belirlenen yıkılma mekanizması karşılaştırılarak Aslan otelin beton malzeme ve yerel zemin sınıfı belirlenmiştir.

C8 beton malzeme sınıfı ile Z3 ve Z4 zeminleri için yapılan sismik analiz sonuçlarında sırasıyla 7.69 ve 7.56 s. zaman anlarında iterasyonlar ıraksamış ve bu zaman anları binanın Z3 ve Z4 zemin sınıfları için göçme anı olarak kabul edilmiştir.

C10 malzeme sınıfı ve Z4 zemini için elde edilen çözümlerde bina 23 Ekim 2011 tarihinde meydana gelen depreminin sismik etkileri altında hasar görmüş ama göçmemiştir. Bu deprem sonrasında binada, x yönü için toplam 55 adet perde elemanından 33' ü, 150 adet kolon elemanından 29' u ve 160 adet kiriş elemanından 103' ü hasar görmüştür. Bununla birlikte, y yönü için ise toplam 47 adet perde elemanından 29' u, 150 adet kolon elemanından 29' u ve 120 adet kiriş elemanından 54' ü hasar görmüştür. Toplam hasar gören eleman sayıları dikkate alındığında tüm taşıyıcı elemanlar için zemin kattan üst kata doğru hasar gören eleman sayısında azalımın olduğu belirlenmiştir. Van depremi ivme kayıtlarının 37.44 s. anından sonraki ivme kayıtları 9 Kasım 2011 Van-Edremit depremi ivme kayıtlarına aittir. Bu andan sonra Aslan otelin 41.84 s. anında binanın taşıyıcı elemanlarında mevcut bulunan hasar miktarlarında artışlar görülmüş ve binanın nümerik çözümlerinde iterasyonlarının sağlanmadığı belirlenmiştir. Böylece 41.84 s. zaman anı C10 beton malzemesi ve Z4 zemin sınıfı için binanın göçme anı olarak kabul edilmiştir. Alınan bu çözümlerde x ve y yönleri için mutlak maksimum yer değiştirmeler sırasıyla 12.17 ve 10.87 cm olarak elde edilmiştir.

C12 malzeme sınıfı ve Z4 zemin türü için yapılan çözümlerde ise sismik deprem etkileri altında söz konusu binada hasarlar oluşmasına rağmen herhangi bir nümerik problemle karşılaşılmamıştır. C10 beton malzemesi için elde edilen çözümlerin göçme anı olan 41.84 s. anı ve C12 çözümlerinin en son analizinden elde edilen x yönüne ait hasar durumları karşılaştırıldığında; C12 çözümleri için tüm taşıyıcı elemanlarda (kolon, kiriş ve perdeler) elde edilen hasarlar, C10 çözümlerine göre genel olarak azalım göstermiştir. y yönüne ait hasar durumları karşılaştırıldığında ise; C12 çözümleri için kolonlarda elde edilen hasarlar, C10 çözümlerine göre genel olarak azalım göstermiş olup kiriş elemanlarda yapının sismik davranışına bağlı olarak bazı bölgelerde elde edilen hasarlarda artışlar görülürken bazı bölgelerde ise azalımlar görülmüştür. Perde elemanlarda ise genel olarak benzer hasar büyüklükleri elde edilmiştir. C12 beton malzemesi için alınan bu çözümlerde x ve y yönleri için mutlak maksimum yer değiştirmeler sırasıyla 11.84 ve 10.31 cm olarak elde edilmiştir. Böylece C12 çözümleri C10 çözümlerine göre x yönünde % 2.8 ve y yönünde % 5.4 daha küçük yer değiştirme değerlerine sahip olduğundan Aslan otelin taşıyıcı sistemi hasar görmesine rağmen yıkılmamıştır.

Bu çözümlerin ardından binanın malzeme sınıfının C10, bulunduğu zeminin Z4, kullanılan çelik sınıfının BÇ-I (S220) ve etriye oranının %20 olduğu anlaşılmıştır. C10 beton sınıfı için elde edilen çözümlerden Bodrum katta az hasarın oluştuğu görülmüş ve yıkılmaya neden olan hasarların zemin, 1. ve 2. kat taşıyıcı sistemlerinde meydana geldiği anlaşılmıştır. Böylece bu gibi gelişmiş nümerik teknikler yardımıyla mevcut binaların performans analizlerinin gerçeğe yakın bir şekilde hesaplanabildiği görülmüştür.

Tüm bunların yanı sıra, deprem gibi sismik etkiler altında otel amaçlı kullanılan binaların deprem sonrasında ayakta kalması gerekmektedir. DBYBHY-2007’ de ise bina önem katsayısı olarak tanımlanan 1.0 değerinin yeniden değerlendirilerek daha büyük bir katsayı değeri için araştırmaların yapılması gerektiği önerilmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Ahmad, S. M. and Shah, S. P. (1982). "Stress-strain curves of concrete confined by spiral reinforcement." Am. Concr. Inst. J., 79(6), 484-490.
- [2] Ahmad, S. M., and Shah, S. P. (1985). "Behavior of hoop confined concrete under high strain rates." Am. Concr. Inst. J., 82(5), 634-647.
- [3] Aydın A., "Van Depreminde Hasar Gören Mevcut Betonarme Bir Binadaki Hasarın, DBYBHY 2007' ye Göre Yapılan Performans Analiz Sonuçları ile Karşılaştırılması", Kasım 2012.
- [4] Aslan Otel Proje Paftaları, Van Büyük Şehir Belediyesi İmar Müdürlüğü.
- [5] Bahn BY and Hsu TTC (1998) "Stress-strain behavior of concrete under cyclic loading." ACI Material J., 95(2): 178-193
- [6] Basın Duyurusu, Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, AFAD, 5 Kasım 2011.
- [7] Basın Duyurusu, Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, AFAD, 12 Kasım 2011.
- [8] Bresler, B. and Bertero, V. V. (1975). "Influence of high strain rate and cyclic loading on behavior of unconfined and confined concrete in compression." Proc. 2nd Can. Conf. on Earthquake Engrg., McMaster Univ., 1-32.
- [9] Chang GA and Mander JB (1994) "Seismic Energy Based Fatigue Damage Analysis of Bridge Columns. Part I: Evaluation of Seismic Capacity." State University of New York, Buffalo, USA, Technical report NCEER-94-0006.
- [10] Potter C., (2011) "Seismic Analysis of a Typical Masonry Building from Barcelona's Eixample District" Universitat Politècnica de Catalunya
- [11] DBYBHY, (2007), "Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik" Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara
- [12] Dilger, W. H., Koch, R., and Kowalczyk, (1984). "Ductility of plain and confined concrete under different strain rates." Am. Concr. Inst. J., 81(1), 73-81.
- [13] Elwi, A. A. and Murray, D. W. (1979). "A 3D hypoelastic concrete constitutive relationship.", J. Eng. Mech. Div., ASCE, 105(4), 623-641.

- [14] Filippou, F., Popov, E. and Bertero, V. (1983), "Modeling of reinforced concrete joints under cyclic excitations", ASCE, Journal of Structural Engineering 109(11).
- [15] Filippou, F. and Issa, A. (1988), "Nonlinear analysis of reinforced concrete frames under cyclic load reversals", Technical Report UCB/EERC-88/12, Earthquake Engineering Research Center College of Engineering, University of California, Berkeley.
- [16] Hsu T.T.C. and Zhu R.R.H. (2002), "Softened Membrane Model for Reinforced Concrete Elements in Shear", ACI Structural Journal, 99(4), 460-469.
- [17] Iribarren, B.S. (2010), "Progressive Collapse Simulation of Reinforced Concrete Structures: Influence of Design and Material Parameters and Investigation of the Strain Rate Effects", Ph.D. Thesis, Polytechnic Faculty, Faculty of Applied Sciences, Bruxelles Royal Military Academy , Université Libre de.
- [18] Aka İ., Keskinel F., Çılı F ve Çelik O. C. (2001) "Betonarme, Betonarmeye Giriş, Betonarme Yapı Elemanları, Betonarme Taşıyıcı Sistemler.
- [19] Kandilli Rasathanesi, "Son Depremler", 2011, <http://www.koeri.boun.edu.tr>
- [20] Karaton. M., (2013) "Nonlinear Earthquake Analysis of Reinforced Concrete Frames with Fiber and Bernoulli-Euler Beam-Column Element", The Sci.World Jour.,
- [21] Karaton, M., (2014) "Comparisons of Elasto-Fiber and Fiber & Bernoulli-Euler reinforced concrete beam-column elements", Structural and Engineering Mechnic, 51 (1) pp.89-110
- [22] Karson, I. D., and Jirsa, J. O. (1969). "Behavior of concrete under compressive loadings." J. Struct. Engrg. Div., ASCE 95(12), 2543-2563.
- [23] Mander, J. B., Priestley, M. J. N., and Park, R. (1984). "Seismic design of bridge piers." Research Report No. 84-2, Univ. of Canterbury, New Zealand.
- [24] Mander, J. B., Priestley, M. J. N., and Park, R. (1988). "Observed stress-strain behavior of confined concrete." Struct. Engrg., ASCE, 114(8), 1827-1849.
- [25] Mansour M. and Hsu TTC. (2005) "Behavior of reinforced concrete elements under cyclic shear II: theoretical model." ASCE Journal of Structural Engineering 131(1): 54–65.

- [26] Martinez-Rueda JE, Elnashai AS. (1997). "Confined concrete model under cyclic load. Materials and Structures" 30(197): 139–147.
- [27] Mazzoni, S., McKenna, F., Scott, M. H., Fenves, G. L. and et al.: (2006) "Opensees command language manual, Technical report, The Open System for Earthquake Engineering Simulation, University of California, Berkeley."
- [28] Menegotto, M. and Pinto, P. E. (1973), "Method of analysis for cyclically loaded reinforced concrete plane frames including changes in geometry and non-elastic behavior" pp. 15–22.
- [29] Öncü M. E., (2008), "Betonarme Yapıların Deprem performanslarının Değerlendirilmesi."
- [30] Morita, S., and Kaku, T. (1975). "Cracking and deformation of reinforced concrete beams subjected to tension." Liege Colloquium Inter-Association.
- [31] Palermo D and Vecchio FJ (2003) "Compression field modeling of reinforced concrete subjected to reversed loading: formulation." ACI Structural Journal 100(5): 616–625.
- [32] Popovics, S. (1973). "A numerical approach to the complete stress-strain curves for concrete." Cement and Concr. Res., 3(5), 583-599.
- [33] Ramberg, W., and Osgood, W. R. (1943). "Description of stress-strain curves by three parameters." Technical Note No. 902, National Advisory Committee For Aeronautics, Washington DC.
- [34] Richart, F. E., Brandtzaeg, A., and Brown, R. L. (1928). "A study of the failure of concrete under combined compressive stresses." Bulletin 185, Univ. of Illinois Engineering Experimental Station, Champaign, 111.
- [35] Sakai, J. and Kawashima, K., (2006) "Unloading and Reloading Stress-Strain Model for Confined Concrete." J. Struct. Engrg., ASCE, 132(1), 112-122.
- [36] SeismoStruc Ver 6.0 ve SeismoSignal Ver 5.1.0 www.seismosoft.com.
- [37] Schickert, G., and Winkler, H. (1979). "Results of tests concerning strength and strain of concrete subjected to multiaxial compressive stresses." Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, Heft 277, Berlin, West Germany. 1823
- [38] Scott, B. D., Park, R., and Priestley, M. J. N. (1982). "Stress-strain behavior of concrete confined by overlapping hoops at low and high strain rates." Am. Concr. Inst. J., 79(1), 13-27.

- [39] Sheikh, S. A., and Uzumeri, S. M. (1980). "Strength and ductility of tied concrete columns." J. Struct. Div., A.S.C.E., 106(5), 1079-1102.
- [40] Sinha, B. P., Gerstle, K. H., and Tulin, L. G. (1964). "Stress-strain relation for concrete under cyclic loading." Am. Concr. Inst. J., 61(2), 195-211.
- [41] Takiguchi, K., et al. (1976). "Analysis of reinforced concrete sections subjected to biaxial bending moments." Trans., Architectural Institute of Japan, 250, 1-8.
- [42] Uçar T. ve Düzgün M. (2013) "Betonarme Binalar İçin Artımsal İtme Analizi Esaslı Analitik Hasargörebilirlik Eğrilerinin Oluşturulması." İMO Teknik Dergi, 6421-6446, Yazı 402.
- [43] Taucer FF, Spacone E, Filippou FC. "A fiber beam-column element for seismic response analysis of reinforced concrete structures." Report No. UCB/EERC-91/17, UC Berkeley, American, 1991.
- [44] TS500, "Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları."
- [45] United States Geological Survey, USGS, Ekim, 2011. <http://earthquake.usgs.gov>,
- [46] Vecchio F.J., Collins M.P. (1986). "The Modified Compression Field Theory for Reinforced Concrete Elements Subjected to Shear." ACI Journal, 83(2), 219-231.
- [47] Yankelevsky, D.Z. and Reinhardt, H.W., (1987). "Model for cyclic compressive behaviour of concrete, Journal of Structural Engineering," ASCE, 113, 1987, 225-240
- [48] Celep Z., Kumbasar N., (2004) "Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı",
- [49] Watstein, D. (1953). "Effect of straining rate on the compressive strength and elastic properties of concrete." Am. Concr. Inst. J., 24(8), 729-744.
- [50] William, K. J., and Warnke, E. P. (1975). "Constitutive model for the triaxial behavior of concrete." Proc, International Association for Bridge and Structural Engineering, vol. 19, 1-30.
- [51] Temur F., (2007). "Statik İtme (Pushover) Yöntemi Kullanılarak Yapıların Analizi."
- [52] Göymen S., (2012). "Binaların Sismik Risk Analizi ve Performanslarının Belirlenmesi."
- [53] AFAD, (2011). Van Depremi Raporu Aralık 2011, Deprem Dairesi Başkanlığı Ankara.

- [54] METU-EERC, 2011. “23 Ekim 2011 Mw 7.2 Van Depremi Sismik ve Yapısal Hasara İlişkin Saha Gözlemleri,” Rapor No.2011-04, Kasım 2011, Ankara.
- [55] Özvan A., Akkaya İ., Tapan M. ve Şengül M.A., 2005. “Van yerleşkesinin deprem tehlikesi ve olası bir depremin sonuçları, DepremSempozyumu,” Kocaeli
- [56] EQE-KOERI, 2011. Report of the October 23, 2011 Van, Turkey Earthquake (Mw=7.2), Kandilli Observatory and Earthquake Research Institute, Istanbul,Turkey.
- [57] Brum J. F. S., (2012) “A model for the non linear dynamic analysis of reinforced concrete and masonry framed structures” Unıversitat Politècnica De Catalunya, Department of Construction Engineering,

ÖZGEÇMİŞ

1990 yılında ELAZIĞ' da doğdum. İlk ve orta eğitimimi Kayseri' de lise eğitimimi Elazığ' da tamamladım. 2008 yılında Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği bölümünde eğitime başladım. 2012 yılında lisans eğitimimi tamamladıktan sonra aynı yıl Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Mekanik Bilim Dalında yüksek lisans eğitime başlamış olup halen eğitime devam etmekteyim.