

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**1994 NORTHRIDGE DEPREMİNDE KAYITLARI ALINMIŞ BETONARME
BİR BİNADA MODAL İTME ANALİZİ UYGULAMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Orkun GÖRGÜLÜ**

Anabilim Dalı : İnşaat Mühendisliği

Programı : Yapı Mühendisliği

OCAK 2009

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**1994 NORTHRIDGE DEPREMİNDE KAYITLARI ALINMIŞ BETONARME
BİR BİNADA MODAL İTME ANALİZİ UYGULAMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Orkun GÖRGÜLÜ
(501061099)**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 28 Aralık 2008

Tezin Savunulduğu Tarih : 22 Ocak 2009

**Tez Danışmanı : Yrd. Doç.Dr. Beyza TAŞKIN (İTÜ)
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Zeki HASGÜR (İTÜ)
Prof. Dr. Feridun ÇILI (İTÜ)**

OCAK 2009

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasında, 1994 Northridge depremi sırasında kayıtları alınmış betonarme bir binada modal itme analizi uygulaması ile performans değerlendirilmesine yönelik incelemeler yer almaktadır.

Tez çalışmam süresince, her türlü yardım destek ve özverisini esirgemeyen, bilgi ve deneyimini paylaşan değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Beyza TAŞKIN'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans tezim süresince göstermiş oldukları anlayıştan dolayı Tekfen Mühendislik Genel Müdürü Dr. Müh. Hidayet SARAÇ, Genel Müdür Yardımcısı İnş. Yük. Müh. Alparslan GÜRE ve İnş. Yük. Müh. Merih SÖZER'e teşekkürlerimi sunuyorum.

Bu günlere ulaşmamı sağlayan, maddi manevi her türlü desteği ve fedakarlığı normalin çok üstünde sağlayan aileme şükranlarımı sunarım.

Tez sürecinde göstermiş olduğu anlayış ve yardımdan dolayı hayatımın her döneminde yanımda olacağını bildiğim, Yük. Mim. Aslı ÇEKMIŞ'e teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans öğrenimim boyunca sağladıkları burstan dolayı TÜBİTAK'a teşekkür ederim.

Aralık 2008

Orkun GÖRGÜLÜ
İnşaat Müh.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

KISALTMALAR	vii
ÇİZELGE LİSTESİ	viii
ŞEKİL LİSTESİ	x
SEMBOL LİSTESİ	xii
ÖZET	xiii
SUMMARY	xv
1. GİRİŞ	1
1.1. Konu	1
1.2. Konu ile İlgili Çalışmalar	1
1.3. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	2
2. PERFORMANSA DAYALI TASARIM	3
2.1. Performansa Dayalı Tasarım Kavramı	3
2.2. ATC-40 ve FEMA-356 Standartlarının İncelenmesi	3
2.2.1. Performans seviyeleri	4
2.2.1.1. Yapısal performans seviyeleri	4
2.2.1.2. Yapısal olmayan performans seviyeleri.....	5
2.2.1.3. Bina performans seviyeleri	6
2.2.2. Deprem etkisinde binanın performansının belirlenmesinde hesap yöntemleri	7
2.2.3. Deprem hareketlerinin tanımlanması.....	7
2.3. DBYBHY'nin Performansa Dayalı Tasarım ve Güçlendirmeye Yaklaşımı	8
2.3.1. Binalardan bilgi toplanması, bilgi düzeyleri ve bilgi düzeyi katsayıları	8
2.3.2. Yapı elemanlarında hasar sınırları ve hasar bölgeleri	9
2.3.2.1. Kesit hasar sınırları ve kesit hasar bölgelerinin tanımlanması .	9
2.3.3. Deprem etkisinde binaların performansının belirlenmesi	10
2.3.3.1. Performans düzeyleri ve sağlaması gereken koşullar.....	11
2.3.4. Deprem hareketlerinin tanımlanması.....	13
2.3.5. Binalar için hedeflenen performans seviyeleri	13
2.3.6. DBYBHY'ye göre deprem etkisinde binanın performansının belirlenmesinde hesap yöntemleri.....	14
2.3.6.1. Doğrusal elastik hesap yöntemleri.....	14
2.3.6.2. Doğrusal elastik olmayan hesap yöntemleri	15
2.4. Çok Modlu İtme Analizi Yöntemleri	16
2.4.1. Gupta ve Kunnath tarafından önerilen çok modlu itme analizi.....	16
2.4.2. Antoniou vd tarafından önerilen çok modlu itme analizi.....	17
2.4.3. Türker ve İrtem tarafından önerilen çok modlu itme analizi.....	17
2.4.4. Chopra ve Goel tarafından önerilen çok modlu itme analizi	18
2.4.5. Aydınoğlu tarafından önerilen çok modlu itme analizi	19
2.5. Betonarme Elemanların Tekrarlı Yükler Altında Davranışı	20

3. PERFORMANSI BELİRLENECEK OLAN YAPININ ÖZELLİKLERİ VE ANALİZDE KULLANILACAK KARAKTERİSTİKLER	23
3.1. Modal İtme Analizi Yöntemi Kullanılarak Performansı Belirlenecek olan Van Nuys Binası (Holiday Inn Oteli) Konumu ve Özellikleri	23
3.1.1. 1994 Northridge depremi ve van nuys binasına etkisi.....	24
3.1.2. Van nuys binasından northridge depremi sırasında alınan kayıtlar	27
3.2. Tez Kapsamında Analizde Kullanılacak Program IDARC-2D.....	29
3.3. Van Nuys Binasının Analizinde Kullanılan Betonarme Histeretik Modeller	30
3.4. IDARC-2D Programında Modellenen Betonarme Elemanlar İçin Moment-Eğrilik Nuys Binası (Holiday Inn Oteli) Konumu ve Özellikleri	32
4. MODAL İTME ANALİZİ İLE YAPIN PERFORMANSININ BELİRLENMESİ.....	35
4.1. İtme Analizinde Kullanılacak Parametreler	35
4.1.1. Yapı ağırlığı ve yapı yüksekliği.....	35
4.1.2. Yapı periyodu ve kütle katılım oranları.....	35
4.1.3. Mod değerleri ve mod şekilleri.....	36
4.1.4. İtme analizinde kullanılacak kuvvet vektörleri.....	37
4.1.5. Modal itme analizi ile statik itme eğrisinin elde edilmesi	39
4.1.6. Çok modlu itme analizi ile DBYBHY'de tanımlı sınır durumlar kullanılarak yapının performansının belirlenmesi.....	40
4.1.6.1. Statik itme eğrilerinin modal kapasite eğrilerine dönüştürülmesi	41
4.1.6.2. Deprem talep eğrisinin çıkarılması	44
4.1.6.3. Spektrum eğrisinin spektral ivme spektral yerdeğiştirme eksenlerine getirilmesi	46
4.1.6.4. DBYBHY'ye göre performans noktalarının bulunması	46
4.1.6.5. Performans noktalarına göre plastik mafsallı kesitlerin belirlenmesi	50
4.1.6.6. Bulunan kesit değerlerinin mod birleştirme yöntemiyle belirlenmesi	52
4.1.6.7. Yapı performansının belirlenmesi.....	57
4.1.6.8. DBYBHY'ye göre sonuçlarının değerlendirilmesi	58
4.1.7. Çok modlu itme analizi ile FEMA-356'da tanımlı sınır durumlar kullanılarak yapının performansının belirlenmesi.....	59
4.1.7.1. FEMA-356'ya göre deprem talep eğrisi.....	60
4.1.7.2. FEMA-356'ya göre performans noktalarının bulunması	61
4.1.7.3. Hedef yerdeğiştirme hesabında kullanılacak parametrelerin tayini.....	66
4.1.7.4. Performans noktalarına göre plastik mafsallı kesitlerin belirlenmesi	68
4.1.7.5. Bulunan kesit değerlerinin mod birleştirme yöntemiyle belirlenmesi	70
4.1.7.6. Yapı performansının belirlenmesi.....	74
4.1.7.7. FEMA-356'ya göre sonuçların değerlendirilmesi	75
5. SONUÇLAR	77
KAYNAKLAR	81
ÖZGEÇMİŞ	83

KISALTMALAR

DBYBHY	: Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar hakkında Yönetmelik
ASCE	: American Society of Civil Engineers
ATC	: Applied Technology Council
ATC 40	: Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings
CG	: Can Güvenliği
FEMA 273, 356	: NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings
GÇ	: Göçme Sınırı
GÖ	: Göçmenin Önlenmesi
GV	: Güvenlik Sınırı
HK	: Hemen Kullanım
MN	: Minimum Hasar Sınırı
NEHRP	: National Earthquake Hazards Reduction Program

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1 : Yapısal performans seviye ve aralıkları	4
Çizelge 2.2 : Yapısal olmayan performans seviyeleri.....	5
Çizelge 2.3 : Bina performans seviyeleri	6
Çizelge 2.4 : Binalar İçin Bilgi Düzeyi Katsayıları	9
Çizelge 2.5 : Eleman Kesit Hasar Sınırları	10
Çizelge 2.6 : Farklı deprem düzeylerinde binalar için öngörülen minimum performans hedefleri	14
Çizelge 3.1 : IDARC-2D programında tanımlanan elemanlarda yapılan kabuller ..	29
Çizelge 3.2 : IDARC-2D programında Histeretik Parametrelerin Değişim Aralıkları	30
Çizelge 3.3 : Yapının gerçek davranışına karşı gelen en uygun parametreler	32
Çizelge 3.4 : Uygun Parametreler sonucu ulaşılan yerdeğiştirme değerlerinin yapıdan alınan gerçek veriler ile karşılaştırılması	32
Çizelge 4.1 : Yapı ağırlığı, yapı yüksekliği ve kat kütleleri	35
Çizelge 4.2 : Yapı periyodu ve etkin kütle oranları	36
Çizelge 4.3 : Yapının Normalize Edilmiş Mod Vektörleri	36
Çizelge 4.4 : İlk üç mod için kuvvet vektörleri.....	38
Çizelge 4.5 : Her Üç Mod İçin Statik İtme Eğrisini Dönüştürmede Kullanılacak Bağlıntıların Sayısal Değerleri	42
Çizelge 4.6 : Dönüştürülmüş Statik İtme Eğrilerinin ilk 10 Adımının Sayısal Değerleri.....	43
Çizelge 4.7 : Her üç mod için bulunan performans noktaları	48
Çizelge 4.8 : Performans yerdeğiştirmesi için kirişlerde dönme, eğrilik ve moment değerleri	52
Çizelge 4.9 : Kirişlere ait modal momentler	53
Çizelge 4.10 : Kirişlere ait modal eğrilikler.....	54
Çizelge 4.11 : Performans yerdeğiştirmesi için kolonlarda dönme, eğrilik, moment ve normal kuvvet değerleri	56
Çizelge 4.12 : Kolonların performans düzeyi	57
Çizelge 4.13 : Kirişlerin performans düzeyi	58
Çizelge 4.14 : BSE-1 Depremine göre tasarım depremi spektrum eğrisi değerleri ...	61
Çizelge 4.15 : FEMA-356'ya göre etkin parametreler	66
Çizelge 4.16 : Fema356 yönetmeliğine göre spektral ivmeler.....	67
Çizelge 4.17 : Fema 356 ye göre C_1 Katsayısı.....	67
Çizelge 4.18 : FEMA-356'ya göre C_3 katsayıları	68
Çizelge 4.19 : FEMA-356'ya göre hedef yerdeğiştirmeler.....	68
Çizelge 4.20 : Performans yerdeğiştirmesi için kirişlerde dönme, eğrilik ve moment değerleri	70
Çizelge 4.21 : Kirişlere ait modal momentler	71
Çizelge 4.22 : Kirişlere ait modal dönmeler	72

Çizelge 4.23 : Performans yerdeğiştirmesi için kolonlarda dönme, eğrilik, moment ve normal kuvvet değerleri	73
Çizelge 4.24 : FEMA-356'ya göre kirişlerin performans düzeyi	74
Çizelge 4.25 : FEMA-356'ya göre kolonların performans düzeyi	75
Çizelge 5.1 : DBYBHY'e göre tek ve çok modlu analizde performans noktalarının karşılaştırılması	78
Çizelge 5.2 : FEMA-356'ya göre tek ve çok modlu analizde performans noktalarının karşılaştırılması	79

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1	: Yapı elemanlarının hasar sınır ve hasar bölgeleri.....	10
Şekil 2.2	: Deprem etkisinde binanın performansının belirlenmesinde hesap yöntemleri	15
Şekil 2.3	: Yön değiştiren ve tekrarlı yükler altında çift donatılı kesitte tipik moment-eğrilik bağıntısı	20
Şekil 2.4	: Moment-Eğrilik ilişkisinin normal kuvvet ile değişimi.....	21
Şekil 3.1	: Van Nuys binası üstten görünüşü	23
Şekil 3.2	: Van Nuys binası konumu	23
Şekil 3.3	: Van Nuys binasının Northridge ve San Fernando depremi merkez üssüne uzaklıkları.....	24
Şekil 3.4	: Van Nuys binası tipik kat ve temel kazık yerleşim planı	25
Şekil 3.5	: Tipik Kiriş ve Kolon Kesitleri	26
Şekil 3.6	: Van Nuys binası kolon-kiriş birleşim bölgesi hasarları.....	26
Şekil 3.7	: Van Nuys binası D çerçevesi hasarı	27
Şekil 3.8	: İvme ölçerlerin katlarda yerleşimi	28
Şekil 3.9	: İvme ölçerlerin yapı içindeki konumu	28
Şekil 3.10	: Northridge Depremi İvme Kaydı.....	31
Şekil 3.11	: En uygun parametrelere göre üç doğrulu model ile yapıdan alınan kayıtların karşılaştırılması.....	31
Şekil 3.12	: Modellemede kullanılan parametreler	33
Şekil 3.13	: Tipik kolon moment eğrilik bağıntısı	33
Şekil 3.14	: Tipik kiriş moment eğrilik bağıntısı	34
Şekil 4.1	: Yapının ilk 7 mod şekli.....	37
Şekil 4.2	: İtme analizinde kullanılacak kuvvet vektör şekilleri	39
Şekil 4.3	: İlk üç mod için statik itme eğrileri.....	40
Şekil 4.4	: Modal yerdeğiştirme-modal ivme eğrileri	44
Şekil 4.5	: DBYYHY'ye göre spektrum katsayısının periyot ile değişimi.....	45
Şekil 4.6	: DBYYHY'ye göre elastik spektrum eğrisi.....	45
Şekil 4.7	: Dönüştürülmüş elastik spektrum eğrisi	46
Şekil 4.8	: ATC-40 da önerilen spektrum indirgeme yöntemi	47
Şekil 4.9	: Talep ve kapasite eğrilerinin kesişimi	48
Şekil 4.10	: İlk üç moda ait performans noktaları.....	49
Şekil 4.11	: Modellenen kolon ve kirişlerin numaraları.....	50
Şekil 4.12	: Modal analiz sonucu ilk iki modda oluşan plastik mafsal yerleri	51
Şekil 4.13	: FEMA-356 ya göre spektrum eğrisi bağıntıları.....	60
Şekil 4.14	: FEMA-356 spektrum eğrisi	61
Şekil 4.15	: S_s ivme değerinin bulunması	62
Şekil 4.16	: S_1 İvme değerinin bulunması.....	63
Şekil 4.17	: FEMA-356'da tanımlanan idealize edilmiş itme eğrileri	65
Şekil 4.18	: İki doğru ile idealize edilmiş itme eğrileri.....	65

Şekil 4.19	: 1.Moda ait K_i ve K_e değerleri	66
Şekil 4.20	: Yapının ilk iki moduna ait plastik mafsalsal noktaları	69
Şekil 5.1	: Yapıdan alınan kat yerdeğıştirmeleri ile DBYBHY ve FEMA-356 yönetmeliklerine göre bulunan performans noktalarına ait yerdeğıştirmelerin kıyaslanması	78

SEMBOL LİSTESİ

$A(T)$: Spektral İvme Katsayısı
A_0	: Etkin Yer İvme Katsayısı
a_i	: i'inci Moda Ait Modal İvme
C_{R1}	: Spektral Yerdeğiştirme Katsayısı
d_i	: Modal Yerdeğiştirme
$(EI)_0$: Çatlamamış Kesit Atalet Momenti
$(EI)_E$: Çatlamış Kesit Atalet Momenti
L_p	: Plastik Mafsalsal Boyu
m_i	: Kat kütlesi
M_i	: Modal Kütle
$S(T)$: Spektrum Katsayısı
S_a	: Spektral İvme
S_d	: Spektral Yerdeğiştirme
T_i	: i'inci Periyot
T_e	: Etkin Periyot
u_i	: i'inci Moda Ait Teper Yerdeğiştirmesi
V	: Taban Kesme Kuvveti
W	: Yapı Ağırlığı
θ_p	: Plastik Dönme
θ_y	: Akmaya Karşı Gelen Dönme
λ	: Düzeltme Faktörü
ρ	: Çekme Donatısı Oranı
ρ'	: Basınç Donatısı Oranı
ρ_b	: Dengeli Donatı Oranı
Φ_p	: Plastik Eğrilik
Φ_t	: Toplam Eğrilik
Φ_y	: Akma Eğriliği
w	: Frekans
Γ	: Modal Katkı Çarpanı
Φ_i	: i'inci Moda Ait Mod Şekli

1994 NORTHRIDGE DEPREMİNDE KAYITLARI ALINMIŞ BETONARME BİR BİNADA MODAL İTME ANALİZİ UYGULAMASI

ÖZET

Bu çalışmada amaçlanan, son yıllarda önem kazanan performans dayalı tasarım kavramı çerçevesinde önemli bir yer tutan statik itme analizinin çok modlu olarak 1994 Northridge depreminde kayıtları alınmış 7 katlı betonarme Van Nuys binasının performansının belirlenmesinde kullanılmasıdır.

Beş bölümden oluşan çalışmanın birinci bölümü, konunun açıklanmasına ve konu ile ilgili çalışmaların gözden geçirilmesine ayrılmış, çalışmanın amacı ve kapsamı hakkında bilgi verilmiştir.

İkinci bölümde, performans dayalı tasarım başlığı altında, ATC40, FEMA-356 ve DBYBHY'nin performans dayalı tasarım kavramına yaklaşımı irdelenmiştir. Yönetmeliklerin birbirleriyle olan benzerlik ve farklılıkları ortaya konmuş, çok modlu itme analizi ile ilgili literatürde yer alan farklı hesap yöntemleri anlatılmıştır. Ayrıca betonarme elemanların tekrarlı yükler altında davranışı ile ilgili kısa bilgilerde bu bölümde bulunmaktadır.

Üçüncü bölümde, performansı değerlendirilecek yapının özellikleri ile 1994 Northridge depremi sırasında almış olduğu hasarlar verilmiştir. Ayrıca analizde kullanılacak IDARC-2D programı ile yapının davranışına en uygun histeretik çevrimin programa tanıtılması da bu bölümde yer almıştır.

Dördüncü bölümde ise modal itme analizi ile kayıtları alınmış betonarme bir binanın performansının belirlenmesi başlığı altında DBYBHY ve FEMA356 ya göre performans değerlendirilmesi yapılmıştır. Performans değerlendirilmesinde statik itme eğrileri oluşturulmuş, ilgili yönetmeliğin öngördüğü performans belirleme yöntemleriyle yapı performansları belirlenmiş ve bulunan değerler yapının gerçek durumu ile karşılaştırılmıştır.

Beşinci bölümde ise elde edilen sonuçlar sunularak tartışılmıştır.

MODAL PUSHOVER ANALYSIS OF A REINFORCED CONCRETE INSTRUMENTED BUILDING THAT HAS DAMAGED DURING THE 1994 NORTHRIDGE EARTHQUAKE

SUMMARY

Pushover analysis, the key concept of performance based design, is performed by considering higher modes (modal pushover analysis) for a 7-story RC building structure, namely Van Nuys Building, is investigated in this study.

The study consists of five chapters. The first chapter covers the subject, scope and objectives of this study as well as the result of literature survey.

The second chapter is devoted to basic principles of ATC40, FEMA356 and TERDC about performance basic design under the title of performance basic design. Differences and similarity of codes are discussed and also researches about modal pushover analysis are given in this chapter.

In the third part of study, information on the structural details of Van Nuys Building, such as dimensions, frame systems, foundations, reinforcement schemes of columns and beams are illustrated. Locations and directions of the instrumentation of the building are exhibited. Most suitable of hysteretic model and the software IDARC-2D used during the pushover analysis are explained.

Within the fourth chapter, seismic performance evaluations according to TERDC and FEMA356 are applied on existing building. Static pushover curves are calculated and target displacements are calculated according to codes principles. Performance levels about FEMA356 and DBYBHY are compared to the recorded motions.

The fifth chapter presents the final results and the discussions of the study. The basic features of the study, the evaluation of the numerical results and possible extensions of the study are presented and discussed in this chapter.

1. GİRİŞ

1.1 Konu

Günümüzün en büyük doğal afetlerinden olan deprem her yıl onbinlerce kişinin hayatına mal olmaktadır. Bu doğal afetin diğerlerine göre çok daha büyük can kaybına neden olmasının en önemli sebebi yapılan ve yapılmakta olan depreme dayanıksız yapılardır. Malzemedeki kalitesizlik, işçilikteki özensizliğin yanında yapının boyutlandırma aşamasında değişen yönetmeliklerin de bir sonrakinin yanında yetersiz kalması nedeniyle ömrü 40-50 yıl olan yapıların deprem sırasında büyük hasarlar alması kaçınılmazdır. Bu sebeple mevcut yapıların incelenip deprem sırasında nasıl bir davranış gösterecekleri son yıllardaki en önemli araştırma konusudur. Bu amaçla depremin yapı üzerindeki etkisini en gerçekçi şekilde verebilecek analiz metodlarını bulmak yapının öngörülen deprem altında performansını bir başka ifadeyle deprem sonrası yapıdaki hasarı belirlememizi sağlayacaktır. Böylelikle yapının deprem felaketi yaşanmadan önce güçlendirilmesi veya tamamen yıkılarak can güvenliğinin korunması amaçlanmaktadır. Bu amaçla geleneksel kuvvete bağlı tasarımın yerine olası depremde hasar durumunu daha gerçekçi olarak veren performansa dayalı tasarım ve değerlendirme kavramı önem kazanmış ve inceleme konusu olmuştur.

1.2 Konu İle İlgili Çalışmalar

Yerdeğiştirmeye göre tasarım kavramı olası bir deprem altında yapının performansının bulunmasını sağlamaktadır. Bu amaçla mevcut yapıların meydana gelecek deprem altında davranışının performans dayalı değerlendirilmesi Amerika Birleşik Devletlerinde yapılan çalışmalar sonucu ortaya konmuş ve geliştirilmiştir. İlk olarak Applied Technology Council (ATC) tarafından Guidelines and Commentary for Seismic Rehabilitation of Buildings–ATC 40 ve Federal Emergency Management Agency (FEMA) tarafından NEHRP Guidelines for the Seismic

Rehabilitation of Buildings–FEMA-273, FEMA-356 ön standartları yayınlanmıştır. Bu ön standartların sonuçlarını irdelemek amacıyla da ATC55 ve FEMA-450 standartları hazırlanmıştır.

Ülkemizde de performansa dayalı tasarım ve değerlendirme kavramı Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY) Bölüm7 'de mevcut binaların değerlendirilmesi ve güçlendirilmesi başlığı altında yer almaktadır.

1.3 Çalışmanın Amacı Ve Kapsamı

Performansa dayalı tasarım kavramının yaygınlaşmasıyla onun temel aracı olan doğrusal olmayan statik itme analizi de önem kazanmıştır. Bu amaçla yapının birinci modunu veya buna benzer yük şekilleri ile orantılı olan yatay yük dağılımlarının monoton olarak artırılmasını esas alan statik itme analizi çok yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yöntemin en büyük sakıncası söz konusu dinamik davranışın yalnızca tek bir yük dağılımı ile ele alınmasıdır. Yapılan çalışmalar sonucu düzensiz ve çok katlı yapılarda statik itme analizinin tek bir yük dağılımı ile ele alınmasının, yapının performansını belirlemede yetersiz kaldığı görülmüştür (FEMA-440, 2004).

Bu çalışmanın amacı; 1994 Northridge depreminde kayıtları alınmış mevcut betonarme bir binada yüksek modların da etkisini göz önüne alarak yapının DBYBHY ve FEMA-356' ya göre performansının belirlenip gerçek durum ile kıyaslanmasıdır. Çalışmada izlenen yol aşağıdaki adımlardan oluşmaktadır

- a) ATC-40 ve FEMA-356 standartları ile DBYBHY'nin performansa dayalı tasarıma yaklaşımının anlatılması,
- b) Mevcut yapının ve karakteristiklerinin tanıtılması,
- c) Yapının DBYBHY'E göre performansının bulunması
- d) Yapının FEMA-356'ya göre performansının bulunması
- e) Çalışmada varılan sonuçların açıklanması

2. PERFORMANSA DAYALI TASARIM

2.1 Performansa Dayalı Tasarım Kavramı

Performansa dayalı tasarım, yapı ve deprem mühendisliğinde yeni gelişen bir kavram olmakla birlikte aslında günümüz klasik tasarım kavramının daha ileri düzeyde uygulanmasından ibarettir. Yönetmeliklerin öngördüğü klasik tasarım kavramı, şiddeti az olan depremleri yapının hasarsız atlatması, orta şiddetli depremlerde yapıda onarılabilecek hasar oluşması ile şiddetli depremlerde yapıda toptan göçmeyi önleyerek can güvenliği sağlamaktır. Performansa dayalı tasarımda ise bahsedilen tasarım ilkeleri korunarak yeni yaklaşımlar ilave edilmiştir.

Performansa dayalı tasarımın ortaya çıkış şekli mevcut yapı stoğunun deprem güvenliğinin değerlendirilmesi esasına dayanır. Daha sonraları bu yöntemin yeni yapıların tasarımlarında da uygulanabileceği ortaya çıkmıştır. Bu yöntem ile yeni yapılan yapılarda istenilen performans hedefine uygun tasarım yapılacağı gibi istenirse birden çok performans hedefi de belirlenebilmektedir. Günümüzde hızla gelişmekte olan performans dayalı tasarım kavramında, birbirine benzer iki yaklaşım olan ATC-40 ve FEMA-356 standartları mevcuttur. Performansa dayalı tasarım Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY) Bölüm-7 de mevcut binaların değerlendirilmesi ve güçlendirilmesi başlığı altında kullanılmaya başlanmıştır. ATC-40 ve FEMA-356 standartları birlikte incelenecek daha sonra ise DBYBHY'nin ilgili bölümünün konuyla ilgili içerik ve yöntemleri ele alınacaktır.

2.2 ATC-40 ve FEMA-356 Standartlarının İncelenmesi

Sözü edilen standartlarda deprem sonrasında yapıda meydana gelecek hasar durumlarına göre taşıyıcı olan ve olmayan elemanlarda hasar sınırları tanımlanmıştır. Hasar sınırlarına göre irdelenen elemanların hasar bölgeleri belirlenmek suretiyle

bina performans seviyeleri belirlenmektedir. Bu performans seviyeleri, değişik şiddetli depremlere karşı gelecek şekilde hesaplanır ise, sonuçta ilgili deprem etkisinde yapısal performans belirlenmiş olur. ATC-40 standardı yalnızca betonarme binaların doğrusal olmayan analizini kapsamakla birlikte FEMA-356 standardı ayırım yapmaksızın bütün bina türlerinin doğrusal olan ve olmayan analizlerini içermektedir.

2.2.1 Performans seviyeleri

Depremden sonra binanın taşıyıcı olan ve olmayan elemanlarında ortaya çıkan hasar durumları, can güvenliği kontrolü ile yapının kullanılabilirlik durumu performans seviyesi olarak tanımlanabilir.

- Bir yapıda yapısal performans seviyesi taşıyıcı olan elemanların hasar durumlarından oluşmaktadır.
- Yapısal olmayan performans seviyesi ise taşıyıcı olmayan elemanlarda meydana gelen hasar seviyeleri ile ölçülmektedir.
- Yapının toplam performansı ise yapısal olan ve olmayan performans seviyelerinin bileşkelerinden oluşmaktadır.

2.2.1.1 Yapısal performans seviyeleri

Taşıyıcı sistemde meydana gelen yapısal performans seviyeleri Çizelge 2.1’de verilen başlıklar altında toplanmıştır.

Çizelge 2.1: Yapısal performans seviye ve aralıkları

Kod	Performans Seviyesi	Performans Aralığı
S-1	Hemen Kullanım	
S-2		Hasar Kontrollü
S-3	Can Güvenliği	
S-4		Sınırlı Güvenlik
S-5	Göçmenin Önlenmesi	
S-6	Performansın göz önüne alınmadığı durum	

Hemen kullanım performans seviyesi: Taşıyıcı sistemin bütün taşıyıcılık özellikleri depremden sonrada korunmuştur. Yapıda herhangi bir rijitlik, dayanım ve süneklik kaybı olmamıştır.

Hasar kontrolü performans aralığı: Depremden sonra iki sınır durum hemen kullanım ile can güvenliği arasında kalan hasarlar bu performans aralığında yer alır.

Can güvenliği performans seviyesi: Hemen kullanım performans seviyesinin aksine yapının taşıyıcı elemanlarında hasarlar meydana gelmiştir. Ancak yapıda toptan yada kısmi bir göçme söz konusu değildir. Yani yapısal hasar nedeniyle can kaybı yoktur.

Sınırlı güvenlik performans aralığı: Bu güvenlik performans seviyesinde can güvenliği tam olarak sağlanamasa bile bundan bir sonra ki performans seviyesi olan göçmenin önlenmesi seviyesinden daha yüksek bir koruma sağlar.

Göçmenin önlenmesi performans seviyesi: Yapıda deprem sonrası ağır hasar meydana gelmiştir. Yapıda dayanım ve rijitlikte önemli azalmalar olmuştur. Bina düşey yükleri karşılayabilmesine karşın artçı depremlerde yapıda yıkılma meydana gelebilir. Güçlendirme ekonomik olarak elverişli değildir. Sonuç olarak yeni yapıların tasarımda bu seviye en şiddetli depreme karşı gelen seviye olarak kullanılmalıdır; aksi takdirde mühendislik anlamında yapı tasarımı gerçekleştirilmemiş olur.

2.2.1.2 Yapısal olmayan performans seviyeleri

Yapıda deprem etkisi sonucu taşıyıcı olmayan elemanlarda meydana gelen hasar durumları yapısal olmayan performans seviyelerinin kapsamına girer. Yapısal olmayan hasar durumları aşağıdaki başlıklar altında toplanmıştır (Çizelge 2.2) .

Çizelge 2.2: Yapısal olmayan performans seviyeleri

Kod	Performans Seviyesi
N-A	Kullanıma Devam
N-B	Hemen Kullanım
N-C	Can Güvenliği
N-D	Azaltılmış Hasar
N-E	Göçmenin Önlenmesi

Kullanıma devam: Yapının taşıyıcı olmayan elemanlarında ve yapı içerisinde bulunan makinelerde hasar oluşmaz.

Hemen kullanım: Depremden sonra taşıyıcı olmayan elemanlarda ve ekipmanlarda hasar oluşabilir ancak bu hasarlar ufak müdahalelerle düzeltilebilecek düzeydedir.

Can güvenliği: Yapıda taşıyıcı olmayan elemanlarda ve makinelerde hasarlar meydana gelebilir ve bu hasarlar hemen düzeltilebilecek bir yapıda olmayabilir. Can kaybına neden olabilecek hasar ve yaralanmalar çok azdır.

Azaltılmış hasar: Yapıda çoğu yerde taşıyıcı olmayan sistemlerin hasar alması söz konusudur. Deprem sonrası yapıda bu tür hasarların yaygın olmasına karşın ağır cephe panel kaplaması veya asma tavanın göçmesi gibi büyük can kayıplarına neden olacak hasarlar meydana gelmez.

2.2.1.3 Bina performans seviyeleri

Bina performans seviyesi yapıda taşıyıcı olan ve olmayan elemanların performans seviyelerinin bileşkesi olarak tanımlanır, (Çizelge 2.3).

Çizelge 2.3: Bina performans seviyeleri

Yapısal Olmayan Performans Seviyeleri	Yapısal Performans Seviyeleri				
	S-1	S-2	S-3	S-4	S-5
N-A	1-A	2-A			
N-B	1-B	2-B	3-B		
N-C	1-C	2-C	3-C	4-C	5-C
N-D		2-D	3-D	4-D	5-D
N-E			3-E	4-E	5-E

Artan Performans ↑

→ Artan Performans

(1-A) Kullanıma devam performans seviyesi: Yapının taşıyıcı olan ve olmayan elemanlarındaki hasar yok denecek kadar azdır. Depremden hemen sonra yapı kullanıma hazırdır.

(1-B) Hemen kullanım performans seviyesi: Yapının taşıyıcı olan elemanları neredeyse hasarsızdır. Taşıyıcı olmayan elemanlarda az da olsa hasar oluşabilir fakat can kaybı hatta yaralanma riski oldukça düşüktür.

(3-C) Can güvenliği performans seviyesi: Yapısal olan ve olmayan elemanlarda hasarlar oluşabilir. Yapıda stabilite kaybolabilir. Oluşan hasarlar yapıda onarımı zorunlu kılabilir. Ancak can kaybı söz konusu değildir.

(5-E) Yapısal stabilite performans seviyesi: Yapının stabilite anlamında dayanımı kalmamıştır. Yapı ancak düşey yükleri taşıyabilmekte, artçı sarsıntılara muhtemelen dayanamayacak hale gelmektedir. Bu performans seviyesinde amaçlanan yapının toptan göçmesi önlenerek can kaybının oluşmamasını sağlamaktır.

Bina performans seviyelerinde Tablo2.3'de taranmış bölgeler kullanılması önerilmeyen bölgelerdir. Bu bölgeler hem ekonomik hem de performans açısından yapının boyutlandırılmasına hiç uygun değildir. Tablodan da görüleceği üzere performansın artmasıyla yapının maliyeti de artmaktadır. Bu bağlamda çok güvenli tarafta boyutlandırma yaparak, aslında ekonomiden çokça uzaklaştığımızı görürüz. Bu durum karşımıza beklenen depremin büyüklüğüne bağlı olarak yapıda birden çok performans seviyesi uygulayabileceğimizi çıkarır. Ancak bu şekilde yapılar hem ekonomik olarak, hem de istenen performansa göre boyutlandırılabilirler.

2.2.2 Deprem etkisinde binanın performansının belirlenmesinde hesap yöntemleri

ATC ve FEMA standartlarında yapının deprem anında performansının bir başka ifadeyle yapısal olan ve olmayan elemanlarındaki hasar durumlarının bulunması başlıca iki yöntemle belirlenir. Bunlar doğrusal elastik hesap yöntemleri ile doğrusal olmayan hesap yöntemleridir. Yöntemlerin uygulanması ile ilgili olarak bina türlerine göre kısıtlamalar mevcuttur. İleride bu yöntemlerin bazılarında değinilecektir.

2.2.3 Deprem hareketlerinin tanımlanması

Yapıda depremin şiddetine göre istenilen performans seviyesinin seçilmesi gerekir. Bu bağlamda FEMA-356 ve ATC-40 da çeşitli deprem hareketleri tanımlanmıştır.

Bu tanımlamalar depremin 50 yıllık ekonomik ömründe aşılma olasılığı veya benzer depremlerin dönüş periyodu ile ifade edilirler. Bu deprem hareketlerine karşı istenilen performans seviyeleri seçilebilir.

Örneğin maksimum depremde yapıda can güvenliği performans seviyesi, kullanım depreminde ise aynı yapıda kullanıma devam performans seviyesinin seçilmesi ekonomik ve mühendisçe bir yaklaşımdır. Sözü edilen depremler aşağıda tanımlanmıştır.

Kullanım Depremi: 50 yılda aşılma olasılığı %50 olan depremdir. Dönüş periyodu 72 yıldır. Yapı ömrü boyunca bu depremle en az bir kere karşılaşacaktır.

Tasarım Depremi: 50 yılda aşılma olasılığı % 10 olan depremdir. Dönüş periyodu 475 yıldır. Etkisi kullanım depreminin 2 katıdır. Yapının ömrü boyunca bu depremle karşılaşma olasılığı oldukça zayıftır. (FEMA-356 da BSE-1 olarak tanımlanmıştır)

Maksimum Deprem: FEMA-356 da 50 yılda aşılma olasılığı %2 ve dönüş periyodu 2475 yıl olan BSE-2 adlı deprem olarak tanımlanmıştır. Etkisi kullanım depreminin 2,5~3 , tasarım depreminin 1,25~1,5 katıdır.

2.3 DBYBHY'nin (2007) Performansa Dayalı Tasarım ve Güçlendirmeye Yaklaşımı

2007 yılında yürürlüğe giren DBYBHY ile mevcut yapıların güçlendirilmesi ile değerlendirilmesinde uygulanacak kurallar, ilkeler ve tasarım esasları Bölüm-7 de verilmiştir. Aşağıdaki anlatılacak esaslardan DBYBY'nin ATC-40 ve FEMA-356 standartlarına benzer şekilde konuya yaklaştığı anlaşılacaktır. Burada ilk olarak TDY07 Bölüm-7 deki tanımlamalar yapılacak daha sonra hesap esasları incelenecektir.

2.3.1 Binalardan bilgi toplanması, bilgi düzeyleri ve bilgi düzeyi katsayıları

Mevcut binaların deprem performansının belirlenmesi amacıyla ilgili binalardan malzeme özellikleri, eleman enkesit özellikleri, proje bilgileri çeşitli gözlemler ve ilgili standartlardan yararlanılarak alınır. Bu bilgiler ışığında binalardan toplanan

verilerin kapsam ve güvenilirliği doğrultusunda üç bilgi düzeyi ve bu bilgi düzeylerine karşı gelen katsayılar tanımlanmıştır (Çizelge 2.4).

Çizelge 2.4: Binalar İçin Bilgi Düzeyi Katsayıları

Bilgi Düzeyi	Bilgi Düzeyi Katsayısı
Sınırlı	0.75
Orta	0.90
Kapsamlı	1.00

DBYBHY'de betonarme ve çelik binalar için elde edilen bilgilerin hangi düzeyde olacağı ayrıntılı olarak açıklanmıştır. Elde edilen bilgi düzeyi katsayıları taşıyıcı elemanların kapasitelerinin hesabında kullanılacaktır.

2.3.2 Yapı elemanlarında hasar sınırları ve hasar bölgeleri

DBYBHY'de hasar sınırlarının belirlenmesinde, yapı elemanları sünek ve gevrek olmak üzere iki farklı sınıfta incelenmiştir. Burada sözü edilen sünek ve gevrek kavramı elemanların kapasitelerine hangi tür kırılma ile ulaştığı ile ilgilidir. Kesit hasar sınırları yalnızca sünek davranış ile kapasitelerine ulaşan elemanlar için tanımlanmıştır. Bunun nedeni gevrek davranış ile kapasitelerine ulaşan elemanların elastik ötesi davranış yapmasına izin verilmeyecek olmasıdır. Bir başka ifade ile gevrek davranış gösteren elemanlar yalnızca aşağıda tanımlanan minimum hasar bölgesinde yer alabilir.

2.3.2.1 Kesit hasar sınırları ve kesit hasar bölgelerinin tanımlanması

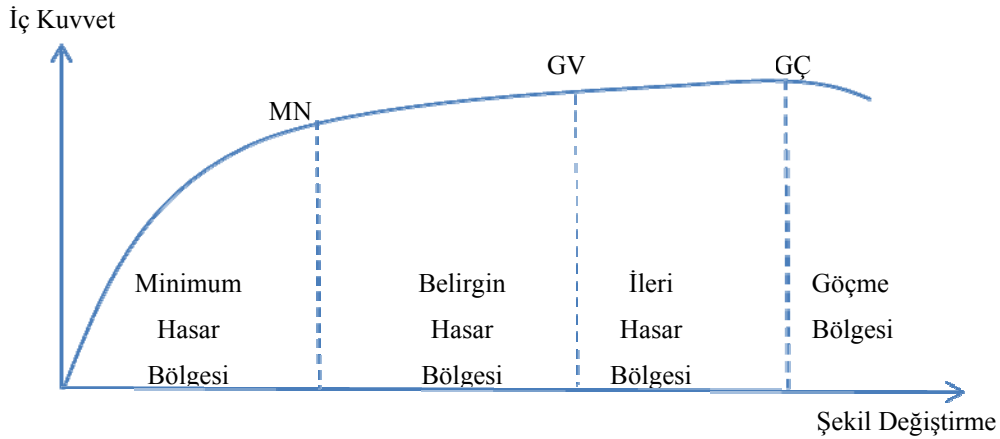
DBYBHY'de tanımlanan doğrusal elastik hesap yöntemleri veya doğrusal elastik olmayan yöntemlerden biri ile hesaplanan iç kuvvet ve/veya yer değiştirmelerin, aşağıda tanımlanan hasar sınır durumlarına karşı gelen sayısal değerler ile karşılaştırılması ile kesitteki hasarın hangi hasar bölgesine denk geldiği belirlenecektir (Çizelge 2.5).

Çizelge 2.5: Eleman Kesit Hasar Sınırları

	Beton Basınç Birim Şekil Değişirmesi	Donatı çeliği Birim Şekil Değişirmesi
Kesit Minimum Hasar Sınırı	0.0035	0.010
Kesit Güvenlik Sınırı	$0.0035+0.01(\rho_s/\rho_{sm})\leq 0.0135$	0.040
Kesit Göçme Sınırı	$0.004+0.014(\rho_s/\rho_{sm})\leq 0.0180$	0.060

Burada minimum hasar sınırı kesitte elastik ötesi davranışın başlangıcı olarak tanımlanmıştır ve kesit bu hasar sınırından sonra elastik ötesi davranış yapacaktır. Güvenlik sınırı kesitin dayanımını elastik ötesi davranışla sağlayabileceği sınırı göstermektedir. Göçme sınırı ise kesitte göçme öncesi davranışı tanımlamaktadır.

Kesit hasar bölgeleri ise kesitte oluşan hasara göre dört farklı alan olarak tanımlanmıştır. Kesitteki hasarın MN'ye kadar olduğu bölge Minimum Hasar Bölgesi, hasarın MN ile GV arasında kaldığı bölge Belirgin Hasar Bölgesi, hasarın GV ile GÇ arasında kalan bölge İleri Hasar Bölgesi ve son olarak hasarın GÇ'yi aştığı bölge Göçme Bölgesi olarak tanımlanır (Şekil 2.1). Eleman hasarları ise, elemanın en fazla hasar gören kesitine göre belirlenecektir.



Şekil 2.1: Yapı elemanlarının hasar sınır ve hasar bölgeleri

2.3.3 Deprem etkisinde binaların performansının belirlenmesi

ATC-40 ve FEMA-356'ya benzer şekilde DBYBHY'de de deprem etkisiyle binalarda oluşan hasarlara göre dört farklı hasar durumu esas alınarak tanımlanmıştır. Yukarıda tanımlandığı şekilde kesit hasar durumundan yola çıkılarak eleman hasar bölgelerinin karar verilmesi ile bina performans düzeyleri belirlenir. Daha önce

belirtildiği gibi, ATC-40 ve FEMA-356 da bina performansları taşıyıcı olan ve olmayan elemanlardan elde edilen performansların bileşimi olarak tanımlanmaktadır. DBYBHY'de ise binanın performansının tanımında taşıyıcı olan elemanların deprem etkisindeki performansları ile güçlendirilen dolgu duvarlarının görelî kat ötelemelerinin değerleri dikkate alınmıştır. Aşağıda bu performans seviyelerinin stabilite, ekonomik ve güvenlik başlıkları altında tanımları açıklanmış ve sağlamaları gereken koşullar belirtilmiştir

2.3.3.1 Performansların düzeyleri ve sağlaması gereken koşullar

- a) Hemen kullanım performans seviyesi: Binada deprem etkileri altında yapısal elemanlarda oluşan hasarlar minimum hasar düzeyindedir. Taşıyıcı elemanlarda stabilite ve dayanım korunmaktadır. Yapısal olmayan elemanlarda hasarlar oluşabilir fakat bunlar hemen ekonomik şekilde onarılıp işletmeye devam edilebilir. Bu performans seviyesinin FEMA-356 standartında belirtilen 1-B hasar durumuna karşılık geldiği söylenebilir.

Deprem etkisindeki binada, herhangi bir kat ve uygulanan deprem doğrultusu için yapılan hesap sonucunda;

- Kirişlerin en fazla %10'u belirgin hasar bölgesinde,
- Diğer taşıyıcı elemanların tümü minimum hasar bölgesinde,
- Varsa gevrek olarak hasar gören binaların güçlendirilmesi şartıyla,

binanın Hemen Kullanım Performans düzeyindedir.

- b) Can güvenliği performans düzeyi: Binada deprem etkileri altında taşıyıcı elemanların bir kısmında hasar oluşabilir, ancak stabilite ve dayanımın önemli bir bölümü korunmaktadır. Taşıyıcı olmayan elemanlarda hasar meydana gelmiştir ancak bunlarda can güvenliğini tehdit edecek boyutta değildir. Bu performans seviyesinin FEMA-356 standartında belirtilen 3-C hasar durumuna karşılık geldiği söylenebilir. Binanın güçlendirilmesi gerekebilir ancak ekonomik güçlendirme olup olmadığı binanın hasarlı eleman sayısına bağlıdır. Deprem etkisindeki binada, herhangi bir kat ve uygulanan deprem doğrultusu için yapılan hesap sonucunda;

- İkincil kirişler hariç olmak üzere kirişlerin en fazla %30'u ileri hasar bölgesinde,
- İleri hasar bölgesindeki kolonların, tüm kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetine katkısı %20'nin altında olması,
- Yalnız en üst kattaki kolonlarda kesme kuvvetine katkısının %40'nın altında olması,
- Diğer taşıyıcı elemanlarının tümünün minimum hasar bölgesi veya belirgin hasar bölgesinde olması,
- Herhangi bir katta alt ve üst kesitlerinin ikisinde birden minimum hasar sınırı aşılmış olan kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetlerinin o kattaki tüm kolonların taşıdığı kesme kuvvetine oranının %30'unun altında olması
- Yalnız üst kattaki ileri hasar bölgesindeki kolonlara gelen kesme kuvvetleri toplamının, o kattaki diğer kolonlara oranı %40 olması,
- Varsa gevrek olarak hasar gören binaların güçlendirilmesi şartıyla,

bina Can Güvenliği Performans Düzeyi'nde olduğu kabul edilir.

c) Göçme öncesi performans seviyesi: Binada deprem etkileri altında taşıyıcı olan ve olmayan elemanlarda hasarlar meydana gelebilir. Stabilitate ve dayanımda önemli kayıplar söz konusudur. Yapı düşey yükler altında ancak güvenlidir. Bina can güvenliği bakımında sakıncalıdır ve mutlak güçlendirilmelidir. Ekonomik olarak güçlendirme pek mümkün değildir. Bu performans seviyesinin FEMA-356 standartında belirtilen 5-E hasar durumuna karşılık geldiği söylenebilir.

Deprem etkisindeki binada, herhangi bir kat ve uygulanan deprem doğrultusu için yapılan hesap sonucunda;

- İkincil kirişler hariç olmak üzere kirişlerin %20'si göçme bölgesinde,
- Diğer taşıyıcı elemanların tümünün minimum hasar bölgesi, belirgin hasar bölgesi ve ileri hasar bölgesinde olması,

- Herhangi bir katta alt ve üst kesitlerinin ikisinde birden minimum hasar sınırı aşılmış olan kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetlerinin o kattaki tüm kolonların taşıdığı kesme kuvvetine oranının %30'unun altında olması
- Varsa gevrek olarak hasar gören binaların güçlendirilmesi şartıyla,

bina Göçme Öncesi Performans Düzeyin'nde olacağı kabul edilecektir.

d) Göçme durumu : Bina göçme öncesi performans seviyesini sağlamıyorsa göçme durumundadır ve binanın kullanılması can güvenliği bakımından sakıncalıdır.

2.3.4 Deprem hareketlerinin tanımlanması

FEMA-356 ve ATC-40 standartlarında benzer olarak DBYBHYde de deprem hareketleri dönüş periyodu ve aşılma olasılıklarına bağlı olarak üç farklı deprem hareketi tanımlanmıştır. Bu deprem hareketlerine bağlı olarak sözü edilen standartlara benzer olarak farklı depremlerde farklı performans seviyeleri seçilebilir.

- Kullanım (Servis) Depremi: 50 yılda aşılma olasılığı %50, dönüş periyodu 72 yıldır. Etkisi tasarım depreminin yarısı kadardır.
- Tasarım Depremi: 50 yılda aşılma olasılığı %10, dönüş periyodu 475 yıldır. Bu deprem yeni yapılacak binalar için esas alınan DBYBHY'de de esas alınan depremdir.
- En Büyük Deprem: 50 yılda aşılma olasılığı %2, dönüş periyodu 2475 yıldır. Etkisi tasarım depreminin 1.5 katı kadardır.

2.3.5 Binalar için hedeflenen performans düzeyleri

Yukarıda tanımlanan deprem hareketleri ve öngörülen minimum performans hedefleri ışığında, mevcut veya yeni yapılacak binaların performanslarının belirlenmesi aşağıdaki tabloda verilmiştir. Burada yapıda birden çok deprem hareketi altında birden çok performans hedefi belirlenebilir (Çizelge 2.6) .

Çizelge 2.6: Farklı deprem düzeylerinde binalar için öngörülen minimum performans hedefleri

Binanın Kullanım Amacı ve Türü	Deprem Aşılma Olasılığı		
	%50	%10	%2
Deprem Sonrası Kullanılması Gereken Binalar (Hastaneler, haberleşme enerji tesisleri vb.)	-	Hemen Kullanım	Can Güvenliği
İnsanların Uzun Süreli ve Yoğun Olarak Bulunduğu Binalar (Okullar, yatakhaneler, yurtlar vb.)	-	Hemen Kullanım	Can Güvenliği
İnsanların Kısa Süreli ve Yoğun Olarak Bulunduğu Binalar (Sinemalar, Tiyatrolar, spor merkezleri vb.)	Hemen Kullanım	Can Güvenliği	-
Tehlikeli Madde İçeren Binalar (Tehlikeli madde içeren depolar vb.)	-	Hemen Kullanım	Göçme Öncesi
Diğer Binalar (Konutlar, işyerleri, oteller vb.)	-	Can Güvenliği	-

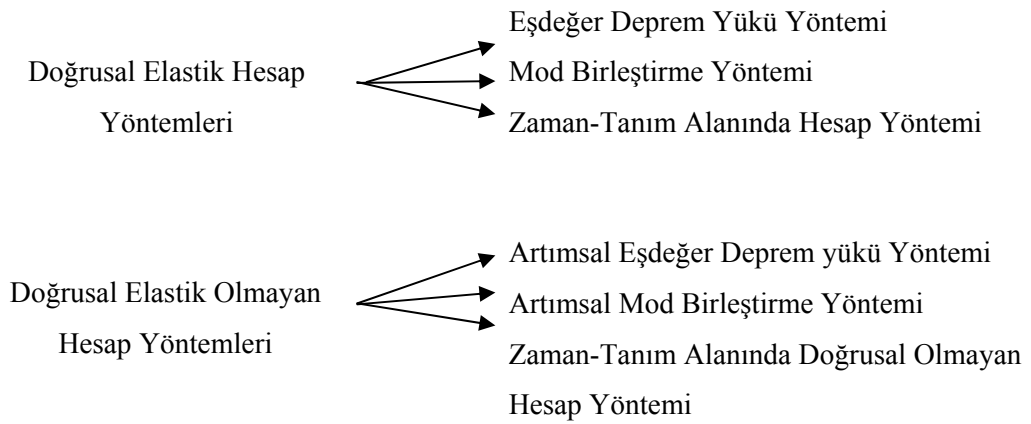
2.3.6 DBYBHY 'ye göre deprem etkisinde binanın performansının belirlenmesinde hesap yöntemleri

DBYBHY'ye göre binaların performansının belirlenmesi amacıyla tanımlanan hesap yöntemleri Şekil 2.2 de gösterilmiştir. Her yöntemin ortak ilkeler ile özel hesap esasları, kuralları ve kabulleri kendi konu başlığı altında DBYBHY'de belirtilmiştir. Tanımlanan hesap yöntemlerinden doğrusal elastik hesap yöntemi ile doğrusal elastik olmayan hesap yöntemlerinde zaman tanım alanında hesap yöntemi ile artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi bu tez kapsamı dışındadır. Artımsal mod birleştirme yöntemi diğer adıyla modal itme analizi bu tezin araştırma konusu olup ayrıntılı incelenecektir. Aşağıdaki konu başlıklarında doğrusal olan ve doğrusal olmayan hesap yöntemlerinin kısa özeti verilecek, daha sonra mod birleştirme yöntemi ayrıntılı olarak açıklanacaktır.

2.3.6.1 Doğrusal elastik hesap yöntemleri

Doğrusal elastik hesap yöntemlerinin çok kısa özeti şu şekilde yapılabilir: Eşdeğer deprem yükü yönteminde hakim mod (1.mod), mod birleştirme yönteminde ise birden fazla mod göz önüne alınarak hesap yapılır. Eşdeğer deprem yükü yönteminde azaltılmamış deprem yükü ($R_a=1$) statik etki olarak yüklenirken mod birleştirme yönteminde ise spektrum eğrisinin azaltılmaması şeklinde hesap yapılarak yapıda

kesit ve elemanlarının dayanımları esas alınır. Bu şekilde yapıda deprem etkisiyle oluşan iç kuvvetler hesaplanır. Mevcut malzeme dayanımları (katsayılarla azaltılmamış dayanımlar) kullanılarak kesitlerin eğilme momenti ve normal kuvvet kapasiteleri hesaplanır. Düşey yükler bu kapasite değerlerinden çıkarılarak artık kapasite (deprem etkisinin karşılanmasına yarayan kapasite) bulunur. Deprem etkisindeki değerler artık kapasitelere oranlanarak "r" katsayıları hesap edilir. Bu katsayılar TDY07 de verilen tablolardaki değerlerle karşılaştırılarak kesitin bulunduğu hasar bölgesi belirlenir. Kesitlerin hasar durumlarından eleman hasar durumlarına ve sonuç olarak taşıyıcı sistemin performans durumuna geçilir. Bu hesaplamaların yanında görelî kat ötemelerinin de sınırları kontrol edilir. Sonuç olarak yapı için bulunan performansın istenen düzeyde olup olmadığı belirlenir.



Şekil 2.2: Deprem etkisinde binanın performansının belirlenmesinde hesap yöntemleri

2.3.6.2 Doğrusal elastik olmayan hesap yöntemleri

Doğrusal elastik olmayan hesap yöntemleri DBYBHY’de 3 farklı hesap yöntemiyle ele alınmıştır. Bu yöntemlerden Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yönteminde yapının yerdeğiştirme isteminin (performans noktasının) bulunması esasına dayanır. Performans noktası belirlendikten sonra yapı bu noktaya kadar 1.Mod (hakim periyot) ile orantılı olarak yatay deprem yüğü dağılımı ile itilir. Yapı yerdeğiştirme istemine ulaştığında, oluşan şekil değiştirmelere bağılı olarak yapının performans seviyesi belirlenmiş olur.

Zaman tanım alanında doğrusal elastik olmayan yöntem de yapının kabul edilen bir deprem hareketi altında çözümünü yapar. Bu çözüm sonucunda sistemin bütün şekil değiştirmeleri zamana bağlı olarak bulunarak performans seviyesi belirlenir.

Zaman tanım alanında çözüm yöntemi diğer yöntemlere göre daha kapsamlı bir yöntem olmasına karşın yapılan kabullerin çokluğu ve yöntemin pratik olmaması nedeniyle çok fazla tercih edilmemektedir. Ayrıca seçilen kayıtların birden çok olması ve deprem yönetmeliğinde verilen spektrum kaydına yeter derecede yakın olması dikkat edilmesi gereken hususlardır (Celep, 2007). Tek modlu itme analizinin yanında yapıda birden çok modu göz önüne alan itme analizi yöntemleri de mevcuttur. Bunlardan Nuray Aydınlioğlu (2003) tarafından literatüre kazandırılan artımsal spektrum analiz (ARSA) yöntemi, yönetmeliğimizde artımsal mod birleştirme yöntemi olarak yer almaktadır.

2.4 Çok Modlu İtme Analizi Yöntemleri

Yüksek modların itme analizinde kullanılmasında literatürde birden çok analiz yöntemi mevcuttur. Bu bağlamda Gupta ve Kunnath (2000), Chopra ve Goel (2001), Antoniou vd (2002), Aydınlioğlu (2003) tarafından önerilen yöntemlerin hepsi yüksek modların etkisini göz önüne almaktadır. Bu noktada belirtmek gerekir ki bu yöntemlerin hepsi birbirinden farklı sonuçlar vermekte ve kabullere dayanmaktadır. Bu nedenle çok modlu itme analizinin tek modlu statik itme analizine nazaran standart bir hesabı bulunmamakta araştırmalar devam etmektedir. Bu tez kapsamında Chopra ve Goel tarafından önerilen yöntem kullanılacak olup aşağıdaki konu başlıklarında sözü edilen yöntemler ana hatlarıyla açıklanmıştır.

2.4.1 Gupta ve Kunnath tarafından önerilen çok modlu itme analizi

Gupta ve Kunnath tarafından önerilen yöntem kısaca şu şekilde özetlenebilir. Plastikleşmeden ve çatlamalardan dolayı sistemin rijitlik matrisinde meydana gelen değişimler göz önüne alınarak klasik spektrum analizine göre itme analizi yapılır. Bu amaçla yapının plastikleşmeden sonraki rijitlik matrisine göre periyodu, yerdeğiştirmeler vb. parametreleri bulunur. Bulunan parametrelere göre ilgili mod şekline uygun klasik spektrum analizi yapılarak katlara gelen kuvvetler hesap edilir. Her mod şekline uygun olarak hesap edilen kuvvetler altında sistemin itme analizi

yapılır. Bu analiz sonucu ortaya çıkan parametreler, uygun bir birleştirme yöntemiyle birleştirilerek sistemin plastik mafsalsal, çatlama vb parametreleri bulunur. Bir sonraki adımda sistem bulunan bu bilgiler ışığında tekrar analiz edilerek sistemin mod şekilleri, yerdeğiştirmeleri bulunur. Bu şekilde geleneksel spektrum analizinin artımsal şekilde uygulanmasıyla sistemin itme eğrisi oluşturulur. Sistemin her adımında rijtlik matrisi dolayısıyla mod şekli ve etkileyen kuvvetler değiştiği için yöntem ilgili adıma göre uyarlanır (adaptive) (Türker, 2007).

2.4.2 Antoniou vd Tarafından önerilen çok modlu itme analizi

Antonio vd tarafından önerilen yöntemde sistemin modal analizi yapılarak karşı gelen mod şekilleri belirlenir. Her mod için ilgili katılım oranları ve mod şekillerine göre kat kuvvetleri belirlenir. Her mod için bulunan kat kuvvetleri tam karesel (CQC) ya da kareleri toplamının karekökü (SRSS) kullanılarak birleştirilir. Bulunan değerler λ ile tanımlanan yük faktörü ile artırılarak yeni yükler bulunur. Bulunan bu yükler altında birinci adıma dönülerek tekrar itme analizi yapılır. Her adımda yük ve mod şekli değiştiği için yöntem ilgili adıma göre uyarlanır (adaptive) (Antoniou, 2002).

2.4.3 Türker ve İrttem tarafından önerilen çok modlu itme analizi

Bu yöntemde temel olarak Gupta ve Kunnath tarafından önerilen geleneksel davranış spektrumunu analizinin artımsal olarak uygulanmasından ibarettir. Bu yöntemi diğer yöntemden ayıran fark ise, herhangi bir adımdaki modal yüklerin belirlenmesinde yeni bir yaklaşım uygulanmış olmasıdır. Bu yaklaşımda herhangi bir adımdaki modal yüklerin hesabında bir önceki adımın modal yükleri etkin rol oynamaktadır. Her adımda plastik mafsalsal oluşumu hesapta gözönüne alındığı için yöntem ilgili adıma göre uyarlanır (adaptive). Bu yöntemin ana adımları aşağıda verilmiştir (Türker, 2007).

- Moment eğrilik bağıntıları basit eğilme etkisinde elemanlarda iki doğru parçalı olarak doğrusallaştırılırken, kolon gibi aksenal kuvvetin etkin olduğu elemanlarda yeter derecede doğru parçalarıyla akma yüzeyleri elde edilir.
- Sistemde düşey yük analizi yapılır.

- Modal analiz yapılarak mod şekilleri belirlenir. Bu mod şekillerine göre yatay yük dağılımları $F_{ij}^k = F_{ij}^{k-1} + (\Gamma_j^k \Phi_{ij}^k m_i S a_{ij}^k)$ ifadesi ile belirlenir. Burada F_{ij}^{k-1} , k yük artırımını j nolu modda i nolu kata etkiyen yükü göstermektedir. Γ modal katkı çarpanını, Φ mod şeklini, m ilgili kat kütlelerini Sa ise ilgili elastik spektrum eğrisinden alınan T doğal periyotuna bağlı spektral ivmeyi göstermektedir.
- Her bir modal yük dağılımını sisteme etkiltilerek modal davranış büyüklükleri R_j bulunur. Bu büyüklükler uygun bir mod birleştirme kuralı ile birleştirilerek birim yük artımı için davranış büyüklükleri ΔR_j belirlenir.
- Plastikleşen kesitler belirlenir ve ΔP_{min} en küçük yük artımı çarpanı bulunur. Bulunan bu değer kullanılarak $R^k = R^{k-1} + \Delta P_{min} \Delta R_C^k$ formülü ile R^k davranış büyüklükleri hesaplanır.
- Sistem rijitlik matrisi oluşan plastikleşmeler göz önüne alınarak yeniden düzenlenerek sistemde bir sonraki itme adımına geçilir.

2.4.4 Chopra ve Goel tarafından önerilen yöntem çok modlu itme analizi

Chopra ve Goel tarafından önerilen modal itme analizinde sistem her mod şekline uygun olacak biçimde itme analizine tabi tutulur. Bu şekilde her moda ait statik itme diyagramları elde edilir. Bu diyagramlar iki doğrulu hale getirilip deplasman katsayıları yöntemi veya kapasite spektrumu yöntemiyle her moda ait performans noktası bulunmuş olur. Her mod için bulunan performans noktasına göre yapılan analiz sonucu bulunan değerler uygun bir mod birleştirme yöntemiyle birleştirilerek sistemin plastik mafsalları, çatlama vb. parametreleri elde edilir. Her adımda rijitlik matrisi aynı kaldığı yani oluşan plastik mafsallardan bağımsız analiz yapıldığı için yöntem ilgili adıma göre uyarlanmaz (adaptive değil). Bu yöntem çalışmanın sayısal uygulamalarında kullanılacak olup uygulama adımları aşağıda verilmiştir.

- Sistemin doğal periyot ve mod şekilleri bulunur.
- Mod şekillerine bağlı olarak her mod için $s_n = m \Phi_n$ yüklemesi yapılarak taban kesme kuvveti-yerdeğiştirme grafikleri elde edilir. Sabit yükler yalnızca

1.mod için dikkate alınır, daha yüksek modlar için dikkate alınmaz. $P-\Delta$ etkileri genellikle itme analizinde negatif eğim oluşturur.

- İtme eğrisi iki doğrulu hale getirilir.
- İki doğrulu itme eğrisi spektral ivme – spektral yerdeğiştirme haline dönüştürülür.
- Her mod için performans noktaları belirlenir.
- Spektral yerdeğiştirme cinsinden bulunan yerdeğiştirmeler, elastik yerdeğiştirmelere dönüştürülür.
- Dönüştürülen yerdeğiştirmelere göre sistem tekrar itme analizine tabi tutularak plastik mafsalları, yerdeğiştirmeler vb. parametreler bulunur.
- Bulunan parametreler uygun bir mod birleştirme tekniği kullanılarak modal değerler elde edilir.
- Modal değerlere göre sistemde oluşan plastik mafsallar belirlenir. Bu mafsallardaki dönmelere göre kesit hasar durumları; buna bağlı olarakta yapı hasar durumu belirlenir.

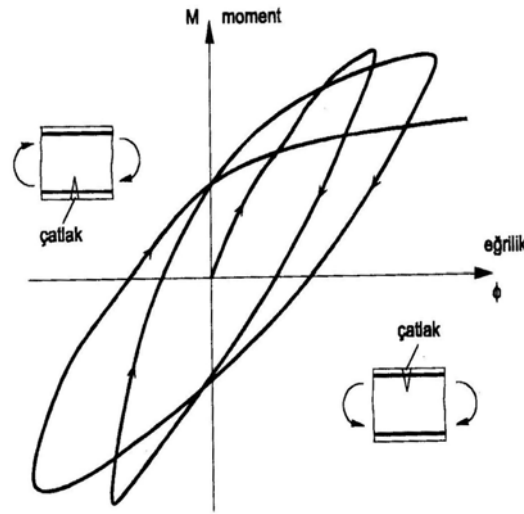
2.4.5 Aydınoğlu tarafından önerilen çok modlu itme analizi

Artımsal mod birleştirme adı altında DBYBHY de yer alan artımsal spektrum analizi (ARSA) yöntemi plastik mafsalları oluşumları arasındaki itme adımında doğrusal davranış gösteren sistemde mod birleştirme kuralının kullanılmasını yani spektrum analizinin artımsal olarak uygulanmasını öngörmektedir. [6] Tanım gereği plastik mafsalları oluşumlarını göz önüne alarak serbest titreşim yani mod analizi yaptığı için yöntem ilgili adıma göre uyarlanır (adaptive). Yöntemin pratik versiyonunda yönetmeliklerde tanımlanan elastik davranış spektrumu ele alınmaktadır. Bu noktada yönetmelikte geçerli olan eşit yerdeğiştirme kuralından faydalanılır. Sistemin ilk birkaç modu spektrum karakteristik periyotundan daha uzun olacağı için eşit yerdeğiştirme kuralı gereğince elastik spektral yerdeğiştirme plastik spektral yerdeğiştirmeye eşit olacaktır. Sistemin yüksek periyotlarında ise yöntem pratiklik açısından doğrusal olmayan spektral yerdeğiştirmeyi doğrusal spektral

yerdeğiştirmeye eşit olarak almıştır. Özet olarak yöntem modal ölçeklendirme ile monotonik olarak artırılan modal yerdeğiştirmeler gözönüne alınarak, her adımda mod birleştirme kuralının uygulandığı bir doğrusal davranış spektrumu analizidir (DBYBHY,2007)

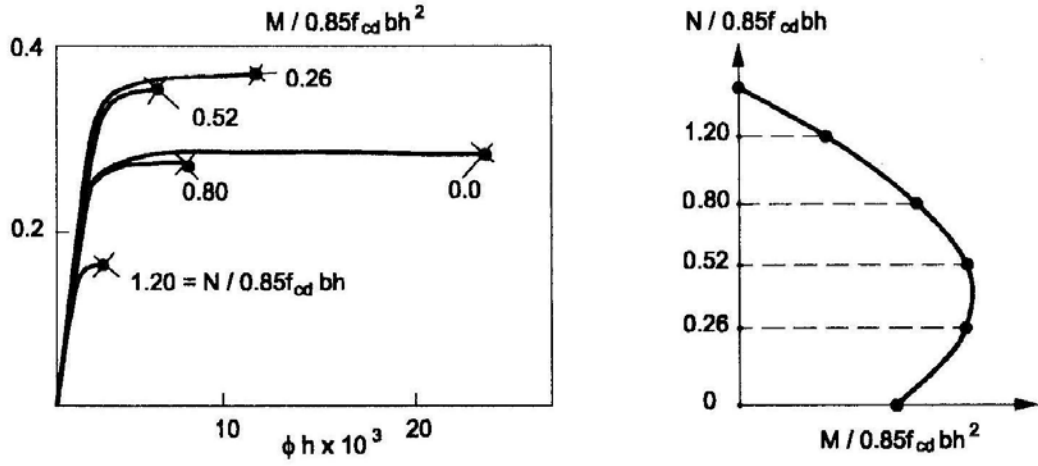
2.5 Betonarme Elemanların Tekrarlı Yükler Altında Davranışı

Yön değiştiren yükleme altında betonarme bir kesitte şekil 2.3'deki gibi bir çevrimsel döngü meydana gelmektedir. Döngüde çevrim sayısının artmasıyla moment dayanımının bir miktar azalması kaçınılmazdır. Bunun yanında çevrim sayısı artmakta ve bu çevrim içinde kalan alan yani diğer bir ifadeyle süneklik artmaktadır. Süneklik arttıkça yapının elastik ötesi şekil değiştirme yapabilme kapasitesi artmaktadır. Böylelikle tekrarlı yüklemekten dolayı oluşan enerji tüketilmekte, yapının güç tükenme durumuna karşı gelen şekil değiştirme kapasitesi artmaktadır. Sonuç olarak yapının yönetmeliklerde öngörülen performans seviyesi artmaktadır.



Şekil 2.3: Yön değiştiren ve tekrarlı yükler altında çift donatılı kesitte tipik moment-eğrilik bağıntısı

Çevrimsel döngüye etki eden etmenlerin başında normal kuvvet etkisi gelmektedir. Eğilme momenti ile birlikte yüksek normal kuvvetin etkimesi halinde kesitte çevrimler daha dar olarak meydana gelmekte dolayısıyla süneklik azalmakta ve yapının performans noktası düşmektedir (Şekil.2.3).



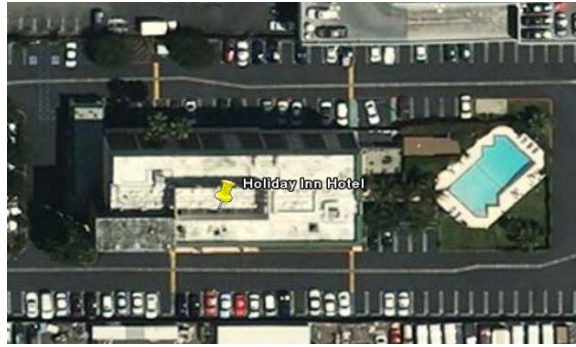
Şekil 2.4: Moment-Eğrilik ilişkisinin normal kuvvet ile değişimi

Perde gibi yüksek eğilme momenti kapasitesine sahip elemanlarda donatı düzeni moment eğrilik eğrisini etkilemektedir. Perde kesitinde donatının uçlarda toplanmasıyla güç tükenme durumuna karşı gelen eğrilik artırılabilir. Bu suretle yapıda süneklik artmış dolayısıyla performans noktası yükselmiş olur. Şekil 2.4 de kesitteki normal kuvvet ile moment eğrilik ilişkisi verilmiştir. Buna göre normal kuvvet arttıkça kesitin sünekliği azalmaktadır.

3. PERFORMANSI BELİRLENECEK OLAN YAPININ ÖZELLİKLERİ VE ANALİZDE KULLANILACAK KARAKTERİSTİKLER

3.1 Modal İtme Analizi Yöntemi Kullanılarak Performansı Belirlenecek olan Van Nuys Binası (Holiday Inn Oteli) Konumu ve Özellikler

34°13'12.83" K-118°28'17.02" B koordinatlarında bulunan Van Nuys binası Amerika Birleşik Devletleri'nin California eyaletinde bulunuyor olup, 1966 yılında inşa edilmiş ve 1.3 milyon dolara mal olmuştur (Şekil 3.1 ve Şekil 3.2). Bina Rissman ve Rissman Associates tarafından Los Angeles Şehri Bina Yönetmeliğine göre 1964 yılında tasarlanmıştır.



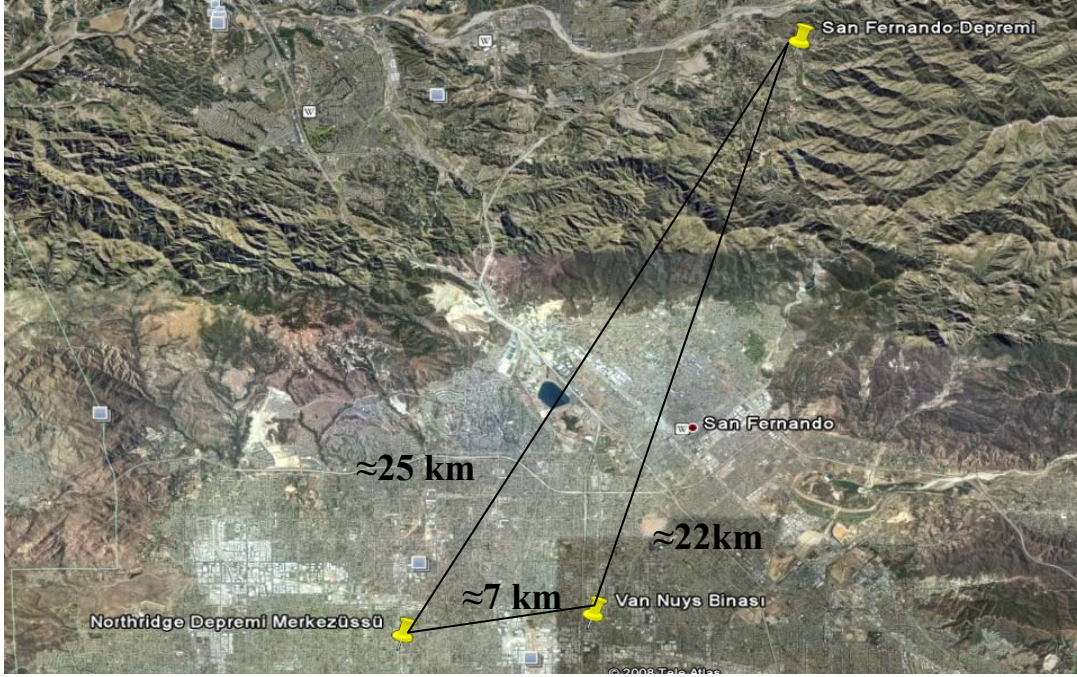
Şekil 3.1: Van Nuys binası üstten görünüşü



Şekil 3.2: Van Nuys binası konumu

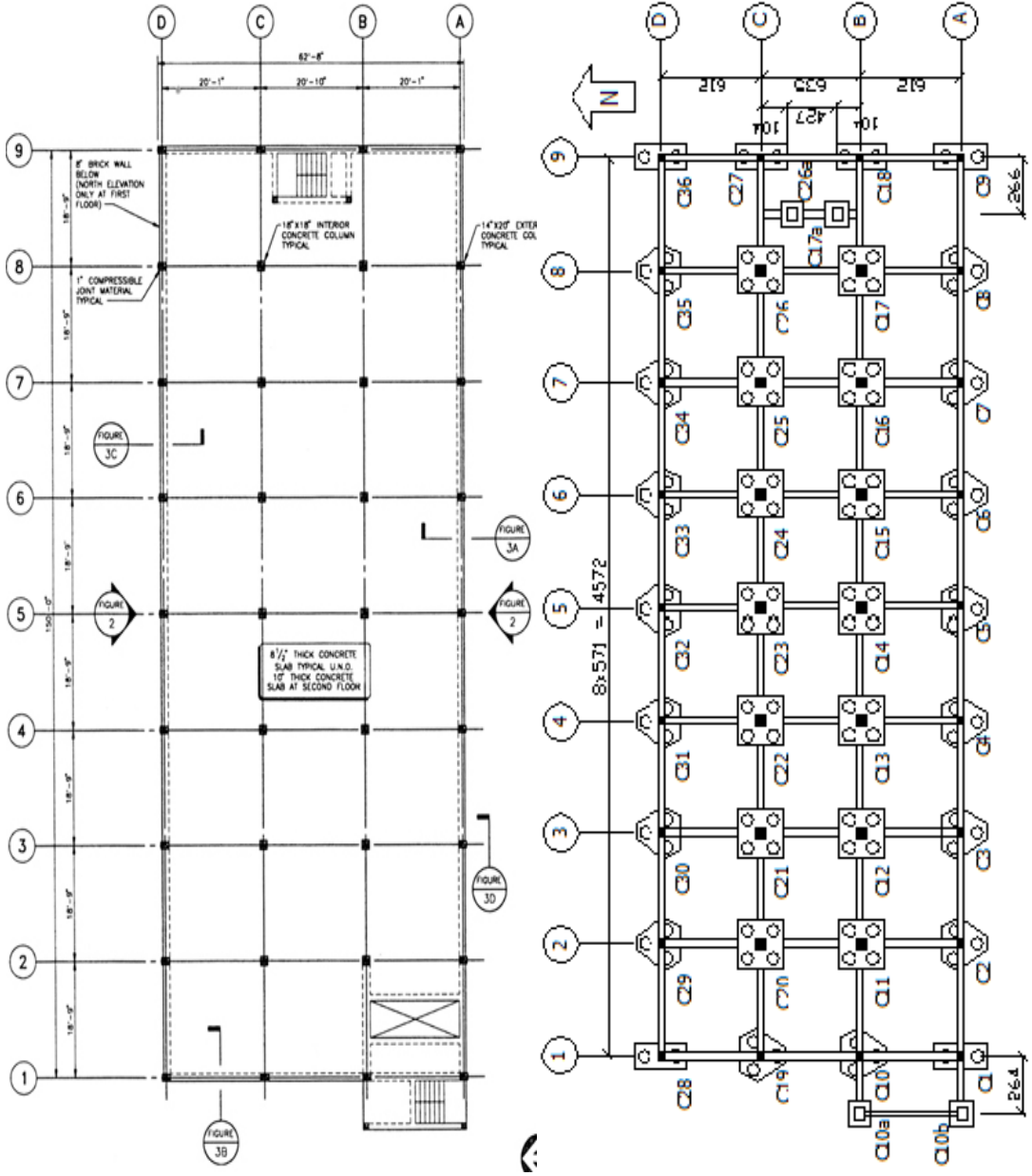
3.1.1 1994 Northridge depremi ve van nuys binasına etkisi

Northridge depremi 17 Ocak 1994 tarihinde, yerel saatle 16:31 de meydana gelmiştir. Merkezüssü $34^{\circ}12'47''K$ - $118^{\circ}32'13''B$ koordinatında olan depremin büyüklüğü 6.7 olarak ilan edilmiştir. Odak derinliği 18 km olan deprem sırasında oluşan kırılmanın yüzey alanı yaklaşık 300 km^2 olarak tespit edilmiştir. Van Nuys binasının Northridge depremine uzaklığı yaklaşık olarak 7 km olup, 1971 yılında meydana gelen San Fernando depremine uzaklığı ise yaklaşık 22km dir (Şekil 3.3).

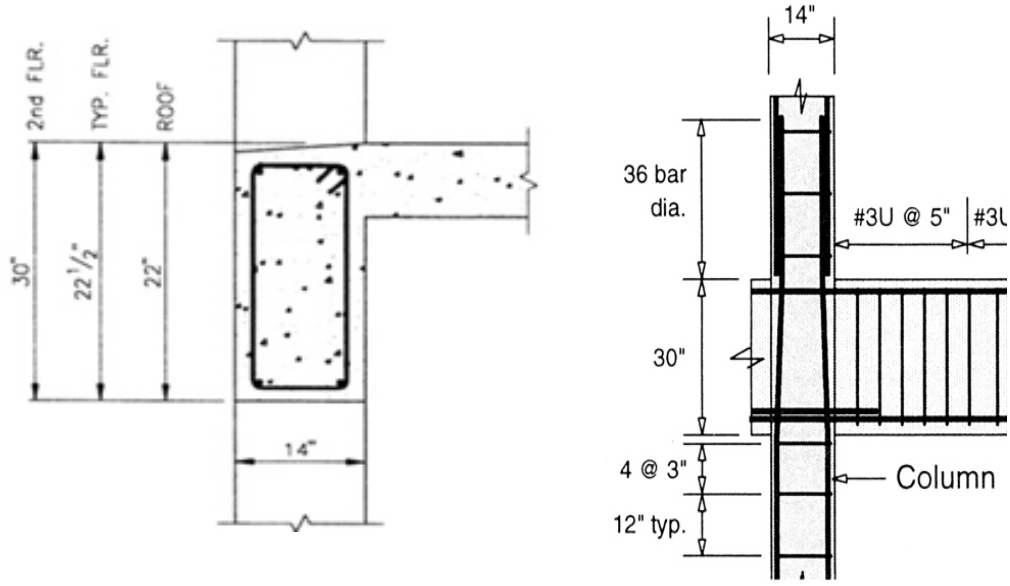


Şekil 3.3: Van Nuys binasının Northridge ve San Fernando depremi merkezüssüne uzaklıkları

Van Nuys binası 7 katlı betonarme bir bina olup çevresi rijitliği yüksek kirişlerle sarılmıştır. Yapının geri kalan taşıyıcı sisteminde kirişsiz döşemeler kullanılmıştır. Deprem kuvvetlerini esas olarak yapının uzun doğrultusunda 8 açıklıklı kiriş kolon çerçeve sistemiyle, kısa doğrultuda üç açıklıklı kiriş kolon çerçeve sistemi karşılamıştır. İç bölgede yer alan kolon döşeme sistemi beklendiği üzere deprem sırasında önemli bir hasar almamıştır. Yapının tipik kat planı ile kazık yerleşim planı Şekil 3.4'te verilmiştir. Yapıya ait tipik kiriş ve kolon kesitleri ise Şekil 3.5'te verilmiştir.



Şekil 3.4: Van Nuys binası tipik kat ve temel kazıkları yerleşim planı

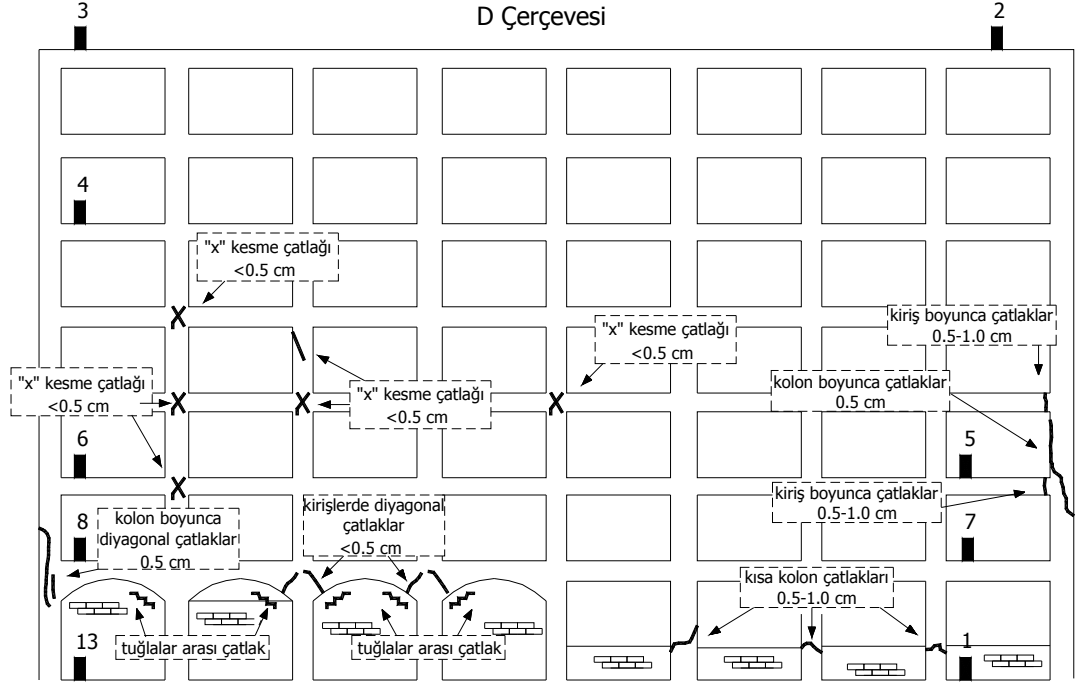


Şekil 3.5: Tipik Kiriş ve Kolon Kesitleri

Van Nuys binası 1994 Northridge depreminden önce 1971 yılında aynı bölgede meydana gelen San Fernando depreminin etkilerine maruz kalmıştır. Bu deprem sırasında 2.kat kolon kiriş birleşim bölgelerinde hasarlar meydana gelmiş oluşan çatlaklar epoksi kullanılarak onarılmıştır. Van Nuys binası asıl yapısal hasarı 1994 Northridge görmüş olup, rijit kiriş kolon çerçevelerinde önemli hasarlar meydana gelmiştir. Bu deprem sırasında yapının kiriş kolon bileşim yerlerinde önemli kesme çatlakları meydana gelmiştir (Şekil 3-6). Zemin kat kolonlarının kısa kolon oluşturması nedeniyle çatlaklar meydana gelmiş üst kat kolonlarında da yer yer kesme kuvveti çatlakları oluşmuştur (Şekil 3-7).



Şekil 3-6: Van Nuys binası kolon-kiriş birleşim bölgesi hasarları



Şekil 3.7: Van Nuys binası D çerçevesi hasarı

3.1.2 Van Nuys binasından Northridge depremi sırasında alınan kayıtlar

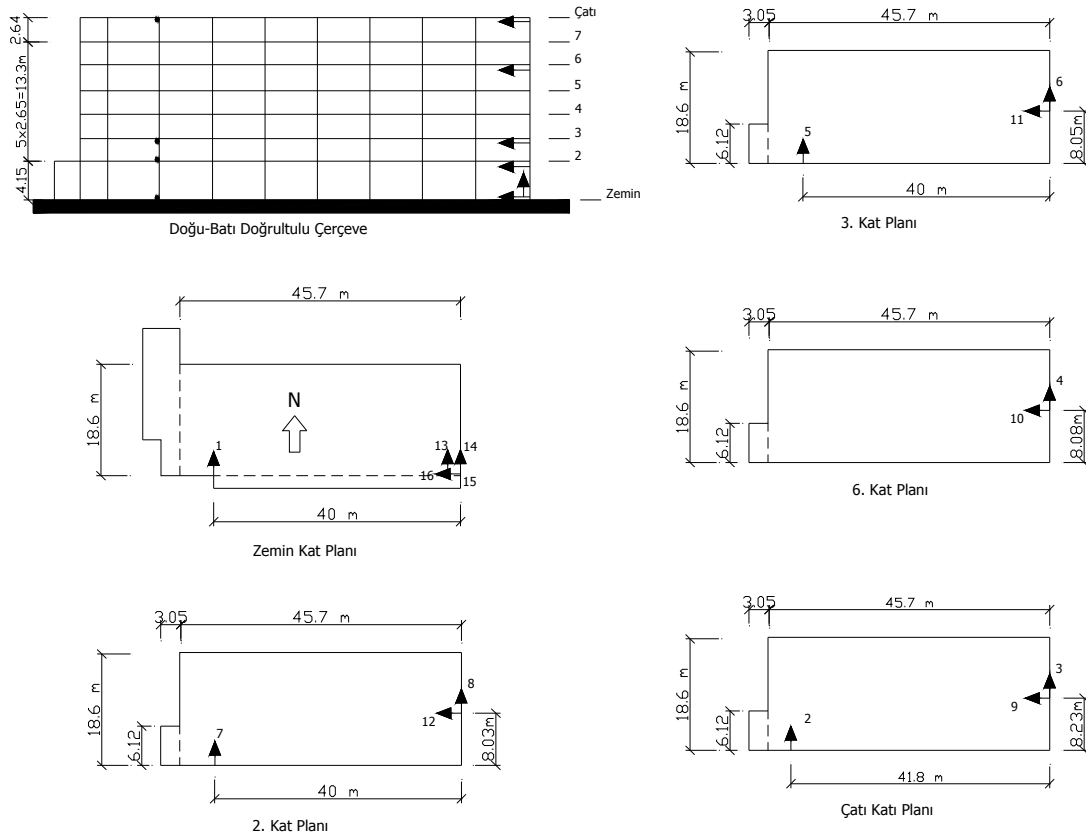
Northridge depremi sırasında 200 istasyondan kayıt alınmış olup bunlardan 16 tanesi Van Nuys binasında bulunmaktadır. İvme ölçerler K-G , D-B ve düşey doğrultuda yerleştirilmiş olup bina içindeki konumları Şekil 3.8 ile Şekil 3.9 de gösterilmiştir.

Northridge depreminde Van Nuys binasındaki ivme değerleri en alt kattaki ivme ölçerlerle 0.42g (KG) , 0.44g(DB) ve 0.28g (Düşey) olarak kaydedilmiştir. Yapı aynı depremde DB doğrultusunda yerdeğiştirme 23cm iken KG doğrultusunda ise doğu kanadı 17cm, batı kanadı ise 23 cm yerdeğiştirme yapmıştır. KG doğrultusundaki bu fark yapıda deprem sırasında burulma oluştuğunun göstergesidir (Pakyürek, 2006).

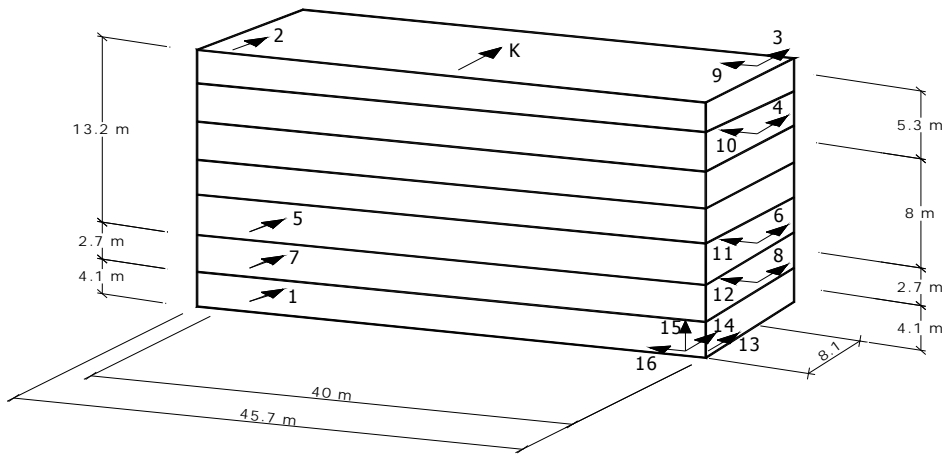
Yapının doğu ucunda 40mm kalıcı yatay yerdeğiştirme ile 25mm kalıcı çökme oluştuğu görülmüş, ayrıca yapılan çalışmalar sonucunda ATC-13'deki sınıflandırmalara göre yapısal elemanlar ağır hasarlı, yapısal olmayan elemanlar ise orta hasarlı olarak sınıflandırılmıştır (Borzi ve Elnashai, 2000)

Yapının IDARC-2D programıyla çok modlu itme analizi yapılarak FEMA-356 ve DBYBHY'e göre performansı belirlenecek, karşı gelen hedef yerdeğiştirmeler ile gerçek yerdeğiştirmeler kıyaslanacaktır. Ayrıca yapıda oluşan hasarlar ile analiz

sonucu oluşan hasarlar kıyaslanarak çok modlu itme analizinin değerlendirilmesi yapılacaktır.



Şekil 3.8: İvme ölçerlerin katlarda yerleşimi



Şekil 3.9: İvme ölçerlerin yapı içindeki konumu

3.2 Tez Kapsamında Analizde Kullanılacak Program IDARC-2D

Andrei M. Reinhorn, Rodolfo Valles-Mattox ve Sashi Kunnath tarafından 1987 yılında geliştirilen IDARC-2D programının günümüz versiyonu betonarme, çelik ve diğer malzeme davranışlarının modellenerek, çok katlı binaların doğrusal olmayan analizlerinin yapıldığı iki boyutlu analiz programı olarak karşımıza çıkmaktadır. Programda kullanılan yapısal eleman tipleri : Kolon (column) elemanlar, kiriş (beam) elemanlar, perde (shear wall) elemanlar, perde başlığı olan kolon (edge column) elemanlar ile hesap doğrultusuna dik kiriş (transverse beam) elemanlar olarak tanımlanabilir. Sözü edilen elemanların hesaba katılmasında ise doğrusal ve doğrusal olmayan şekil değiştirme kabulleri kullanılmaktadır. Programda kullanılan elemanlara karşı gelen şekil değiştirme kabulleri aşağıdaki Çizelge 3.1 de verilmiştir.

Çizelge 3.1: IDARC-2D programında tanımlanan elemanlarda yapılan kabuller

Programda Kullanılan Elemanlar	Yapılan Kabuller					
	Doğrusal Şekil Değiştirme Kabulü			Doğrusal Olmayan Şekil Değiştirme Kabulü		
	Eksenel Şekil Değiştirme	Kayma Şekil Değiştirmesi	Eğilme Şekil Değiştirmesi	Eksenel Şekil Değiştirme	Kayma Şekil Değiştirmesi	Eğilme Şekil Değiştirmesi
Kolon Elemanlar	√	√				√
Kiriş Elemanlar	√	√				√
Perde Elemanlar	√				√	√
Kolon Başlığı Olan Perde Elemanlar						
Hesap Doğ. Dik Kiriş Elemanlar						

Programı doğrusal olmayan analiz yapabilen programlardan ayıran önemli bir özellik ise elastik olmayan şekil değiştirmenin betonarme elemanlarda kritik kesitte yığılı olmasından ziyade (mafsal modeli) eleman boyunca yayılı meydana gelmesini dikkate almasıdır. Program, günümüz yazılımlarıyla uyuma ve plastik karakteristikleri modelleyebilmek için sınırlandırılmış boy üzerinde plastik model geliştirmiştir. En son 6.1 versiyonu yayınlanan IDARC-2D ile doğrusal olmayan artımsal statik analiz, doğrusal olmayan dinamik analiz, modal itme analizi veya eşdeğer statik çevrimsel analizleri yapılabilir. (<http://civil.eng.buffalo.edu/idarc2d750> 15.12.2008)

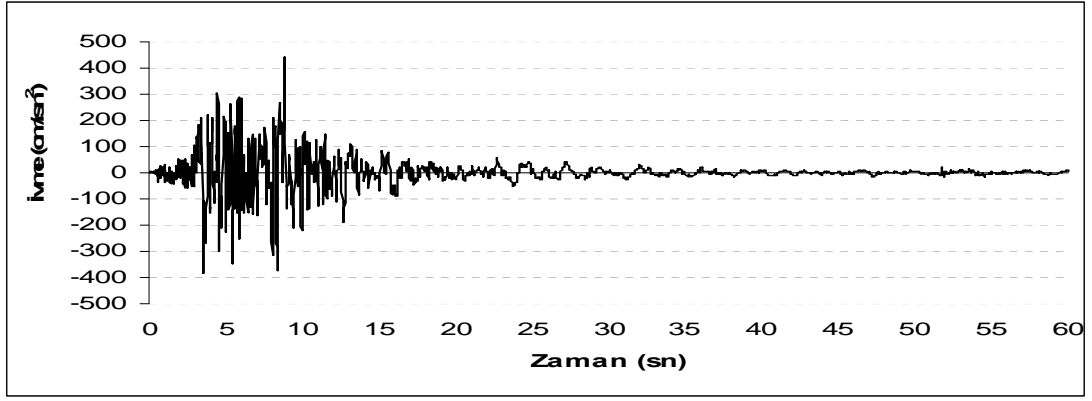
3.3 Van Nuys Binasının Analizinde Kullanılan Betonarme Histeretik Modeller

Literatürde betonarme elemanların tekrarlı yükler altında davranışı temsil eden çok sayıda histeretik model bulunmaktadır. Bunlardan bazıları Elasto-Plastik model, çift doğrulu model, üç doğrulu model ve Takeda modelidir. IDARC-2D programda çok doğrulu histeretik modeller için kesit davranışına etki eden parametreler, rijitlik azalımı parametresi, süneklığe dayalı dayanım azalımı parametresi, enerjiye dayalı azalım parametresi, donatı sıyrılması parametresi olarak tanımlanmıştır. Bu parametrelerin değişim aralıkları Çizelge 3.2’de verilmiştir (Pakyürek, 2006)

Çizelge 3.2: IDARC-2D Programında Histeretik Parametrelerin Değişim Aralıkları

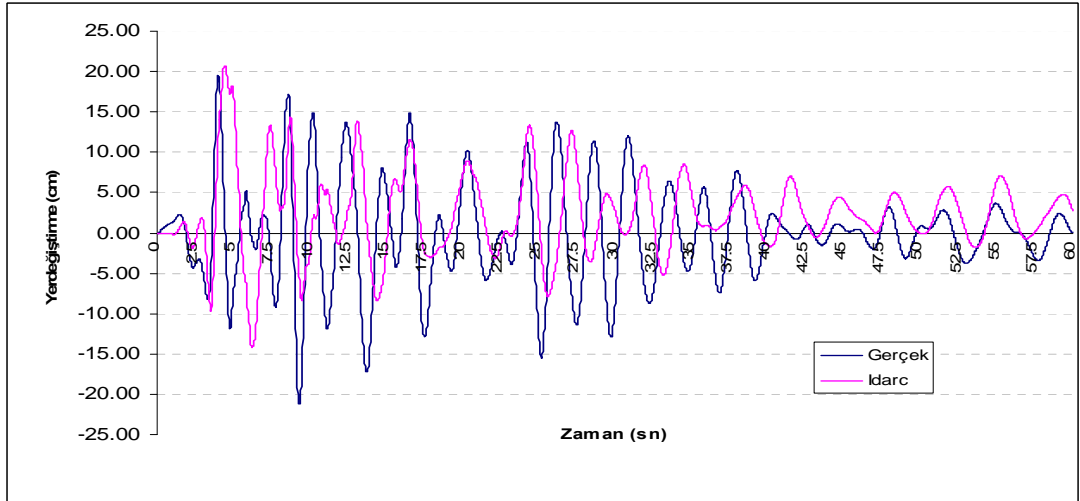
Parametre	Değer	Etki
Rijitlik Azalım Parametresi (HC)	4	Yüksek Miktarda Azalım
	10	Orta Miktarda Azalım
	15	Az Miktarda Azalım
	200	Azalım Yok (Orjinal Değer)
Süneklığe Dayalı Dayanım Azalımı Parametresi (HBD)	0.6	Yüksek Miktarda Azalım
	0.3	Orta Miktarda Azalım
	0.15	Az Miktarda Azalım
	0.01	Azalım Yok (Orjinal Değer)
Enerjiye Dayalı Dayanım Azalımı Parametresi (HBE)	0.6	Yüksek Miktarda Azalım
	0.15	Orta Miktarda Azalım
	0.08	Az Miktarda Azalım
	0.01	Azalım Yok (Orjinal Değer)
Donatı Sıyrılması veya Çatlak Kapanması Parametresi (HS)	0.05	Yüksek Miktarda Çevrim Sıkışması
	0.25	Orta Miktarda Çevrim Sıkışması
	0.4	Az Miktarda Çevrim Sıkışması
	1	Çevrim Sıkışması Yok (Orjinal Değer)

Pakyürek (2004) tarafından yapılan tez araştırmasında Van Nuys binası bahsedilen modeller altında doğrusal olmayan dinamik analiz ile değerlendirilmiş ve sonuçta hangi modelin yapının gerçek davranışını en gerçekçi biçimde kestirdiği belirlenmiştir. Bu analizde kullanılan 1994 Northridge depreminde alınan ivme kaydı Şekil 3.10’da verilmiştir.



Şekil 3.10: Northridge Depremi İvme Kaydı

Bu ivme kaydına göre yapılan dinamik analiz sonucuna göre basitliği nedeniyle araştırmacılar tarafından en çok tercih edilen çift doğrulu modelin gerçekçi sonuçlar vermediği anlaşılmıştır. Yapının deprem sırasında davranışını en iyi temsil eden modellerin en büyük yerdeğiştirmeye yönelik model ile “üç doğrulu model” olduğu görülmüştür. Bu modellerden üç doğrulu model yapıda oluşan gerçek yerdeğiştirmeyi yakalarken, “en büyük yerdeğiştirmeye göre model” ise genliği daha iyi yansıtmaktadır. Yapılan analiz sonucunda üç doğrulu model ile yapıdan alınan kayıtların karşılaştırılması Şekil 3.11’de verilmiştir.



Şekil 3.11: En uygun parametrelere göre üç doğrulu model ile yapıdan alınan kayıtların karşılaştırılması, (Pakyürek,2006)

Tez sonucunda yapıdaki davranışa karşı gelen en uygun parametre değerleri Çizelge 3.3’te, bu parametreler kullanılarak bulunan kat yerdeğiştirmelerinin yapıdan alınan gerçek değerler ile karşılaştırılması ise Çizelge 3.4 te verilmiştir.

Çizelge 3.3: Yapının gerçek davranışına karşı gelen en uygun parametreler

Üç Doğrulu Model; Parametre Değeri		En Büyük Yer Değ. Yönelik Model; Parametre Değeri	
HC	100	HC	50
HBD	0.05	HBD	0.04
HBE	0.11	HBE	0.05
HS	0.70	HS	0.40

Çizelge 3.4: Uygun Parametreler sonucu ulaşılan yerdeğiştirme değerlerinin yapıdan alınan gerçek veriler ile karşılaştırılması

Modeller	Yer Değiştirme	
	+ (cm)	- (cm)
Üç Doğrulu Model	20.63	14.25
E.B.Y.D Yönelik Model	19.67	17.45
Gerçek Değer	19.51	21.21

Bu tez kapsamında yapıya uygulanacak olan modal itme analizinde betonarme elemanlar için sözü edilen uygun parametreler kullanılıp, üç doğrulu model esas alınarak hesap yapılacaktır.

3.4 IDARC-2D Programında Modellenen Betonarme Elemanlar İçin Moment-Eğrilik Bağlıları

Programda 5 farklı tip kolon ile 2 farklı tip kiriş modellenmiştir (Pakyürek, 2006). Programın modellemeye ilişkin kod girilmesinde kullanılan parametreler Şekil 3.12 da verilmiştir. Bu parametreler kiriş ve kolonlar için aynı ifadeleri içermektedir. Parametrelerin açıklımları ise şöyledir:

PCP= Betonun çatlama momenti

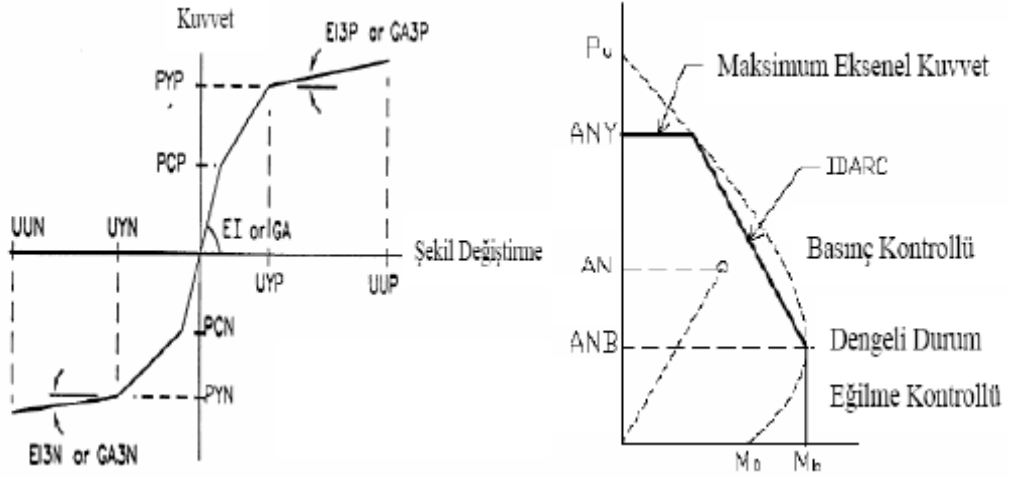
PYP= Donatının akmaya başladığı moment

UYP= Donatının akmaya eriştiği şekildeğiştirme

UUP= Güç tükenmesi deformasyonu

ANB=Dengeli durumdaki normal kuvvet

ANY=Maksimum normal kuvvet

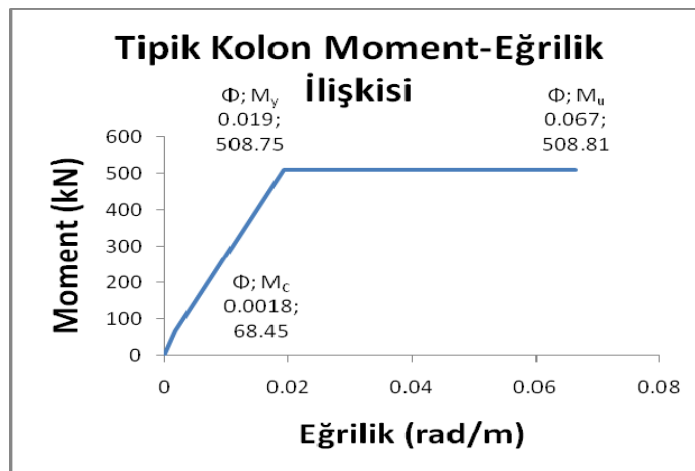


Şekil 3.12: Modellemede kullanılan parametreler

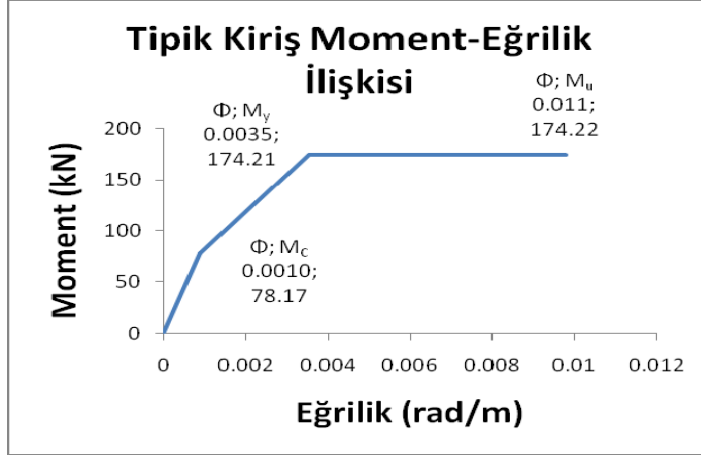
DBYBHY kirişler için çatlamış kesit eğilme momentini(EI_e) çatlamamış kesit eğilme momentinin ($EI_o=0.40(EI_o)$) olarak alırken, FEMA-356 bu oranı ($EI_e=0.50(EI_o)$) olarak vermektedir.

Kolonlar için ise DBYBHY, $N_d/(A_c f_{cm}) < 0.10$ olması durumunda ($EI_e=0.40(EI_o)$), $N_d/(A_c f_{cm}) > 0.10$ için ise ($EI_e=0.80(EI_o)$) olarak verilmektedir. FEMA-356 da ise bu oranlar $N_d/(A_c f_{cm}) > 0.5$ için ($EI_e=0.70(EI_o)$), $N_d/(A_c f_{cm}) < 0.3$ için ise ($EI_e=0.50(EI_o)$) olarak tanımlanmaktadır. Her iki yönetmelikte ara değerler için doğrusal interpolasyona izin vermektedir.

Yapıya girilen kiriş ve kolonlara ait moment eğrilik grafikleri örnek olarak tipik kolon ve kirişlerde Şekil 3.13 ile Şekil 3.14 de verilmiştir.



Şekil 3.13: Tipik kolon moment eğrilik bağıntısı



Şekil 3.14: Tipik kiriş moment eğrilik bağıntısı

4. MODAL İTME ANALİZİ İLE YAPI PERFORMANSININ BELİRLENMESİ

Sözü edilen yapının çok modlu itme analizde Bölüm 2.4'te anlatılan yöntemlerden Chopra ve Goel tarafından önerilen yöntem kullanılacaktır.

4.1 İtme Analizinde Kullanılacak Parametreler

4.1.1 Yapı ağırlığı ve yapı yüksekliği

Kat kütleleri, düğüm noktalarında toplanmış olduğu kabulü ile hesap içerisine katılmıştır. Aşağıdaki Çizelge 4.1'de yapı ağırlığı, yüksekliği ve kat kütleleri bilgilerini özetlemektedir.

Çizelge 4.1: Yapı ağırlığı, yapı yüksekliği ve kat kütleleri

Yapı ağırlığı	
W (kip)	W (kN)
2936.296	13066.52

Yapı Yüksekliği	
(inch)	(m)
789.3	20.0

Kat Kütleleri	
Kat	mi (ton)
7	133.255
6	192.126
5	192.126
4	192.126
3	192.126
2	192.126
1	238.075

4.1.2 Yapı periyodu ve kütle katılım oranları

Gerek DBYBHY, gerek FEMA-356'ya göre çatlama kesit özellikleri tanımlanan yapının doğu-batı doğrultusunda ilk 7 periyodu ve bu periyotların etkin kütleleri program tarafından hesaplanmıştır (Çizelge 4.2). DBYBHY ile FEMA-356'ya göre alınan çatlama kesit eğilme rijitlikleri sonucu yapının periyodu iki yönetmelikte de

birbirine yakın çıkmıştır. İşlem hacmini azaltmak amacıyla DBYBHY'ye göre çıkan periyotlar hesaplarda kullanılacaktır.

Çizelge 4.2: Yapı periyodu ve etkin kütle oranları

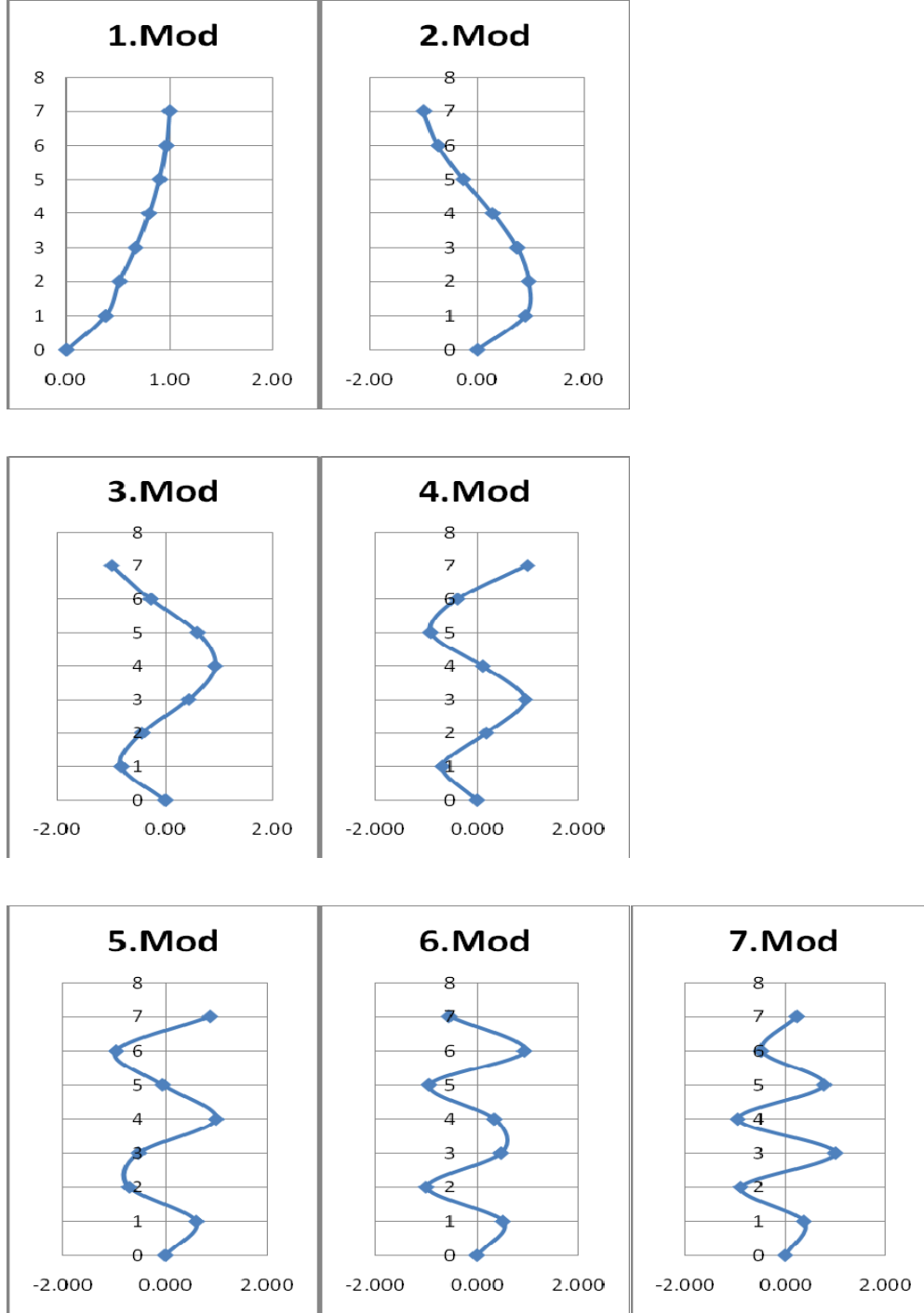
Periyot		Etkin Kütle / Σm_i
No	(sn)	%
1	1.21124	91.324
2	0.40854	7.455
3	0.23263	0.977
4	0.15311	0.169
5	0.11113	0.048
6	0.08745	0.020
7	0.07552	0.007

4.1.3 Mod değerleri ve mod şekilleri

Yapının normalize edilmiş mod vektörleri Çizelge 4.3'te verilmiştir. Bu vektörlere karşı gelen mod şekilleri ise Şekil 4.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.3: Yapının Normalize Edilmiş Mod Vektörleri

Kat	Normalize Edilmiş Öz Vektörler						
	1.Mod	2.Mod	3.Mod	4.Mod	5.Mod	6.Mod	7.Mod
7	1.000	-1.000	-1.000	1.000	0.881	-0.544	0.229
6	0.967	-0.731	-0.271	-0.387	-0.968	0.938	-0.486
5	0.901	-0.262	0.593	-0.917	-0.051	-0.944	0.778
4	0.800	0.287	0.923	0.116	1.000	0.345	-0.959
3	0.668	0.743	0.434	0.954	-0.526	0.475	1.000
2	0.513	0.959	-0.432	0.188	-0.710	-1.000	-0.900
1	0.379	0.893	-0.822	-0.680	0.610	0.512	0.365
0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000



Şekil 4.1: Yapının ilk 7 mod şekli

4.1.4 İtme analizinde kullanılacak kuvvet vektörleri

Modal itme analizinde ilgili modal kütle katılım oranları da dikkate alınarak ilk üç mod için kuvvet vektörü belirlenmiştir (Çizelge 4.4). Yapı ağırlığının % 20'si ilgili

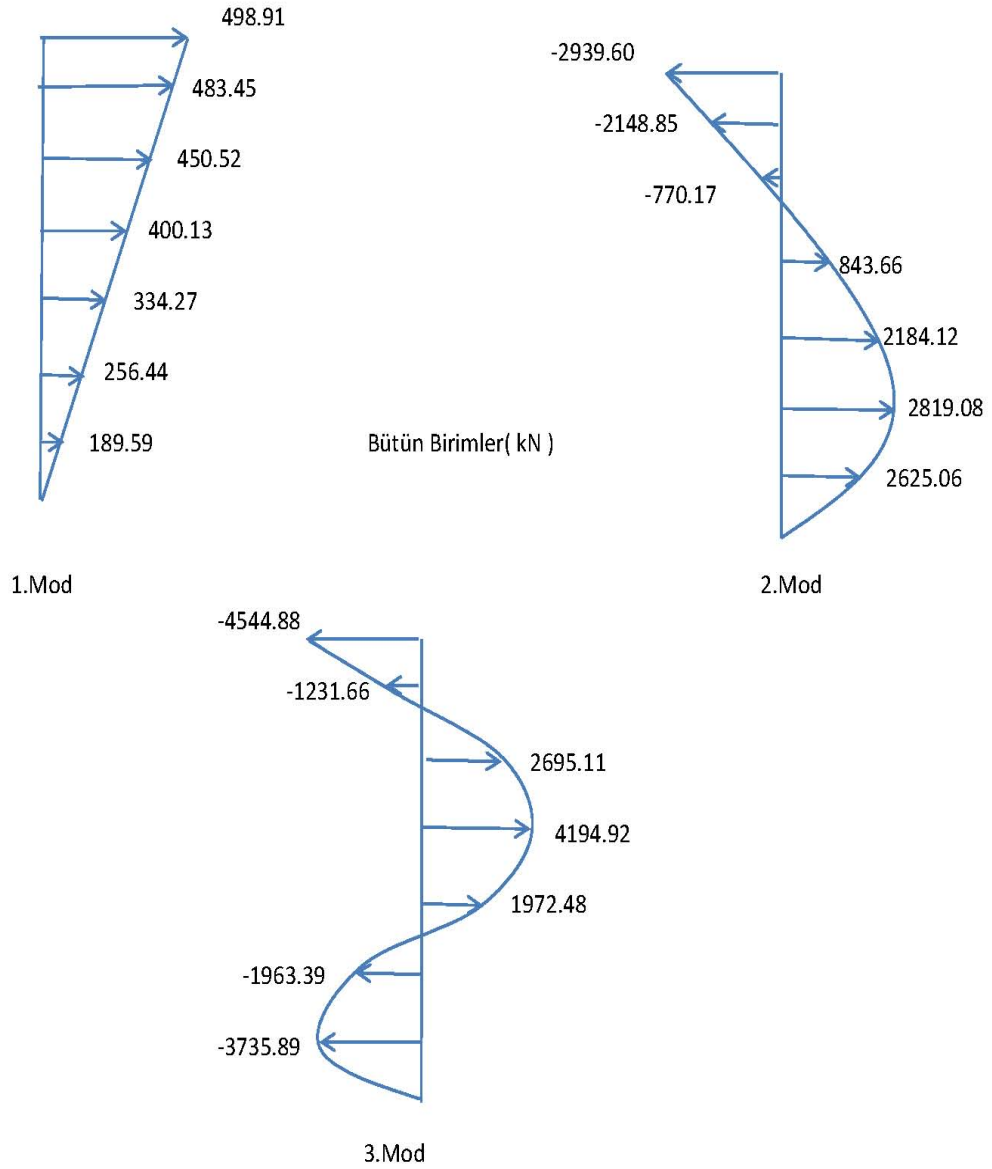
mod şekilleri ile orantılı olacak şekilde her mod için ayrı ayrı olmak üzere katlara etkilmiştir (4.1) (Şekil 4.2).

$$\sum F = 0.2 W_{yapı} = 2613.30kN \quad F = \frac{\phi \cdot \sum F}{\sum \phi} \quad (4.1)$$

Çizelge 4.4: İlk üç mod için kuvvet vektörleri

Kat	1.Mod			Kat	2.Mod		
	Vektör{Φ}	F(kip)	F(kN)		Vektör{Φ}	F(kip)	F(kN)
7	1.000	112.12	498.91	7	-1.000	-660.58	-2939.6
6	0.969	108.64	483.45	6	-0.731	-482.89	-2148.85
5	0.903	101.24	450.52	5	-0.262	-173.07	-770.17
4	0.802	89.92	400.13	4	0.287	189.59	843.66
3	0.670	75.12	334.27	3	0.743	490.81	2184.12
2	0.514	57.63	256.44	2	0.959	633.50	2819.08
1	0.380	42.60	189.59	1	0.893	589.90	2625.06
0	0	0	0	0	0	0	0
Σ	5.238	587.26	2613.3	Σ	0.889	587.26	2613.3

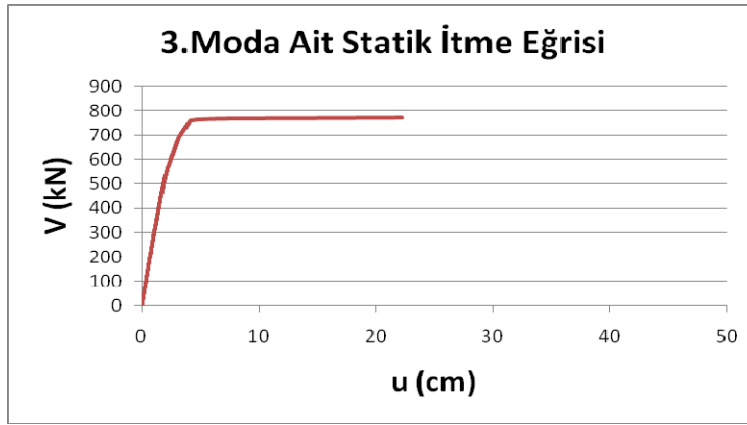
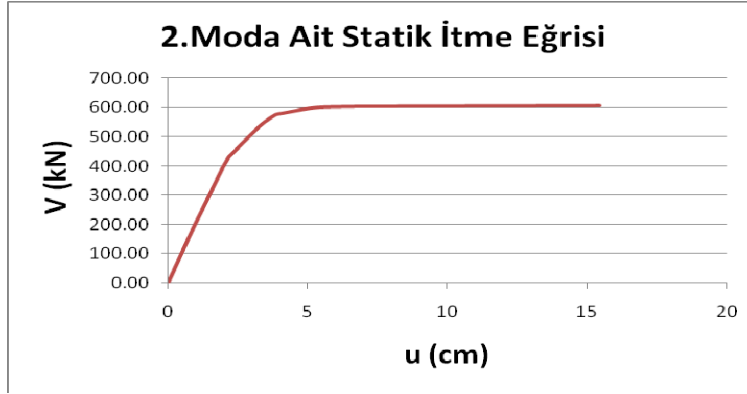
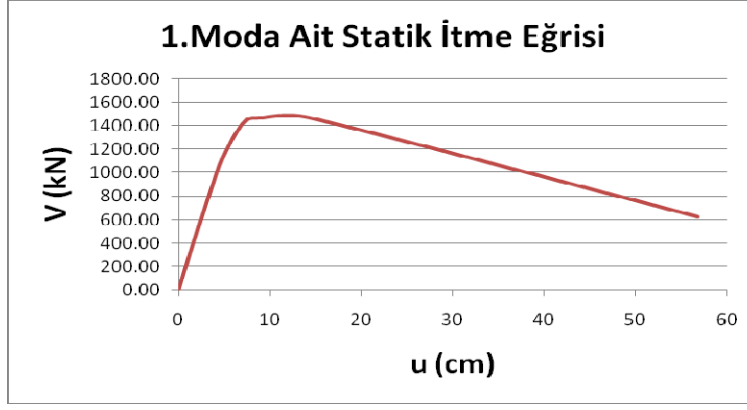
Kat	3.Mod		
	Vektör{Φ}	F(kip)	F(kN)
7	-1.000	-1021.32	-4544.88
6	-0.271	-276.78	-1231.66
5	0.593	605.64	2695.11
4	0.923	942.68	4194.92
3	0.434	443.25	1972.48
2	-0.432	-441.21	-1963.39
1	-0.822	-839.53	-3735.89
0	0	0	0
Σ	0.575	-587.26	-2613.3



Şekil 4.2: İtme analizinde kullanılacak kuvvet vektör şekilleri

4.1.5 Modal itme analizi ile statik itme eğrisinin elde edilmesi

Yapıda tepe yerdeğiştirmesi toplam yüksekliğinin %10'u olacak şekilde ilgili mod vektörleriyle orantılı olarak statik itme analizleri yapılmıştır. Bu analizin başlangıç koşulunu dūřey yükler altında yapılan doğrusal olmayan analiz oluşturmaktadır. İtme analizlerine ait statik itme grafikleri her üç mod için Şekil 4.3'te verilmiştir.



Şekil 4.3: İlk üç mod için statik itme eğrileri

4.1.6 Çok modlu itme analizi ile DBYBHY’de tanımlı sınır durumlar kullanılarak yapının performansının belirlenmesi

DBYYHY’de tanımlı çok modlu itme analizi yöntemi olan artımsal mod birleştime yönteminden farklı olarak Bölüm2’de anlatılan, Chopra ve Goel tarafından önerilen modal itme analizi uygulanacaktır. Analiz çerçevesinde DBYBHY’de tanımlı olan hedef yerdeğiştirmeler ile performans sınır durumları kullanılacaktır. Bir başka ifade

ile yapıda Chopra ve Goel tarafından önerilen yönteme göre statik itme eğrileri bulunacak, elde edilen statik itme eğrilerinden performans noktasının bulunmasında ise DBYBHY’de tanımlı şartlar kullanılacaktır.

4.1.6.1 Statik itme eğrilerinin modal kapasite eğrilerine dönüştürülmesi

Statik itme eğrisi talep eğrisiyle ile karşılaştırılabilmesi için eksen dönüştürme işlemine tabi tutulmalıdır. Bu amaçla taban kesme kuvveti V_i , a_i modal ivmeye ve en üst kat (tepe) yerdeğiştirmesi u_i ise d_i modal yer değiştirmesine dönüştürölür. Bu dönüştürme işleminde aşağıda tanımlanan bağıntılar kullanılmıştır (4.2).

$$a_i = \frac{V_i}{M_i} \quad d_i = \frac{u_{Ni}}{\phi_{Ni}\Gamma_i} \quad \Gamma_i = \frac{\sum m_n \phi_{n1}}{\sum_{n=1}^N m_n \phi_{n1}^2} \quad (4.2)$$

u_{Ni} =i’inci moda ait tepe yerdeğiştirmesi

a_i =i’inci moda ait modal ivme

d_i =i’inci moda ait modal yerdeğiştirme

V_i =i’inci moda ait taban kesme kuvveti

M_i =i’inci moda ait etkin kütle

m_n =kat kütleli

ϕ_{Ni} =i’inci moda ait tepe kat yerdeğiştirme vektörü

Γ_i =i’inci moda ait modal katkı çarpanı

Bu bağıntıların her üç mod için sayısal değerleri Çizelge 4.5’te bu değerler kullanılarak dönüştürölen statik itme eğrisinin ilk beş adımına ait sayısal değerler Çizelge 4.6’da ve dönüştürölmüş statik eğrilerinin şematik gösterimi ise şekil 4.4’te verilmiştir.

Çizelge 4.5: Her Üç Mod İçin Statik İtme Eğrisini Dönüştürmede Kullanılacak Bağlıntıların Sayısal Değerleri

1.Modu Ait Dönüştürme Değerleri								
Kat	m_i (ton)	Φ_{i1}	$m_i \cdot \Phi_{i1}$	L_{x1}	$m_i \cdot \Phi_{i1}^2$	M_1	M_{1x}	Γ_{x1}
7	133.26	1.000	133.26	964.94	133.26	765.27	1216.40	1.26092
6	192.13	0.969	186.17		180.40			
5	192.13	0.903	173.49		156.66			
4	192.13	0.802	154.08		123.58			
3	192.13	0.670	128.72		86.25			
2	192.13	0.514	98.75		50.76			
1	238.08	0.380	90.47		34.38			

2.Modu Ait Dönüştürme Değerleri								
Kat	m_i (ton)	Φ_{i2}	$m_i \cdot \Phi_{i2}$	L_{x2}	$m_i \cdot \Phi_{i2}^2$	M_2	M_{2x}	Γ_{x2}
7	133.26	-1.000	-133.26	270.70	133.26	737.54	99.23	0.367
6	192.13	-0.731	-140.44		102.66			
5	192.13	-0.262	-50.34		13.19			
4	192.13	0.287	55.14		15.83			
3	192.13	0.743	142.75		106.06			
2	192.13	0.959	184.25		176.69			
1	238.08	0.893	212.60		189.85			

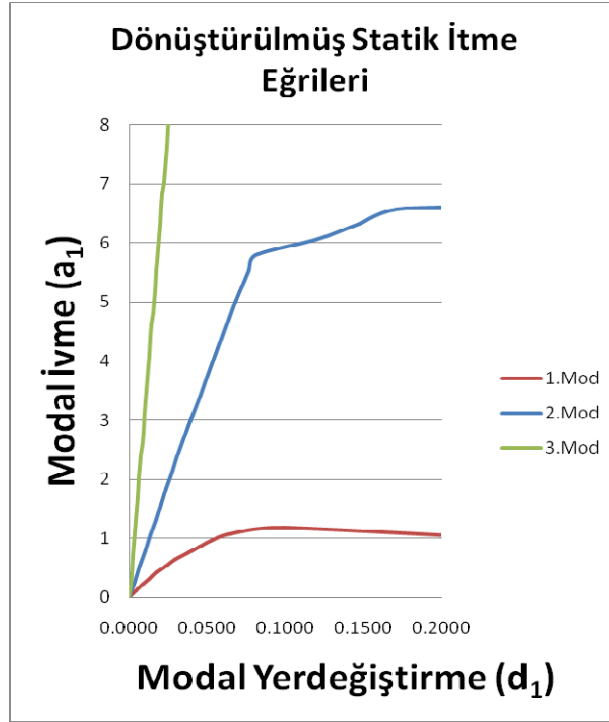
3.Modu Ait Dönüştürme Değerleri								
Kat	m_i (ton)	Φ_{i3}	$m_i \cdot \Phi_{i3}$	L_{x1}	$m_i \cdot \Phi_{i3}^2$	M_3	M_{3x}	Γ_{x3}
7	133.26	-1.00	-133.26	-89.37	133.26	611.51	13.01	-0.14615
6	192.13	-0.271	-52.07		14.11			
5	192.13	0.593	113.93		67.56			
4	192.13	0.923	177.33		163.68			
3	192.13	0.434	83.38		36.19			
2	192.13	-0.432	-83.00		35.86			
1	238.08	-0.822	-195.70		160.86			

Çizelge 4.6: Dönüştürülmüş Statik İtme Eğrilerinin ilk 10 Adımının Sayısal Değerleri

1.Modu Ait Statik İtme Eğrisi Dönüşümü							
Adım	V	U	M_{1x}	Φ_{11}	Γ_{x1}	a1	d1
1	0.00	0	1216.4	1.000	1.2609	0.0000	0.0000
2	130.67	0.0054	1216.4	1.000	1.2609	0.1074	0.0043
3	261.33	0.0108	1216.4	1.000	1.2609	0.2148	0.0086
4	386.77	0.0162	1216.4	1.000	1.2609	0.3180	0.0128
5	521.35	0.0219	1216.4	1.000	1.2609	0.4286	0.0174
6	653.33	0.0293	1216.4	1.000	1.26092	0.5371	0.0232
7	783.99	0.0364	1216.4	1.000	1.26092	0.6445	0.0288
8	914.66	0.0469	1216.4	1.000	1.26092	0.7519	0.0372
9	1045.32	0.0567	1216.4	1.000	1.26092	0.8594	0.0450
10	1175.99	0.0670	1216.4	1.000	1.26092	0.9668	0.0531

2.Modu Ait Statik İtme Eğrisi Dönüşümü							
Adım	V	U	M_{2x}	Φ_{12}	Γ_{x2}	a2	d2
1	0.00	0	99.23	-1.000	0.3670	0.0000	0.0000
2	26.13	0.001243	99.23	-1.000	0.3670	0.2634	0.0034
3	52.27	0.002486	99.23	-1.000	0.3670	0.5267	0.0068
4	78.40	0.003729	99.23	-1.000	0.3670	0.7901	0.0102
5	104.53	0.004972	99.23	-1.000	0.3670	1.0534	0.0135
6	130.67	0.006215	99.23	-1.000	0.3670	1.3168	0.0169
7	156.80	0.007458	99.23	-1.000	0.3670	1.5801	0.0203
8	182.93	0.008701	99.23	-1.000	0.3670	1.8435	0.0237
9	209.06	0.009944	99.23	-1.000	0.3670	2.1068	0.0271
10	235.20	0.011247	99.23	-1.000	0.3670	2.3702	0.0306

3.Modu Ait Statik İtme Eğrisi Dönüşümü							
Adım	V	U	M _{3x}	Φ _{i3}	Γ _{x3}	a3	d3
1	0.00	0	13.0	-1.000	-0.15	0.0000	0.0000
2	2.61	0.0001	13.0	-1.000	-0.15	0.2008	0.0007
3	5.23	0.0002	13.0	-1.000	-0.15	0.4016	0.0014
4	9.15	0.0003	13.0	-1.000	-0.15	0.7029	0.0021
5	11.76	0.0004	13.0	-1.000	-0.15	0.9037	0.0027
6	14.37	0.0005	13.0	-1.000	-0.15	1.1045	0.0034
7	16.99	0.0006	13.0	-1.000	-0.15	1.3053	0.0041
8	19.60	0.0007	13.0	-1.000	-0.15	1.5061	0.0048
9	22.21	0.0008	13.0	-1.000	-0.15	1.7070	0.0055
10	26.13	0.0009	13.0	-1.000	-0.15	2.0082	0.0062



Şekil 4.4: Modal yerdeğiştirme - modal ivme eğrileri

4.1.6.2 Deprem talep eğrisinin çıkarılması

DBYYHY Bölüm7’de anlatıldığı üzere dönüş periyodu 475, 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan tasarım depremi kullanılarak spektrum eğrisi çıkarılmıştır. Bu spektrum eğrisinde etkin yer ivme katsayısı $A_0=0.4$ (1.Derece Deprem Bölgesi), yerel zemin sınıfı ise Z3 alınmıştır. Yönetmelik gereği bina önem katsayısı uygulanmamış $I=1.0$

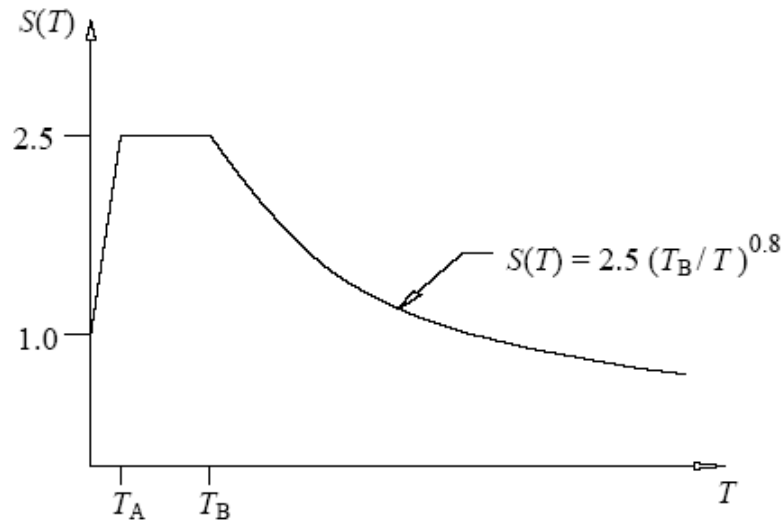
alınmıştır. Spektrum katsayısı periyot değişimi ile spektrum eğrisi Şekil 4.5 ve Şekil 4.6'ta verilmiştir. (4.3)

Spektrum Parametreleri

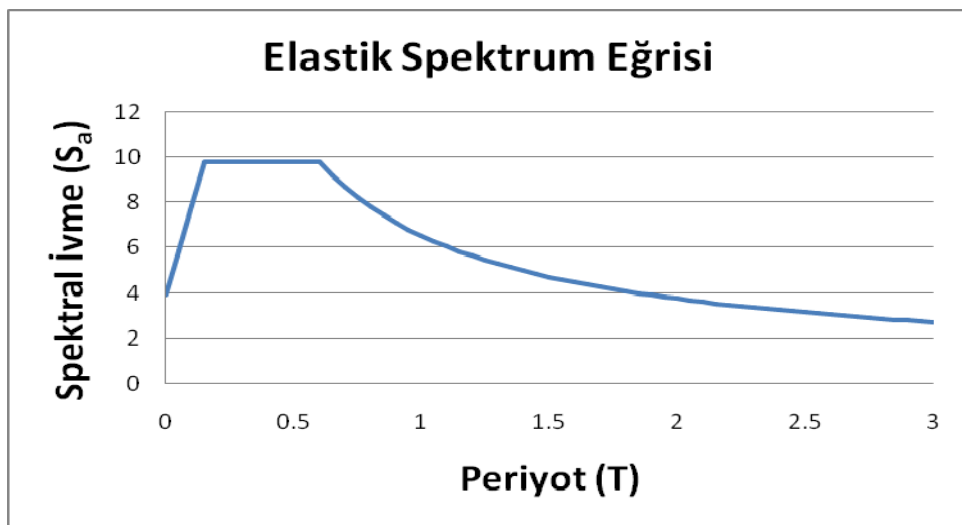
$$A(T)=A_0 I S(T) \quad ; \quad S_a(T)=A(T) g \quad (4.3)$$

$$T_A=0.15 \quad ; \quad T_B=0.60$$

$$S(T)=\text{Spektrum Katsayısı} \quad ; \quad A_0=0.4 \quad ; \quad I=1.00$$



Şekil 4.5: DBYYHY'ye göre spektrum katsayısının periyot ile değişimi

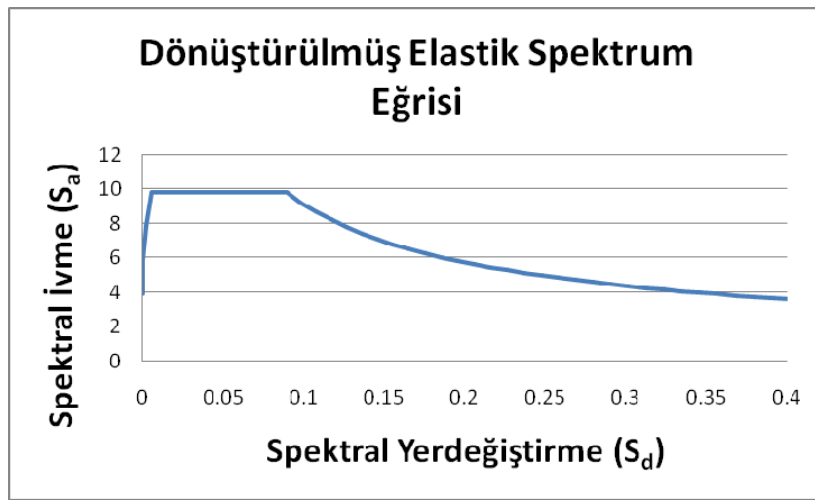


Şekil 4.6: DBYYHY'ye göre elastik spektrum eğrisi

4.1.6.3 Spektrum eğrisinin spektral ivme spektral yerdeğiştirme eksenlerine getirilmesi

DBYYHY göre S_a-T eksenlerinde tanımlı olan deprem talep eğrisinin kapasite eğrisi ile aynı eksene getirilmesi için yatay ekseninde $T \rightarrow S_d$ dönüşümü yapılması gerekir. S_d ile T arasındaki bağıntı aşağıda tanımlanmıştır(4.4). Dönüştürülmüş spektrum eğrisi Şekil 4.7’de gösterilmiştir.

$$S_a = \frac{S_d}{w^2} = S_d \frac{T^2}{(2\pi)^2} \quad (4.4)$$



Şekil 4.7: Dönüştürülmüş elastik spektrum eğrisi

4.1.6.4 DBYYHY’ye göre performans noktalarının bulunması

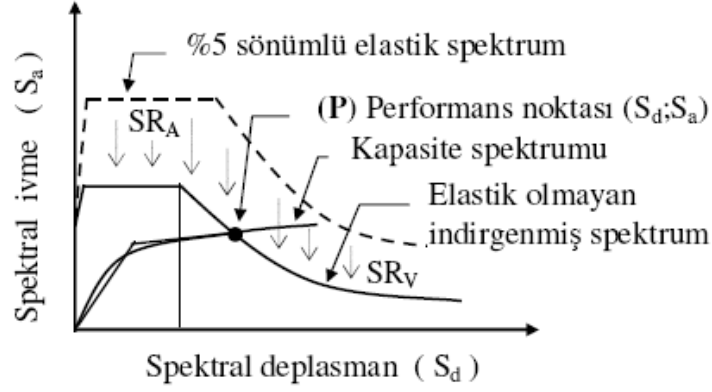
Dönüştürülmüş elastik spektrum eğrisi ile modal kapasite eğrilerinin kesiştirilmesiyle sistemin, deprem talebini ne ölçüde karşılayabileceği bulunmuş olur. ATC-40’da bu işlemin elastik spektrum eğrisinin azaltılması ile yapılması önerilmektedir(4.5). Bu amaçla indirgeme katsayıları SR_A ve SR_V ile azaltma yapılmaktadır. (Şekil 4.8)

$$SR_A = \frac{3.21 - 0.68 \ln(\beta_{eff})}{2.12} ; SR_B = \frac{2.31 - 0.41 \ln(\beta_{eff})}{1.65} \quad (4.5)$$

SR_A = Spektrumun ivme sabit bölgesinde indirgeme katsayısı

SR_B = Spektrumun hız sabit bölgesinde indirgeme katsayısı

β_{eff} = Efektif Viskoz Sönüm



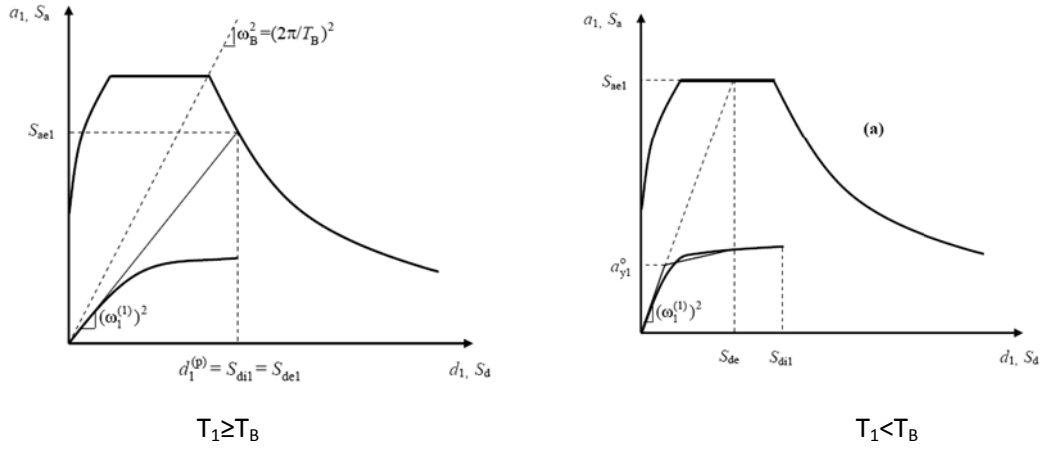
Şekil 4.8: ATC-40 da önerilen spektrum indirgeme yöntemi

ATC-40’da önerilen bu yöntemin pratik olarak kullanımı kolay değildir çünkü bu azaltma işlemi sistemin doğrusal olmayan davranışına bağlıdır. DBYYHY bu kesişim işlemini kapasite eğrisinin başlangıç teğetinin çizilmesiyle yapılmasını öngörmektedir. Bu bağlamda kesişim sonucu spektral yer değiştirme bulunur. Yalnız burada her iki eğrinin de elastik tabanlı olduğu unutulmamalıdır. Dolayısıyla bulunan nokta da elastik sisteme karşı gelmektedir. Eşit yerdeğiştirme kuralı kullanılarak elastik yer değiştirmeden elasto plastik yer değiştirmeye kolayca geçilebilir. (Celep, 2007). DBYYHY’ye göre elastik yerdeğiştirme ile elasto plastik yer değiştirme arasında aşağıda tanımlanan bağıntılar yardımıyla dönüştürme yapılabilir. **(4.6)**

$$d_{\max}^{ep} = C_R d_{\max}^e \quad \begin{array}{l} T_1 < T_B \\ T_1 \geq T_B \end{array} \quad \begin{array}{l} C_R = \frac{1}{R_y} \left[1 + (R_y - 1) \frac{T_B}{T_1} \right] \\ C_R = 1 \end{array} \quad (4.6)$$

Bu tanımlamalarda C_R dönüştürme katsayısı, $R_{yi} = S_{aei} / a_{ayi}$ ilgili moda ait dayanım azaltma katsayısını göstermektedir. T_B sınır periyotuna göre talep ve kapasite eğrilerinin kesişimi şematik olarak Şekil 4.9’da gösterilmiştir.

Yukarıda tanımlanan bağıntılar her üç mod için ilgili periyotlar kullanılarak yazılabilir. Yapının birinci ve ikinci periyodu $T_1=1.21s$, $T_2=0.41s$ $T_B=0.40s$ den büyük olduğu için $C_R=1.0$ alınabilir. $T_3=0.23s$ periyodu için sistem zaten elastik durumdadır dolayısıyla plastik mafsall oluşması beklenmemektedir. Bu nedenle bulunan eğrinin talep eğrisini kestiği nokta performans noktası olarak alınabilir (Şekil 4.10).



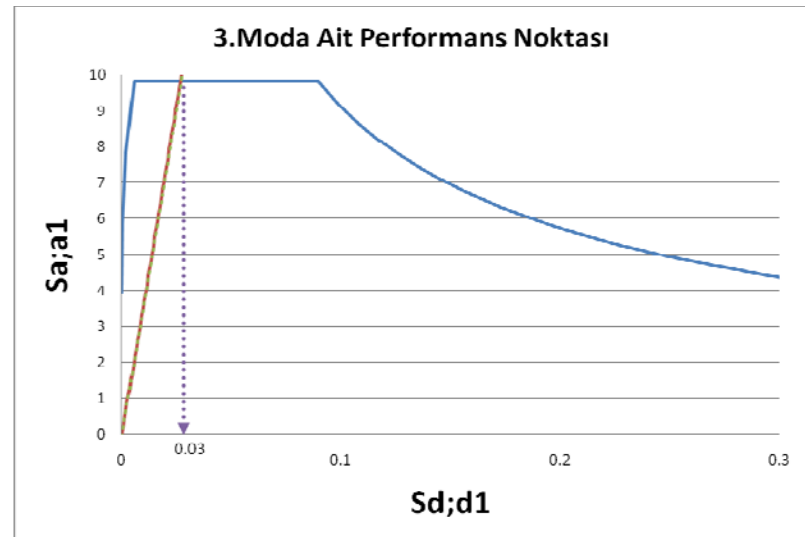
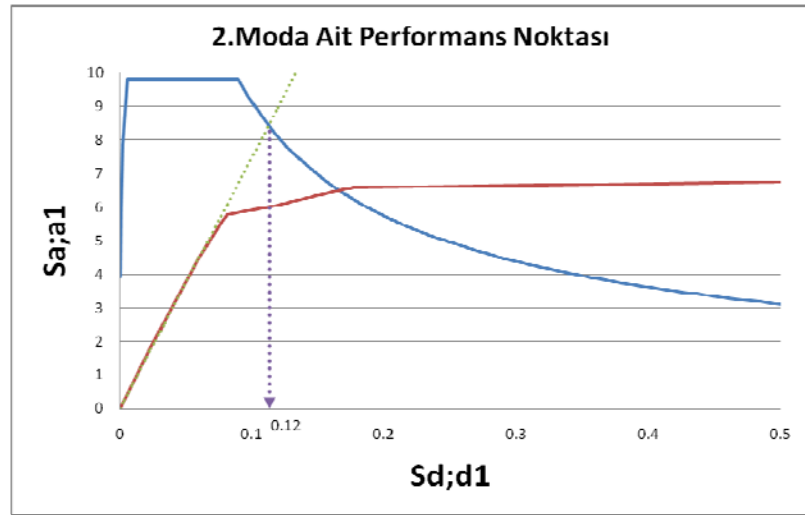
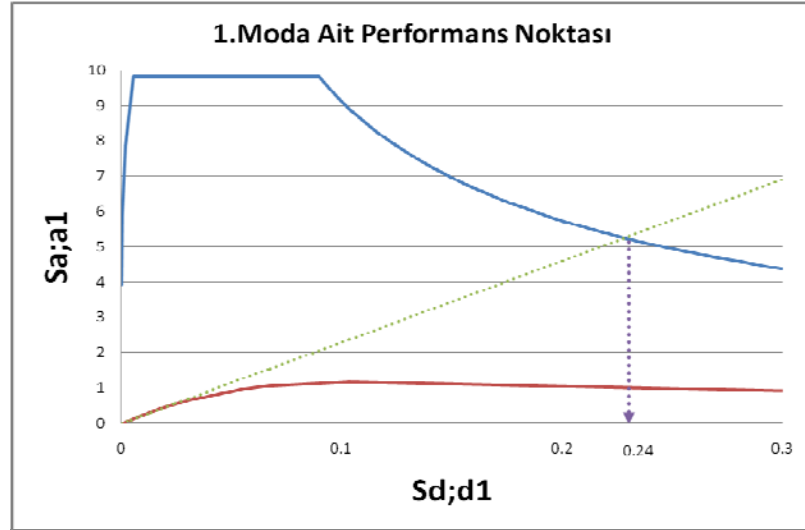
Şekil 4.9: Talep ve kapasite eğrilerinin kesişimi

Her üç mod için bulunan spektral yerdeğiştirmeler kullanılarak $u_{Ni} = d_i \phi_{Ni} \Gamma_i$ bağıntısıyla performans noktalarına geçilir. Bulunan spektral yerdeğiştirmeler ve karşı gelen performans noktaları Çizelge 4.7’de verilmiştir.

Burada belirtilmesi gereken husus Chopra ve Goel tarafından önerilen yöntemde itme eğrisinin iki doğrulu hale getirilmesi söz konusu ise de DBYBHY’nin kapasite spektrumu yöntemini değiştirerek kullanmasından dolayı bu aşamada iki doğrulu itme eğrisi yerine itme eğrisinin teğeti alınarak performans noktasının belirlenmiş olduğudur.

Çizelge 4.7: Her üç mod için bulunan performans noktaları

Mod	Spektral Yerdeğiştirme	Φ_{iN}	Γ_i	Performans Noktası (m)
1.Mod	0.24	1.0	1.26	0.299
2.Mod	0.12	1.0	0.37	0.043
3.Mod	0.03	1.0	0.15	0.004



Şekil 4.10: İlk üç moda ait performans noktaları

4.1.6.5 Performans noktalarına göre plastik mafsalları oluşturan kesitlerin belirlenmesi

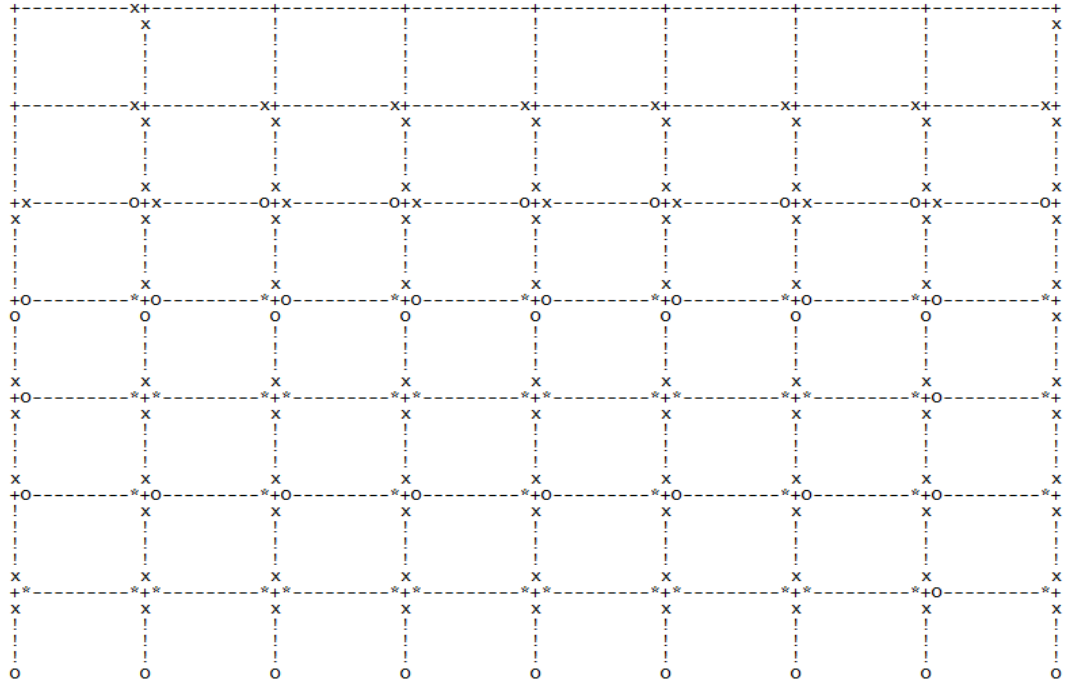
Yapı bulunan performans noktaları yapının hedef yerdeğiştirmesi alınarak her üç mod için ayrı ayrı olarak tekrar modal itme analizine tabi tutulmuştur. Modellenen yapıda kolon ve kiriş numaralarının yapıdaki konumlarına bağlı olarak yerleri Şekil 4.11’de verilmiştir.

049	050	051	052	053	054	055	056	063
055	056	057	058	059	060	061	062	
041	042	043	044	045	046	047	048	054
046	047	048	049	050	051	052	053	
033	034	035	036	037	038	039	040	045
037	038	039	040	041	042	043	044	
025	026	027	028	029	030	031	032	036
028	029	030	031	032	033	034	035	
017	018	019	020	021	022	023	024	027
019	020	021	022	023	024	025	026	
009	010	011	012	013	014	015	016	018
010	011	012	013	014	015	016	017	
001	002	003	004	005	006	007	008	009
001	002	003	004	005	006	007	008	

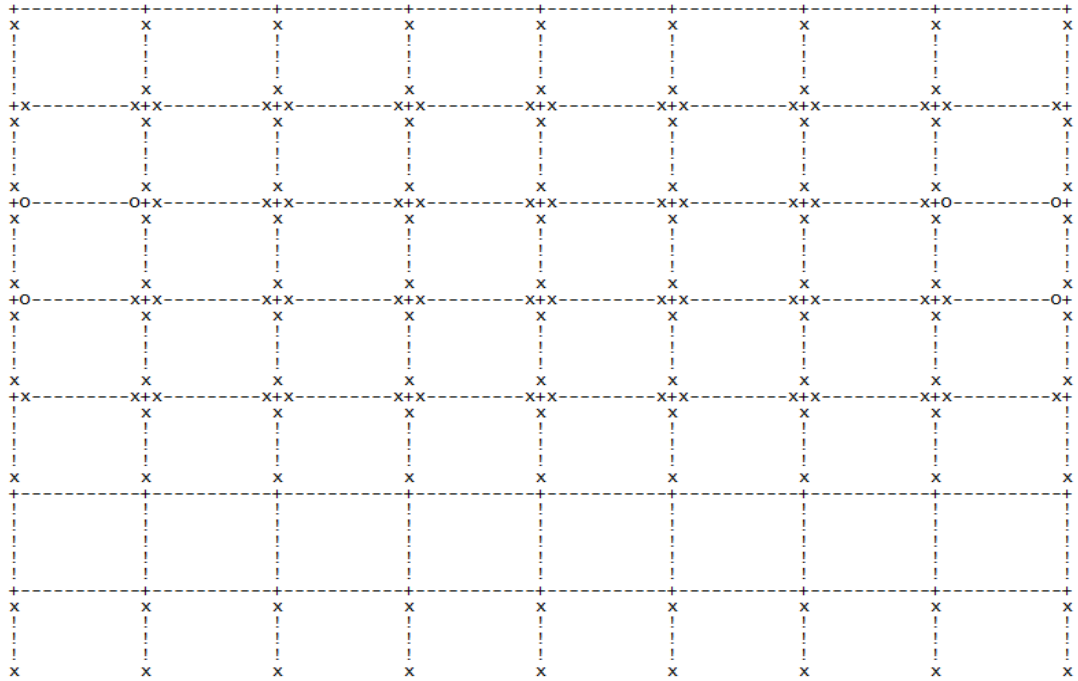
Şekil 4.11: Modellenen kolon ve kirişlerin numaraları

Performans noktalarına bağlı olarak itme analizleri sonucunda yapıda oluşan plastik mafsalların yerleri ise ilk iki mod için Şekil 4.12 de gösterilmiştir. Plastik mafsalları oluşumlarını incelediğimizde ilk modal analizde oluşan plastik mafsalları sayısı 44, ikinci modal itme analizinde oluşan mafsalları sayısı 6 dır. Üçüncü modda plastik mafsalları oluşmamaktadır. Plastik mafsalların sayısına baktığımızda mod sayısı arttıkça plastik mafsalları sayısının düştüğünü görölmektedir. Modal kütle katılım oranlarını incelediğimizde ilk modda yüksek katılım oranı % 90 ve üçüncü moddaki % 0.0977 lik düşük katılım yüzdeleri de bu duruma işaret etmektedir.

1.Modu Ait Plastik Mafsal Yerleri



2.Modu Ait Plastik Mafsal Yerleri



Şekil 4.12: Modal analiz sonucu ilk iki modda oluşan plastik mafsal yerleri

4.1.6.6 Bulunan kesit değerlerinin mod birleştime yöntemiyle belirlenmesi

Yapının ilk iki modunun İdarç 2D programından alınan performans noktasındaki dönme eğrilik ve moment değerleri ilgili kesitlerde kirişler için Çizelge 4.8'de verilmiştir.

Çizelge 4.8: Performans yerdeğiştirmesi için kirişlerde dönme, eğrilik ve moment değerleri

Kirişler										
1.Mod										
Kiriş No	Sol Kesit				Sağ Kesit				M (kNm)	
	$\theta_{plastik}$	ϕ_y	ϕ_p	ϕ_t	$\theta_{plastik}$	ϕ_y	ϕ_p	ϕ_t	Sol	Sağ
8	0.0393	0.0058	0.1035	0.1093	-	-	-	-	305.1	-
9	0.0614	0.0058	0.1617	0.1675	-	-	-	-	173.8	-
10	0.0384	0.0058	0.1010	0.1068	-	-	-	-	173.7	-
11	0.0412	0.0058	0.1085	0.1143	-	-	-	-	173.8	-
12	0.0411	0.0058	0.1083	0.1141	-	-	-	-	173.8	-
13	0.0411	0.0058	0.1083	0.1141	-	-	-	-	173.8	-
14	0.0410	0.0058	0.1080	0.1138	-	-	-	-	173.8	-
15	0.0415	0.0058	0.1092	0.1150	-	-	-	-	173.8	-
16	0.0399	0.0058	0.1049	0.1107	-	-	-	-	173.7	-
17	0.0689	0.0077	0.2418	0.2496	-	-	-	-	173.8	-
24	0.0929	0.0077	0.3261	0.3338	-	-	-	-	174.1	-
25	0.0045	0.0077	0.0159	0.0236	-	-	-	-	172.6	-
26	0.0048	0.0077	0.0167	0.0245	-	-	-	-	172.8	-
27	0.0033	0.0077	0.0115	0.0193	-	-	-	-	172.8	-
28	0.0036	0.0077	0.0125	0.0202	-	-	-	-	172.8	-
29	0.0035	0.0077	0.0124	0.0201	-	-	-	-	172.8	-
30	0.0035	0.0077	0.0121	0.0199	-	-	-	-	172.8	-
31	0.0039	0.0077	0.0137	0.0215	-	-	-	-	172.8	-
32	0.0014	0.0077	0.0049	0.0126	-	-	-	-	172.8	-
33	-	-	-	-	0.0025	0.0077	0.0087	0.0165	-	173.8
34	-	-	-	-	0.0004	0.0077	0.0015	0.0093	-	174.0
35	-	-	-	-	0.0003	0.0077	0.0012	0.0089	-	174.0
36	-	-	-	-	0.0003	0.0077	0.0010	0.0087	-	174.0
37	-	-	-	-	0.0003	0.0077	0.0009	0.0087	-	174.0
38	-	-	-	-	0.0004	0.0077	0.0015	0.0092	-	174.0
39	-	-	-	-	0.0006	0.0077	0.0020	0.0098	-	174.0
40	-	-	-	-	0.0081	0.0077	0.0285	0.0363	-	173.9

Kirişler										
2.Mod										
Kiriş No	Sol Kesit				Sağ Kesit				M (kNm)	
	$\theta_{plastik}$	ϕ_y	ϕ_p	ϕ_t	$\theta_{plastik}$	ϕ_y	ϕ_p	ϕ_t	Sol	Sağ
25	0.0203	0.0077	0.0714	0.0791	-	-	-	-	173.7	-
32	-	-	-	-	0.0203	0.0077	0.0714	0.0791	-	-173.7
33	0.0225	0.0077	0.0788	0.0865	0.0039	0.0077	0.0136	0.0214	173.7	-174.2
40	0.0039	0.0077	0.0136	0.0214	0.0225	0.0077	0.0788	0.0865	174.2	-173.7

Çizelge 4.9: Kirişlere ait modal momentler

Kirişler (Modal Momentler kNm)								
Kiriş No	ϕ_t						Modal (M)	
	Sol			Sağ			Sol	Sağ
	1.Mod	2.Mod	3.Mod	1.Mod	2.Mod	3.Mod		
8	305.13	-	-	-	-	-	305.13	-
9	173.85	-	-	-	-	-	173.85	-
10	173.73	-	-	-	-	-	173.73	-
11	173.76	-	-	-	-	-	173.76	-
12	173.75	-	-	-	-	-	173.75	-
13	173.75	-	-	-	-	-	173.75	-
14	173.75	-	-	-	-	-	173.75	-
15	173.76	-	-	-	-	-	173.76	-
16	173.74	-	-	-	-	-	173.74	-
17	173.83	-	-	-	-	-	173.83	-
24	174.11	-	-	-	-	-	174.11	-
25	172.63	173.73	-	-	-	-	172.63	-
26	172.84	-	-	-	-	-	172.84	-
27	172.76	-	-	-	-	-	172.76	-
28	172.76	-	-	-	-	-	172.76	-
29	172.76	-	-	-	-	-	172.76	-
30	172.76	-	-	-	-	-	172.76	-
31	172.76	-	-	-	-	-	172.76	-
32	172.77	-	-	-	173.73	-	172.77	173.73
33	-	173.70	-	173.84	174.15	-	173.70	246.07
34	-	-	-	174.00	-	-	-	174.00
35	-	-	-	174.00	-	-	-	174.00
36	-	-	-	174.00	-	-	-	174.00
37	-	-	-	174.00	-	-	-	174.00
38	-	-	-	174.00	-	-	-	174.00
39	-	-	-	174.00	-	-	-	174.00
40	-	174.15	-	173.95	173.70	-	174.15	245.82

Çizelge 4.10: Kirişlere ait modal eğrilikler

Kirişler (Modal ϕ_t)								
Kiriş No	ϕ_t						Modal (ϕ_t)	
	Sol			Sağ			Sol	Sağ
	1.Mod	2.Mod	3.Mod	1.Mod	2.Mod	3.Mod		
8	0.1093	-	-	-	-	-	0.1093	-
9	0.1675	-	-	-	-	-	0.1675	-
10	0.1068	-	-	-	-	-	0.1068	-
11	0.1143	-	-	-	-	-	0.1143	-
12	0.1141	-	-	-	-	-	0.1141	-
13	0.1141	-	-	-	-	-	0.1141	-
14	0.1138	-	-	-	-	-	0.1138	-
15	0.1150	-	-	-	-	-	0.1150	-
16	0.1107	-	-	-	-	-	0.1107	-
17	0.2496	-	-	-	-	-	0.2496	-
24	0.3338	-	-	-	-	-	0.3338	-
25	0.0236	0.0791	-	-	-	-	0.0826	-
26	0.0245	-	-	-	-	-	0.0245	-
27	0.0193	-	-	-	-	-	0.0193	-
28	0.0202	-	-	-	-	-	0.0202	-
29	0.0201	-	-	-	-	-	0.0201	-
30	0.0199	-	-	-	-	-	0.0199	-
31	0.0215	-	-	-	-	-	0.0215	-
32	0.0126	-	-	-	0.0791	-	0.0126	0.0791
33	-	0.0865	-	0.0165	0.0214	-	0.0865	0.0270
34	-	-	-	0.0092	-	-	-	0.0092
35	-	-	-	0.0089	-	-	-	0.0089
36	-	-	-	0.0087	-	-	-	0.0087
37	-	-	-	0.0087	-	-	-	0.0087
38	-	-	-	0.0092	-	-	-	0.0092
39	-	-	-	0.0098	-	-	-	0.0098
40	-	0.0214	-	0.0363	0.087	-	0.02137	0.0938

Kirişlerin kesit değerlerinin modal birleştirilmesinde mod birleştirme yöntemi olarak karelerin toplamının karakökü kuralı kullanılmıştır (4.7).

$$r_{MPA} = \left(\sum_{n=1}^J r_n^2 \right)^{1/2} \quad (4.7)$$

r_{MPA} : Modal kesit değerleri

r_n : n'inci moddaki kesit değerleri

Bu yöntemle yapının toplam eğrilik ve karşı gelen moment değerleri iki mod birleştirilerek bulunmuştur. Momentlere ait modal değerler Çizelge 4.9'da modal eğrilik değerleri Çizelge 4.10'da verilmiştir.

Kolonlarda ise sadece 1. modda plastik mafsall oluşumu olduğu için mod birleştirme yapılmamıştır. Kolonlara ait moment ve eğrilik değerleri Çizelge 4.11'de verilmiştir (4.8).

h : Kesit Yüksekliği

θ_p : Plastik Dönme

Φ_y : Akma Eğriliği

Φ_p : Plastik Eğrilik

Φ_t : Toplam Eğrilik = $\Phi_y + \Phi_p$ (4.8)

Çizelge 4.11: Performans yerdeğiştirmesi için kolonlarda dönme, eğrilik, moment ve normal kuvvet değerleri

Kolonlar											
Kolon No	Üst Kesit				Alt Kesit				M (kNm)		N (kN)
	$\theta_{plastik}$	ϕ_y	ϕ_p	ϕ_t	$\theta_{plastik}$	ϕ_y	ϕ_p	ϕ_t	Üst	Alt	
1	-	-	-	-	0.0022	0.0110	0.0111	0.022	-	508.18	768.846
2	-	-	-	-	0.0029	0.0110	0.0146	0.026	-	507.73	939.440
3	-	-	-	-	0.0029	0.0110	0.0146	0.026	-	507.71	935.739
4	-	-	-	-	0.0029	0.0110	0.0146	0.026	-	507.71	938.701
5	-	-	-	-	0.0029	0.0110	0.0146	0.026	-	507.71	938.470
6	-	-	-	-	0.0029	0.0110	0.0146	0.026	-	507.71	938.688
7	-	-	-	-	0.0029	0.0110	0.0146	0.026	-	507.71	937.661
8	-	-	-	-	0.0029	0.0110	0.0147	0.026	-	507.72	1019.192
9	-	-	-	-	0.0022	0.0110	0.0108	0.022	-	508.46	783.444
28	0.0017	0.0110	0.008	0.020	-	-	-	-	-311.18		278.404
29	0.0017	0.0110	0.008	0.019	-	-	-	-	-310.79	-	402.411
30	0.0017	0.0110	0.008	0.019	-	-	-	-	-310.64	-	372.071
31	0.0017	0.0110	0.008	0.019	-	-	-	-	-310.64	-	375.646
32	0.0017	0.0110	0.008	0.019	-	-	-	-	-310.64	-	375.366
33	0.0017	0.0110	0.008	0.019	-	-	-	-	-310.64	-	375.489
34	0.0017	0.0110	0.008	0.019	-	-	-	-	-310.64	-	375.117
35	0.0017	0.0110	0.008	0.019	-	-	-	-	-310.64	-	374.983

4.1.6.7 Yapı performansının belirlenmesi

Yapılan modal itme analizi sonucunda ortaya çıkan şekil değiştirmeler DBYBHY’de belirtilen ve Bölüm 2.3.2.1 anlatılan kesit şekil değiştirme sınırları ile karşılaştırılarak elemanlara ait hasar durumları belirlenmiştir. Kirişlere ait eleman hasar durumları Çizelge 4.12’de, kolonlara ait eleman hasar durumları ise Çizelge 4.13’de verilmiştir. Bu değerlerden yola çıkılarak yapının Bölüm 2.3.3.1 de anlatılan performans düzeyi kriterlerinden “Göçme Öncesi Performans” düzeyinde olduğu görülmüştür.

Çizelge 4.12: Kolonların performans düzeyi

Kolonların Performans Düzeyleri									
Kolon No	Şekil Değiştirmeler								Hasar Bölgesi
	Kesit Değerleri		Sınır Değerler						
	ϵ_c	ϵ_s	$(\epsilon_{cu})_{MN}$	$(\epsilon_s)_{MN}$	$(\epsilon_{cg})_{GV}$	$(\epsilon_s)_{GV}$	$(\epsilon_{cg})_{GC}$	$(\epsilon_s)_{GC}$	
1	0.0075	0.000	0.0035	0.010	0.0135	0.040	0.018	0.060	Belirgin Hasar Böl.
2	0.0031	0.006	0.0035	0.010	0.0135	0.040	0.018	0.060	Minimum Hasar Böl.
3	0.0028	0.006	0.0035	0.010	0.0135	0.040	0.018	0.060	Minimum Hasar Böl.
4	0.0028	0.006	0.0035	0.010	0.0135	0.040	0.018	0.060	Minimum Hasar Böl.
5	0.0027	0.007	0.0035	0.010	0.0135	0.040	0.018	0.060	Minimum Hasar Böl.
6	0.0027	0.007	0.0035	0.010	0.0135	0.040	0.018	0.060	Minimum Hasar Böl.
7	0.0027	0.007	0.0035	0.010	0.0135	0.040	0.018	0.060	Minimum Hasar Böl.
8	0.0021	0.007	0.0035	0.010	0.0135	0.040	0.018	0.060	Minimum Hasar Böl.
9	0.0032	0.005	0.0035	0.010	0.0135	0.040	0.018	0.060	Minimum Hasar Böl.
28	0.0039	0.003	0.0035	0.010	0.0135	0.040	0.018	0.060	Belirgin Hasar Böl.
29	0.0016	0.005	0.0035	0.010	0.0135	0.040	0.018	0.060	Minimum Hasar Böl.
30	0.0019	0.005	0.0035	0.010	0.0135	0.040	0.018	0.060	Minimum Hasar Böl.
31	0.0019	0.005	0.0035	0.010	0.0135	0.040	0.018	0.060	Minimum Hasar Böl.
32	0.0019	0.005	0.0035	0.010	0.0135	0.040	0.018	0.060	Minimum Hasar Böl.
33	0.0019	0.005	0.0035	0.010	0.0135	0.040	0.018	0.060	Minimum Hasar Böl.
34	0.0019	0.005	0.0035	0.010	0.0135	0.040	0.018	0.060	Minimum Hasar Böl.
35	0.0019	0.005	0.0035	0.010	0.0135	0.040	0.018	0.060	Minimum Hasar Böl.

Çizelge 4.13: Kirişlerin performans düzeyi

Kirişlerin Performans Düzeyi									
Kiriş No	Şekil Değişiklikler								Hasar Bölgesi
	Kesit Değerleri		Sınır Değerler						
	ϵ_c	ϵ_s	$(\epsilon_{cu})_{MN}$	$(\epsilon_s)_{MN}$	$(\epsilon_{cg})_{GV}$	$(\epsilon_s)_{GV}$	$(\epsilon_{cg})_{GC}$	$(\epsilon_s)_{GC}$	
8	0.0054	0.055	0.0035	0.010	0.0135	0.040	0.018	0.060	İleri Hasar Böl.
9	0.0069	0.085	0.0035	0.010	0.0135	0.040	0.018	0.060	Göçme Bölgesi
10	0.0045	0.054	0.0035	0.010	0.0135	0.040	0.018	0.060	İleri Hasar Böl.
11	0.0049	0.058	0.0035	0.010	0.0135	0.040	0.018	0.060	İleri Hasar Böl.
12	0.0048	0.058	0.0035	0.010	0.0135	0.040	0.018	0.060	İleri Hasar Böl.
13	0.0048	0.058	0.0035	0.010	0.0135	0.040	0.018	0.060	İleri Hasar Böl.
14	0.0048	0.058	0.0035	0.010	0.0135	0.040	0.018	0.060	İleri Hasar Böl.
15	0.0049	0.058	0.0035	0.010	0.0135	0.040	0.018	0.060	İleri Hasar Böl.
16	0.0047	0.056	0.0035	0.010	0.0135	0.040	0.018	0.060	İleri Hasar Böl.
17	0.0102	0.127	0.0035	0.010	0.0135	0.040	0.018	0.060	Göçme Bölgesi
24	0.0137	0.170	0.0035	0.010	0.0135	0.040	0.018	0.060	Göçme Bölgesi
25	0.0036	0.042	0.0035	0.010	0.0135	0.040	0.018	0.060	İleri Hasar Böl.
26	0.0012	0.012	0.0035	0.010	0.0135	0.040	0.018	0.060	Belirgin Hasar Böl.
27	0.0012	0.009	0.0035	0.010	0.0135	0.040	0.018	0.060	Minimum Hasar Böl.
28	0.0010	0.010	0.0035	0.010	0.0135	0.040	0.018	0.060	Belirgin Hasar Böl.
29	0.0010	0.010	0.0035	0.010	0.0135	0.040	0.018	0.060	Belirgin Hasar Böl.
30	0.0010	0.010	0.0035	0.010	0.0135	0.040	0.018	0.060	Minimum Hasar Böl.
31	0.0011	0.011	0.0035	0.010	0.0135	0.040	0.018	0.060	Belirgin Hasar Böl.
32	0.0034	0.040	0.0035	0.010	0.0135	0.040	0.018	0.060	İleri Hasar Böl.
33	0.0043	0.043	0.0035	0.010	0.0135	0.040	0.018	0.060	İleri Hasar Böl.
34	0.0005	0.005	0.0035	0.010	0.0135	0.040	0.018	0.060	Minimum Hasar Böl.
35	0.0004	0.004	0.0035	0.010	0.0135	0.040	0.018	0.060	Minimum Hasar Böl.
36	0.0005	0.004	0.0035	0.010	0.0135	0.040	0.018	0.060	Minimum Hasar Böl.
37	0.0005	0.004	0.0035	0.010	0.0135	0.040	0.018	0.060	Minimum Hasar Böl.
38	0.0005	0.005	0.0035	0.010	0.0135	0.040	0.018	0.060	Minimum Hasar Böl.
39	0.0005	0.005	0.0035	0.010	0.0135	0.040	0.018	0.060	Minimum Hasar Böl.
40	0.0047	0.047	0.0035	0.010	0.0135	0.040	0.018	0.060	İleri Hasar Böl.

4.1.6.8 DBYBHY'ye göre sonuçların değerlendirilmesi

Yapılan analiz sonucu kolon ve kirişlerde belirgin hasar bölgeleri çoğunlukta olup yer yer de göçme bölgesinde hasar durumu belirlenmiştir.. Bu hasar durumları ile yapı DBYBHY göre göçme öncesi performans düzeyindedir. Yapının deprem sonrası incelenmesinde, Bölüm 3.1.3 de anlatıldığı üzere, ATC 13 sınıflandırılmasına göre taşıyıcı elemanlar ağır hasarlı olarak belirtilmiştir. Bu bağlamda yapının

DBYBHY göre bulunan performans düzeyi ile gerçek durumdaki hasar düzeyi benzerdir. Ayrıca yapının hasar durumu gözönüne alındığında kiriş ve kolon birleşim bölgelerindeki hasar yerleri ile (Şekil 3.7), çok modlu itme analizi ile bulunan plastik mafsal noktaları (Şekil 3.12) arasında da uyum vardır.

Yapının alınan kayıtlara göre en büyük yerdeğiştirmesi 21.21cm olarak okunmuştur. (Bölüm3-Çizelge 3.4) Yapı bu yerdeğiştirme altında ağır hasar almıştır. Yapının çok modlu itme analizi sonucu bulunan performans noktası ise 29.11cm dir ve performans düzeyi göçme öncesi performans düzeyinde bulunmuştur. Buna göre yapının yer değiştirmesi, DBYBHY te tanımlanan tasarım depremine göre çok modlu analiz ile bulunan performans noktasını hemen hemen yakalamaktadır. Dolayısıyla analizde kullanılan tasarım depremi talebine yapının kapasitesinin verdiği karşılık gerçek durum ile örtüşmektedir.

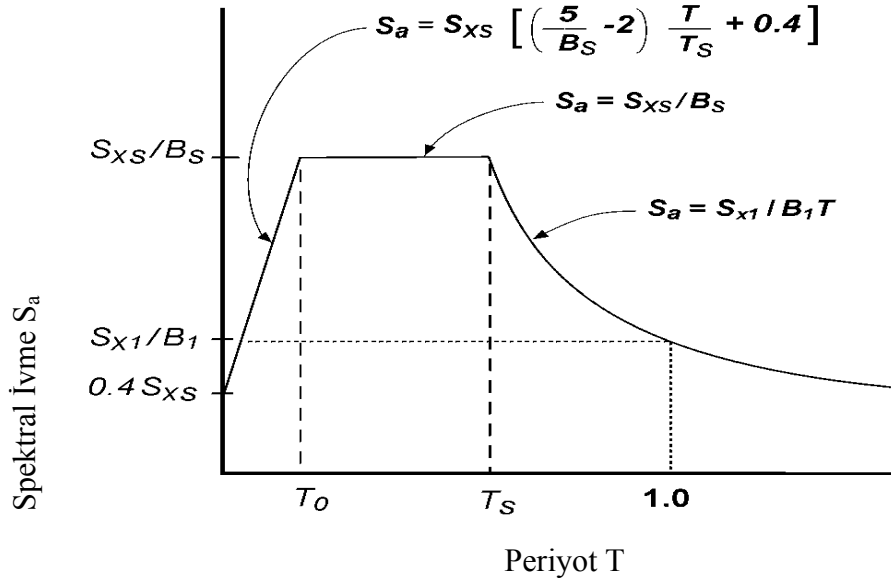
4.1.7 Çok modlu itme analizi FEMA-356' da tanımlı sınır durumlar kullanılarak yapının performansının belirlenmesi

FEMA-356'da tanımlanan doğrusal olmayan analiz yönteminde statik itme analizinde kullanılacak yük vektörleri iki grup altında toplanmıştır. Buna göre birinci grupta eşdeğer deprem yüküne göre, SRSS göre ve hakim mod (1.mod) şekline göre yük vektörleri ile ikinci grupta "adaptive" ve kat kütleleriyle orantılı kuvvet vektörleri yer almaktadır. FEMA-356 ya göre bu iki gruptan seçilecek birer yükleme vektörüyle analiz yapılacaktır.

Tez kapsamında DBYBHY göre performansın belirlenmesinde de kullanılan mod şekilleriyle uyumlu çok modlu itme analizi yapılacaktır. Bu amaçla Bölüm 4.1.4'te tanımlanan kuvvet vektörleri kullanılacaktır. Performans noktasının belirlenmesinde ise DBYBHY'den farklı olarak "Deplasman Katsayıları Metodu" kullanılacaktır. Kesitlerde oluşan hasar durumları FEMA-356'da tanımlı sınır hasar durumları ile karşılaştırılarak yapının performans noktası bulunacaktır.

4.1.7.1 FEMA-356 'ya göre deprem talep eğrisi

FEMA-356'da *BSE-1* (Basic Safety Earthquake) depremi olarak tanımlanan tasarım depremi bu tez kapsamında deprem talep eğrisi olarak esas alınmıştır. Sözü edilen tasarım depremine ait spektrum eğrisinin bağıntıları Şekil 4.13 de verilmiştir.



Şekil 4.13: FEMA-356 ya göre spektrum eğrisi bağıntıları

Spektrum eğrisinin bulunmasında kullanılacak parametreler ise şöyledir (4.9)

$$S_{xs} = F_a S_s \quad (\text{Fema 356 Bölüm 1.6.1.4 - 1.4}) \quad F_a \quad (\text{Fema 356 Tablo 1 - 4})$$

$$S_{x1} = F_v S_1 \quad (\text{Fema 356 Bölüm 1.6.1.4 - 1.5}) \quad F_v \quad (\text{Fema 356 Tablo 1 - 5})$$

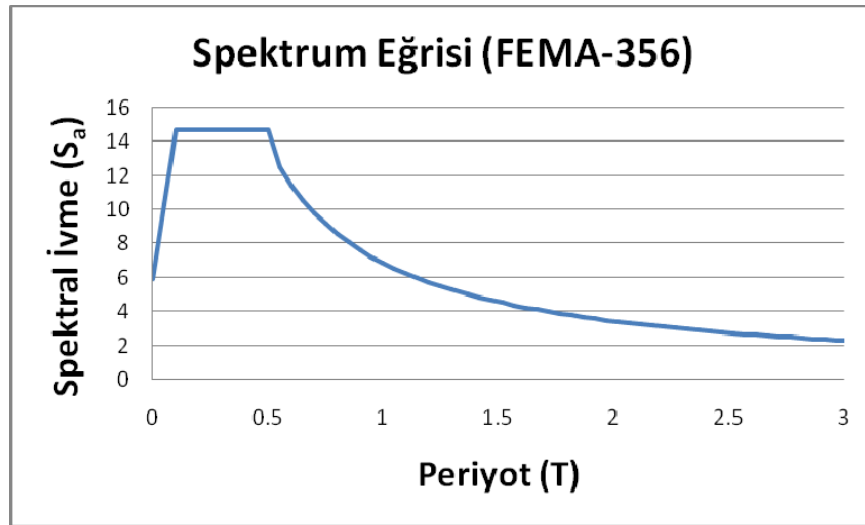
$$T_s = \frac{S_{x1}/B_s}{S_{xs}/B_1} \quad ; \quad T_0 = 0.2T_s \quad ; \quad B_s, B_1 \quad (\text{Fema 356 Tablo 1 - 6}) \quad (4.9)$$

Bu bağıntılarda California eyaletinde %5 sönümle 1 s'lik periyota karşı gelen ivme değeri $S_s = 1.5g$ (Şekil 4.15), 0.2 s'lik periyota karşı gelen ivme değeri ise $S_1 = 0.6g$ (Şekil 4.16) olarak bulunmuştur (FEMA-450, 2005).

Bağıntılar sonucu ortaya çıkan *BSE-1* depremine göre spektrum eğrisi değerleri Çizelge 4.14'de bu değerlere karşı gelen spektrum eğrisi ise Şekil 4.14 de verilmiştir.

Çizelge 4.14: BSE-1 Depremine göre tasarım depremi spektrum eğrisi değerleri

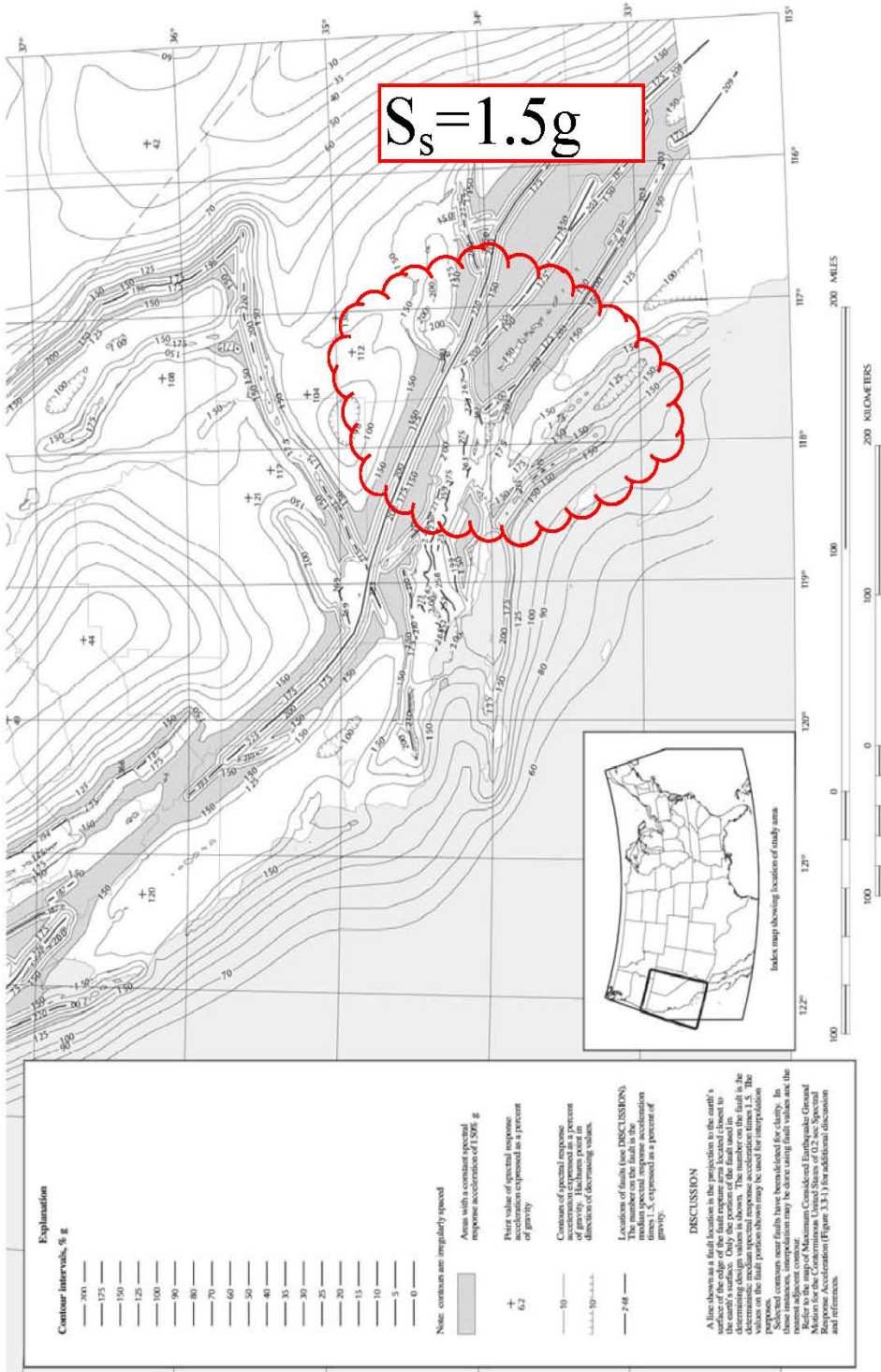
Sxs	1.5	Ss	1.5g
Sx1	0.7	S1	0.7g
B1	1	Fa	1
Bs	1	Fv	1
To	0.1	Zemin	B
Ts	0.5	Sınıfı	



Şekil 4.14: FEMA-356 spektrum eğrisi

4.1.7.2 FEMA- 356'ye göre performans noktalarının bulunması

FEMA-356 standartında ATC-40 ve DBYBHY'den farklı olarak performans noktasının bulunmasında deplasman katsayıları yöntemi kullanılmaktadır. Bu yöntemde göre elde edilen statik itme eğrisi istatistiksel esaslara dayanan bazı düzeltme çarpanları kullanılarak elastik olmayan deplasman spektrumu ile belirlenmektedir. Bu amaçla kapasite eğrisi iki doğrulu hale getirilir ve sözü edilen çarpanlar kullanılarak aşağıda verilen formül yardımıyla hedef deplasman yani performans noktası bulunur (4.10).



Şekil 4.15: S_s ivme değerinin bulunması

$$\delta_{\max} = C_0 C_1 C_2 C_3 S_a \frac{T_e^2}{4\pi^2} g \quad (\text{FEMA-356-3.3.3.3.2}) \quad (4.10)$$

C_0 : Tepe yerdeğiştirmesi ile spektral yer değiştirmeyi ilişkilendiren katsayı

C_1 : Doğrusal elastik davranış ile hesaplanmış yerdeğiştirmeleri elastik olmayan yer değiştirme ile ilişkilendiren katsayı

C_2 : Çevrim modeli ile yerdeğiştirmeleri ilişkilendiren katsayı

C_3 : 2. Mertebe etkiler ile yerdeğiştirmeleri ilişkilendiren katsayı

S_a : Yapının hakim moduna (1.mod) karşı gelen spektral ivme (Bu tez kapsamında her mod için ayrı ayrı hesaplanmıştır)

T_e : Etkin Periyot $T_e = T_i \sqrt{\frac{K_i}{K_e}}$

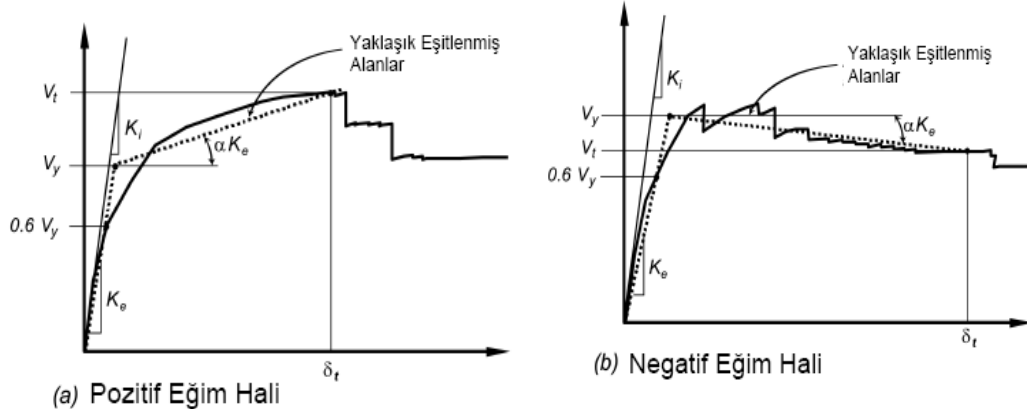
T_i : Hakim Periyot

K_i : Elastik Başlangıç Rijitliği

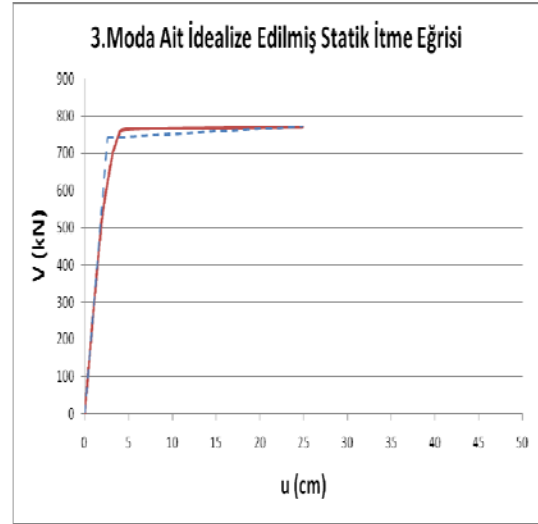
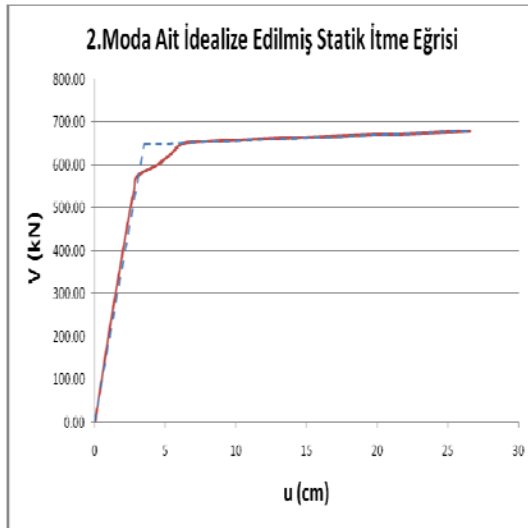
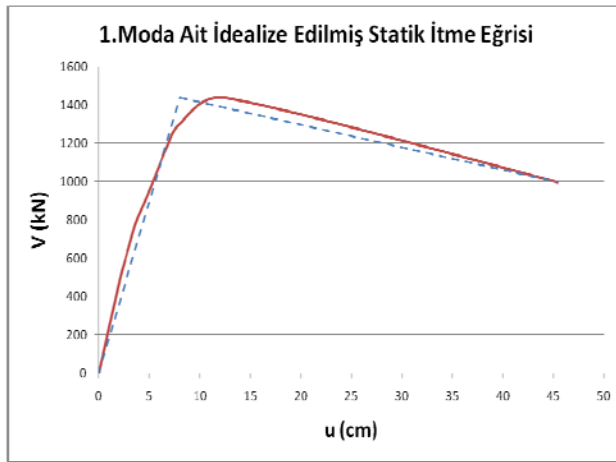
K_e : Elastik Efektif Rijitlik

FEMA-356'da tanımlanan K_i ve K_e rijitlikleri iki doğrusal hale getirilmiş itme eğrisinden bulunur (Şekil 4.17).

Şekil 4.1'de verilen mod şekillerine göre statik itme eğrilerinin idealize edilmiş halleri Şekil 4.18'de verilmiştir. Şekilden görüleceği üzere K_i ve K_e rijitlikleri başlangıç adımı için eşit alınabilirler.



Şekil 4.17: FEMA-356'da tanımlanan idealize edilmiş itme eğrileri



Şekil 4.18: İki doğru ile idealize edilmiş itme eğrileri

4.1.7.3 Hedef yerdeğiştirme hesabında kullanılacak parametrelerin tayini

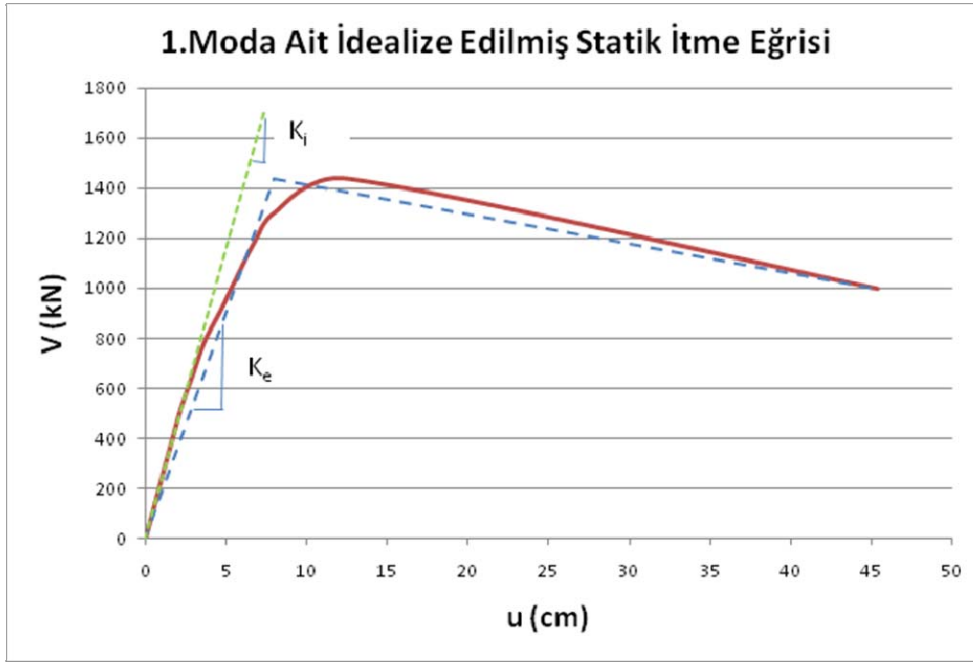
Etkin Periyot (T_e)

FEMA-356 standartında tanımlandığı üzere bulunan efektif periyotlar Çizelge 4.15’de verilmiştir. 1.mod dışındaki itme eğrilerinde $K_i=K_e$ alınabileceği Şekil3.21 de görölmektedir. 1.moda ait itme eğrisinde ise $K_i=230$, $K_e=180$ olarak bulunmuştur (Şekil 4.19).

Çizelge 4.15 FEMA-356’ya göre etkin periyotlar

	1.Mod	2.Mod	3.Mod
T_i	1.21	0.41	0.23
T_e	1.37	0.41	0.23

$K_i=K_e \rightarrow T_e=T_i$ (2.&3. Mod İtme Analizi)



Şekil 4.19: 1.Modu ait K_i ve K_e değerleri

Spektral İvme (S_a)

Bölüm 3.5.4.1 de tanımlanan spektruma göre bulunan spektral ivmeler Çizelge 4.16’ta verilmiştir.

Çizelge 4.16: FEMA-356 yönetmeliğine göre spektral ivmeler

	T_e	S_a (g)
1.Mod	1.37	0.40
2.Mod	0.41	1.50
3.mod	0.23	1.50

C_0 Katsayısı

	C_0
1.Mod	1.26
2.Mod	0.37
3.mod	0.15

C_1 Katsayısı

C_1 katsayısının bulunmasında kullanılacak formüller aşağıda verilmiştir. **(4.11)**

$$T_e \geq T_s \text{ ise } C_1 = 1.0$$

$$T_e \leq T_s \text{ ise } C_1 = [1.0 + (R - 1)T_s] / R$$

$$R = \frac{S_a}{V_y / W} \cdot C_m; C_m = \text{Kütle Katılım Oranı} \quad (4.11)$$

V_y = Yapının karşılayabileceği en büyük taban kesme kuvveti (Şekil 3.20)

Bu formüller ışığında bulunan C_1 katsayısı Çizelge 4.17’de verilmiştir.

Çizelge 4.17: FEMA-356 ye göre C_1 Katsayısı

	V_y	W	S_a	C_m	R	T_e	T_s	C_1
1.Mod	1428	13066.52	0.67	0.91324	5.6	1.37	0.50	1.00
2.Mod	647.5		1.50	0.07455	2.3	0.41		1.12
3.mod	741		1.50	0.00977	0.3	0.23		1.00

C_2 Katsayısı

FEMA-356 yönetmeliği daha kesin bir hesap yapılmadıkça $C_2=1.00$ alınmasını önermektedir.

C₃ Katsayısı

C₃ katsayısının bulunmasında kullanılacak olan formüller aşağıda verilmiştir (4.12).

C₃ = 1.0 (Positif Eğimli İtme Eğrileri)

$$C_3 = 1.0 + \frac{|\alpha|(R-1)^{3/2}}{T_e} \text{ (Negatif Eğimli İtme Eğrileri)} \quad (4.12)$$

Statik itme eğrilerini incelediğimizde 1.mod haricinde diğer iki modun pozitif eğim yaptığı birinci modeun ise negatif eğim yaptığı görülmüştür.(Şekil 3.21) Buna göre bulunan C₃ katsayıları Çizelge 4.18’te verilmiştir.

Çizelge 4.18: FEMA-356’ya göre C₃ katsayıları

	R	T _e	α	C ₃
1.Mod	5.6	1.2	0.052	1.42
2.Mod	2.3	0.4	-	1.00
3.mod	0.3	0.2	-	1.00

Performans Noktası (Hedef Yerdeğiştirme) δ

Bulunan katsayılar karşı gelen hedef deplasmanlar Çizelge 4.19’da verilmiştir.

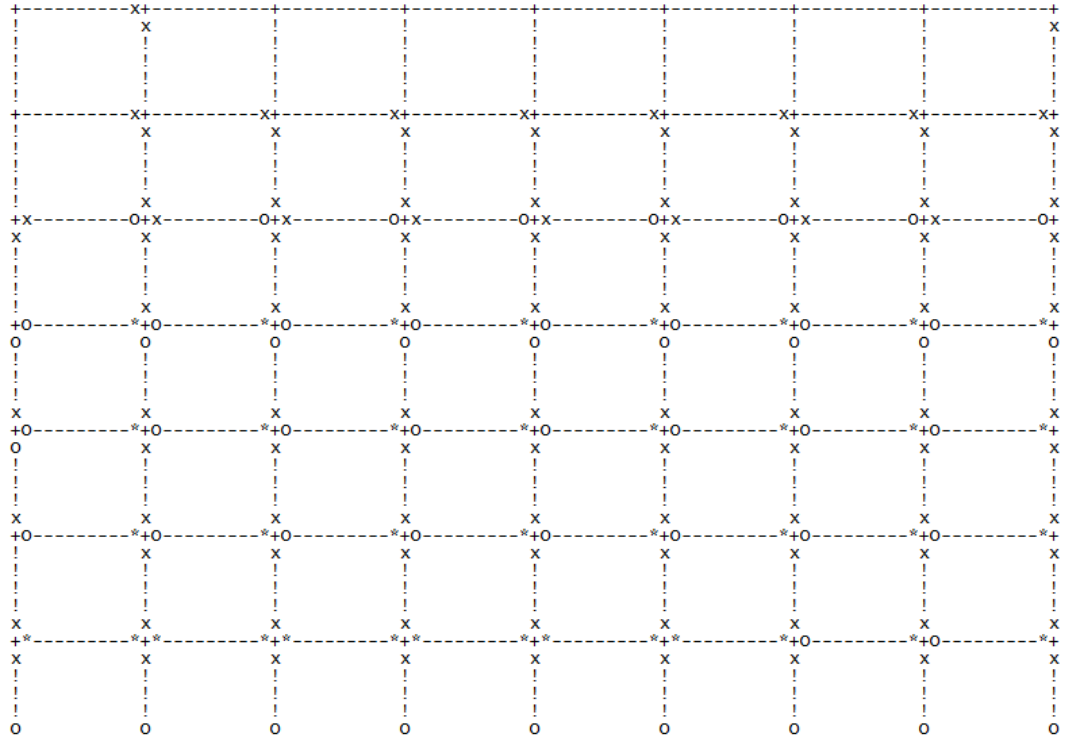
Çizelge 4.19: FEMA-356’ya göre hedef yerdeğiştirmeler

	C ₀	C ₁	C ₂	C ₃	T _e	S _a	δ (m)
1.Mod	1.26	1.00	1.00	1.20	1.37	0.51	0.384
2.Mod	0.37	1.00	1.00	1.00	0.41	1.50	0.023
3.Mod	0.15	1.06	1.00	1.00	0.23	1.50	0.003

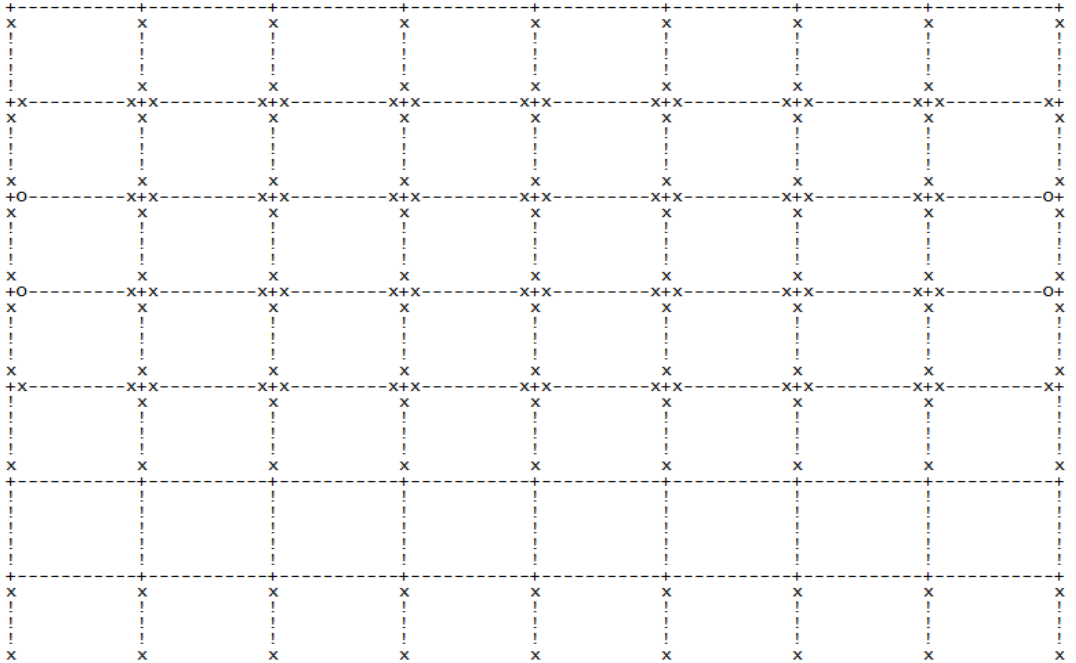
4.1.7.4 Performans noktalarına göre plastik mafsallardan oluşan kesitlerin belirlenmesi

Yapı IDARC-2D programında belirlenen performans noktalarına kadar itme analizine tabi tutularak oluşan plastik mafsallar bulunmuştur. Buna göre oluşan plastik mafsalların yerleri ilk iki mod için Şekil 4.20 de verilmiştir. İlk modda oluşan mafsallardan sayısı 53, ikinci modda oluşan mafsallardan sayısı 4 iken üçüncü modda mafsallardan oluşmamıştır.

1. Moda Ait Plastik Mafsal Yerleri



2. Moda Ait Plastik Mafsal Yerleri



Şekil 4.20: Yapının ilk iki moduna ait plastik mafsal noktaları

4.1.7.5 Bulunan kesit değerlerinin mod birleştime yöntemiyle belirlenmesi

Yapının ilk iki modunun İdarç 2D programından alınan performans noktasındaki dönme eğrilik ve moment değerleri ilgili kesitlerde kirişler için Çizelge 4.20'de verilmiştir.

Çizelge 4.20: Performans yerdeğiştirmesi için kirişlerde dönme, eğrilik ve moment değerleri

Kirişler										
1.Mod										
Kiriş No	Sol Kesit				Sağ Kesit				M (kN)	
	$\theta_{plastik}$	ϕ_y	ϕ_p	ϕ_t	$\theta_{plastik}$	ϕ_y	ϕ_p	ϕ_t	Sol	Sağ
7	0.02121	0.0058	0.05581	0.062	-	-	-	-	304.9	-
8	0.01152	0.0058	0.03032	0.036	-	-	-	-	302.8	-
9	0.02372	0.0058	0.06242	0.068	-	-	-	-	172.9	-
10	0.00557	0.0058	0.01465	0.020	-	-	-	-	172.5	-
11	0.02040	0.0058	0.05369	0.059	-	-	-	-	173.5	-
12	0.02053	0.0058	0.05402	0.060	-	-	-	-	173.5	-
13	0.02078	0.0058	0.05469	0.060	-	-	-	-	173.5	-
14	0.02046	0.0058	0.05383	0.060	-	-	-	-	173.5	-
15	0.02071	0.0058	0.05449	0.060	-	-	-	-	173.5	-
16	0.01079	0.0058	0.02838	0.034	-	-	-	-	172.8	-
17	0.05913	0.0058	0.15560	0.161	-	-	-	-	173.7	-
18	0.08299	0.0058	0.21838	0.224	-	-	-	-	174.0	-
19	0.07823	0.0058	0.20586	0.212	-	-	-	-	174.0	-
20	0.07804	0.0058	0.20538	0.211	-	-	-	-	174.0	-
21	0.07800	0.0058	0.20525	0.211	-	-	-	-	174.0	-
22	0.07811	0.0077	0.27407	0.282	-	-	-	-	174.0	-
23	0.07785	0.0077	0.27314	0.281	-	-	-	-	174.0	-
24	0.08080	0.0077	0.28350	0.291	-	-	-	-	174.0	-
25	0.00486	0.0077	0.01706	0.025	-	-	-	-	171.8	-
26	0.00604	0.0077	0.02120	0.029	-	-	-	-	172.0	-
27	0.00448	0.0077	0.01573	0.023	-	-	-	-	172.0	-
28	0.00477	0.0077	0.01673	0.024	-	-	-	-	172.0	-
29	0.00473	0.0077	0.01660	0.024	-	-	-	-	172.0	-
30	0.00466	0.0077	0.01633	0.024	-	-	-	-	172.0	-
31	0.00519	0.0077	0.01823	0.026	-	-	-	-	172.0	-
32	0.00190	0.0077	0.00668	0.014	-	-	-	-	172.1	-
33	-	-	-	-	0.00226	0.0077	0.0079	0.01568	-	173.7
34	-	-	-	-	0.00030	0.0077	0.0010	0.00878	-	173.8
35	-	-	-	-	0.00070	0.0077	0.0024	0.01020	-	173.8
36	-	-	-	-	0.00064	0.0077	0.0022	0.01000	-	173.8
37	-	-	-	-	0.00062	0.0077	0.0021	0.00993	-	173.8
38	-	-	-	-	0.00079	0.0077	0.0027	0.01050	-	173.8
39	-	-	-	-	0.00022	0.0077	0.0007	0.00851	-	173.8
40	-	-	-	-	0.00783	0.0077	0.0274	0.03522	-	173.8

Kirişler										
2.Mod										
Kiriş No	Sol Kesit				Sağ Kesit				M (kNm)	
	$\theta_{plastik}$	ϕ_y	ϕ_p	ϕ_t	$\theta_{plastik}$	ϕ_y	ϕ_p	ϕ_t	Sol	Sağ
25	0.00430	0.0077	0.01508	0.0228	-	-	-	-	174.1	-
32	-	-	-	-	0.00430	0.0077	0.01508	0.023	-	-174.1
33	0.00481	0.0077	0.01687	0.0246	-	-	-	-	174.1	-
40	-	-	-	-	0.00650	0.0077	0.02281	0.031	-	-174.1

Kirişlerin kesit değerlerinin modal birleştirilmesinde mod birleştirme yöntemi olarak DBYBHY'ye göre yapılan analizde de kullanılan karelerin toplamının karakökü kuralı kullanılmıştır.

Momentlere ait modal değerler Çizelge 4.21'de modal dönme değerleri Çizelge 4.22'de verilmiştir.

Çizelge 4.21: Kirişlere ait modal momentler

Kirişler (Modal Momentler kN-m)								
Kiriş No	ϕt						Modal (M)	
	Sol			Sağ			Sol	Sağ
	1.Mod	2.Mod	3.Mod	1.Mod	2.Mod	3.Mod		
7	304.90	-	-	-	-	-	304.90	-
8	302.84	-	-	-	-	-	302.84	-
9	172.94	-	-	-	-	-	172.94	-
10	172.59	-	-	-	-	-	172.59	-
11	173.54	-	-	-	-	-	173.54	-
12	173.54	-	-	-	-	-	173.54	-
13	173.54	-	-	-	-	-	173.54	-
14	173.54	-	-	-	-	-	173.54	-
15	173.54	-	-	-	-	-	173.54	-
16	172.84	-	-	-	-	-	172.84	-
17	173.78	-	-	-	-	-	173.78	-
18	174.09	-	-	-	-	-	174.09	-
19	174.04	-	-	-	-	-	174.04	-
20	174.04	-	-	-	-	-	174.04	-
21	174.04	-	-	-	-	-	174.04	-
22	174.04	-	-	-	-	-	174.04	-
23	174.04	-	-	-	-	-	174.04	-
24	174.05	-	-	-	-	-	174.05	-
25	171.85	174.11	-	-	-	-	244.64	-
26	172.04	-	-	-	-	-	172.04	-
27	172.07	-	-	-	-	-	172.07	-
28	172.07	-	-	-	-	-	172.07	-
29	172.07	-	-	-	-	-	172.07	-
30	172.07	-	-	-	-	-	172.07	-
31	172.07	-	-	-	-	-	172.07	-
32	172.10	-	-	-	174.11	-	172.10	174.11
33	-	174.10	-	173.71	-	-	174.10	173.71
34	-	-	-	173.86	-	-	-	173.86
35	-	-	-	173.85	-	-	-	173.85
36	-	-	-	173.85	-	-	-	173.85
37	-	-	-	173.85	-	-	-	173.85
38	-	-	-	173.85	-	-	-	173.85
39	-	-	-	173.83	-	-	-	173.83
40	-	-	-	173.88	174.10	-	-	246.06

Çizelge 4.22: Kirişlere ait modal dönmeler

Kirişler (Modal θ_t)								
Kiriş No	θ_t						Modal (θ_t)	
	Sol			Sağ			Sol	Sağ
	1.Mod	2.Mod	3.Mod	1.Mod	2.Mod	3.Mod		
7	0.0212	-	-	-	-	-	0.0212	-
8	0.0115	-	-	-	-	-	0.0115	-
9	0.0237	-	-	-	-	-	0.0237	-
10	0.0056	-	-	-	-	-	0.0056	-
11	0.0204	-	-	-	-	-	0.0204	-
12	0.0205	-	-	-	-	-	0.0205	-
13	0.0208	-	-	-	-	-	0.0208	-
14	0.0205	-	-	-	-	-	0.0205	-
15	0.0207	-	-	-	-	-	0.0207	-
16	0.0108	-	-	-	-	-	0.0108	-
17	0.0591	-	-	-	-	-	0.0591	-
18	0.0830	-	-	-	-	-	0.0830	-
19	0.0782	-	-	-	-	-	0.0782	-
20	0.0780	-	-	-	-	-	0.0780	-
21	0.0780	-	-	-	-	-	0.0780	-
22	0.0781	-	-	-	-	-	0.0781	-
23	0.0778	-	-	-	-	-	0.0778	-
24	0.0808	-	-	-	-	-	0.0808	-
25	0.0049	0.0043	-	-	-	-	0.0065	-
26	0.0060	-	-	-	-	-	0.0060	-
27	0.0045	-	-	-	-	-	0.0045	-
28	0.0048	-	-	-	-	-	0.0048	-
29	0.0047	-	-	-	-	-	0.0047	-
30	0.0047	-	-	-	-	-	0.0047	-
31	0.0052	-	-	-	-	-	0.0052	-
32	0.0019	-	-	-	0.00430	-	0.0019	0.0043
33	-	0.0048	-	0.00226	-	-	0.00481	0.0023
34	-	-	-	0.00030	-	-	-	0.0003
35	-	-	-	0.00070	-	-	-	0.0007
36	-	-	-	0.00064	-	-	-	0.0006
37	-	-	-	0.00062	-	-	-	0.0006
38	-	-	-	0.00079	-	-	-	0.0008
39	-	-	-	0.00022	-	-	-	0.0002
40	-	-	-	0.00783	0.00650	-	-	0.0102

Kolonlarda ise sadece 1. modda plastik mafsal oluşumu olduğu için mod birleştirme yapılmamış ilk modda oluşan plastik mafsal değerleri alınmıştır. Kolonlara ait moment ve eğrilik değerleri Çizelge 4.23'te verilmiştir **(4.13)**

h : Kesit Yüksekliği, θ_p : Plastik Dönme, Φ_y : Akma Eğriliği, Φ_p : Plastik Eğrilik

$$\Phi_t: \text{Toplam Eğrilik} = \Phi_y + \Phi_p \quad \text{(4.13)}$$

Çizelge 4.23: Performans yerdeğiştirmesi için kolonlarda dönme, eğrilik, moment ve normal kuvvet değerleri

Kolonlar											
Kolon No	Üst Kesit				Alt Kesit				M (kNm)		N (kN)
	$\theta_{plastik}$	ϕ_y	ϕ_p	ϕ_t	$\theta_{plastik}$	ϕ_y	ϕ_p	ϕ_t	Üst	Alt	
1	-	-	-	-	0.0023	0.0110	0.0116	0.023	-	507.531	555.124
2	-	-	-	-	0.0031	0.0110	0.0153	0.026	-	507.064	963.206
3	-	-	-	-	0.0030	0.0110	0.0152	0.026	-	507.073	937.603
4	-	-	-	-	0.0030	0.0110	0.0152	0.026	-	507.080	938.630
5	-	-	-	-	0.0030	0.0110	0.0152	0.026	-	507.079	938.590
6	-	-	-	-	0.0030	0.0110	0.0152	0.026	-	507.080	938.515
7	-	-	-	-	0.0030	0.0110	0.0152	0.026	-	507.090	990.957
8	-	-	-	-	0.0029	0.0110	0.0145	0.025	-	507.467	941.820
9	-	-	-	-	0.0020	0.0110	0.0102	0.021	-	507.779	803.393
19	0.0031	0.0110	0.016	0.027	-	-	-	-	311.36		356.459
28	0.0018	0.0110	0.009	0.020	-	-	-	-	310.35	-	262.585
29	0.0018	0.0110	0.009	0.020	-	-	-	-	309.98	-	402.391
30	0.0017	0.0110	0.009	0.020	-	-	-	-	309.96	-	373.553
31	0.0017	0.0110	0.009	0.020	-	-	-	-	309.96	-	375.675
32	0.0017	0.0110	0.009	0.020	-	-	-	-	309.96	-	375.343
33	0.0017	0.0110	0.009	0.020	-	-	-	-	309.96	-	375.585
34	0.0017	0.0110	0.009	0.020	-	-	-	-	309.97	-	374.471

4.1.7.6 Yapı performansının belirlenmesi

Yapılan modal itme analizi sonucunda ortaya çıkan plastik dönmeler FEMA-356’da belirtilen Çizelge 4.24 ve Çizelge 4.25’te verilen sınırlarla karşılaştırılmıştır. Bu değerlerden yola çıkarak yapının Bölüm2’de anlatılan performans seviyelerinden “Göçmenin Önlenmesi Performans” düzeyinde olduğu görülmüştür.

Çizelge 4.24: FEMA-356’ya göre kirişlerin performans düzeyi

Kirişlerin Performans Düzeyi								
Kiriş No	$\frac{(\rho - \rho')}{\rho'}$	Etriye	$\frac{V}{(b_w d \sqrt{f_c})}$	Modal (θ_t)	Performans Seviyeleri			Performans Aralıkları
					Hemen Kullanım	Can Güvenliği	Göçmenin Önlenmesi	
7	≤ 0.0	Uygun	≤ 3	0.0212	0.010	0.020	0.025	Sınırlı Güvenlik
8	≤ 0.0	Uygun	≤ 3	0.0115	0.010	0.020	0.025	Sınırlı Güvenlik
9	≤ 0.0	Uygun	≤ 3	0.0237	0.010	0.020	0.025	Sınırlı Güvenlik
10	≤ 0.0	Uygun	≤ 3	0.0115	0.010	0.020	0.025	Sınırlı Güvenlik
11	≤ 0.0	Uygun	≤ 3	0.0204	0.010	0.020	0.025	Sınırlı Güvenlik
12	≤ 0.0	Uygun	≤ 3	0.0205	0.010	0.020	0.025	Sınırlı Güvenlik
13	≤ 0.0	Uygun	≤ 3	0.0208	0.010	0.020	0.025	Sınırlı Güvenlik
14	≤ 0.0	Uygun	≤ 3	0.0205	0.010	0.020	0.025	Sınırlı Güvenlik
15	≤ 0.0	Uygun	≤ 3	0.0207	0.010	0.020	0.025	Sınırlı Güvenlik
16	≤ 0.0	Uygun	≤ 3	0.0108	0.010	0.020	0.025	Sınırlı Güvenlik
17	≤ 0.0	Uygun	≤ 3	0.0591	0.010	0.020	0.025	Performans Yok
18	≤ 0.0	Uygun	≤ 3	0.0830	0.010	0.020	0.025	Performans Yok
19	≤ 0.0	Uygun	≤ 3	0.0782	0.010	0.020	0.025	Performans Yok
20	≤ 0.0	Uygun	≤ 3	0.0780	0.010	0.020	0.025	Performans Yok
21	≤ 0.0	Uygun	≤ 3	0.0780	0.010	0.020	0.025	Performans Yok
22	≤ 0.0	Uygun	≤ 3	0.0781	0.010	0.020	0.025	Performans Yok
23	≤ 0.0	Uygun	≤ 3	0.0778	0.010	0.020	0.025	Performans Yok
24	≤ 0.0	Uygun	≤ 3	0.0250	0.010	0.020	0.025	Sınırlı Güvenlik
25	≤ 0.0	Uygun	≤ 3	0.0065	0.010	0.020	0.025	Hasar Kontrollü
26	≤ 0.0	Uygun	≤ 3	0.0060	0.010	0.020	0.025	Hasar Kontrollü
27	≤ 0.0	Uygun	≤ 3	0.0045	0.010	0.020	0.025	Hasar Kontrollü
28	≤ 0.0	Uygun	≤ 3	0.0048	0.010	0.020	0.025	Hasar Kontrollü
29	≤ 0.0	Uygun	≤ 3	0.0047	0.010	0.020	0.025	Hasar Kontrollü
30	≤ 0.0	Uygun	≤ 3	0.0047	0.010	0.020	0.025	Hasar Kontrollü
31	≤ 0.0	Uygun	≤ 3	0.0052	0.010	0.020	0.025	Hasar Kontrollü
32	≤ 0.0	Uygun	≤ 3	0.0043	0.010	0.020	0.025	Hasar Kontrollü
33	≤ 0.0	Uygun	≤ 3	0.0048	0.010	0.020	0.025	Hasar Kontrollü
34	≤ 0.0	Uygun	≤ 3	0.0003	0.010	0.020	0.025	Hasar Kontrollü
35	≤ 0.0	Uygun	≤ 3	0.0007	0.010	0.020	0.025	Hasar Kontrollü
36	≤ 0.0	Uygun	≤ 3	0.0006	0.010	0.020	0.025	Hasar Kontrollü
37	≤ 0.0	Uygun	≤ 3	0.0006	0.010	0.020	0.025	Hasar Kontrollü
38	≤ 0.0	Uygun	≤ 3	0.0008	0.010	0.020	0.025	Hasar Kontrollü
39	≤ 0.0	Uygun	≤ 3	0.0002	0.010	0.020	0.025	Hasar Kontrollü
40	≤ 0.0	Uygun	≤ 3	0.0102	0.010	0.020	0.025	Sınırlı Güvenlik

Çizelge 4.25: FEMA-356'ya göre kolonların performans düzeyi

Kolonların Performans Düzeyleri								
Kolon No	$\frac{P}{A_g f_c'}$	Etriye	$\frac{V}{(b_w d \sqrt{f_c})}$	Modal (θ_t)	Performans Seviyeleri			Performans Aralıkları
					Hemen Kullanım	Can Güvenliği	Göçmenin Önlenmesi	
1	≤ 0.1	Uygun	≤ 3	0.0023	0.005	0.015	0.02	Performans Yok
2	≤ 0.1	Uygun	≤ 3	0.0031	0.005	0.015	0.02	Performans Yok
3	≤ 0.1	Uygun	≤ 3	0.0030	0.005	0.015	0.02	Performans Yok
4	≤ 0.1	Uygun	≤ 3	0.0030	0.005	0.015	0.02	Performans Yok
5	≤ 0.1	Uygun	≤ 3	0.0030	0.005	0.015	0.02	Performans Yok
6	≤ 0.1	Uygun	≤ 3	0.0030	0.005	0.015	0.02	Performans Yok
7	≤ 0.1	Uygun	≤ 3	0.0030	0.005	0.015	0.02	Performans Yok
8	≤ 0.1	Uygun	≤ 3	0.0029	0.005	0.015	0.02	Performans Yok
9	≤ 0.1	Uygun	≤ 3	0.0020	0.005	0.015	0.02	Performans Yok
19	≤ 0.1	Uygun	≤ 3	0.0031	0.005	0.015	0.02	Performans Yok
28	≤ 0.1	Uygun	≤ 3	0.0018	0.005	0.015	0.02	Sınırlı Güvenlik
29	≤ 0.1	Uygun	≤ 3	0.0018	0.005	0.015	0.02	Sınırlı Güvenlik
30	≤ 0.1	Uygun	≤ 3	0.0017	0.005	0.015	0.02	Sınırlı Güvenlik
31	≤ 0.1	Uygun	≤ 3	0.0017	0.005	0.015	0.02	Sınırlı Güvenlik
32	≤ 0.1	Uygun	≤ 3	0.0017	0.005	0.015	0.02	Sınırlı Güvenlik
33	≤ 0.1	Uygun	≤ 3	0.0017	0.005	0.015	0.02	Sınırlı Güvenlik
34	≤ 0.1	Uygun	≤ 3	0.0017	0.005	0.015	0.02	Sınırlı Güvenlik

4.1.7.7 FEMA-356'ya göre sonuçların değerlendirilmesi

Yapılan analiz sonucu kolon ve kirişlerde yer yer performans seviyeleri sağlanamamış, sınırlı güvenlik bölgeleri ise çoğunluktadır. Bu durumda yapısal elemanların performans seviyesi FEMA-356 standartına göre S-5 göçmenin önlenmesi performans seviyesi olarak alınabilir. Yapısal olmayan elemanlarında ağır hasar alacağı göz önünde bulundurulursa yapının Bölüm 2 de açıklanan performans seviyelerinden yapısal stabilitenin korunması performansna karşı geldiği görülür.

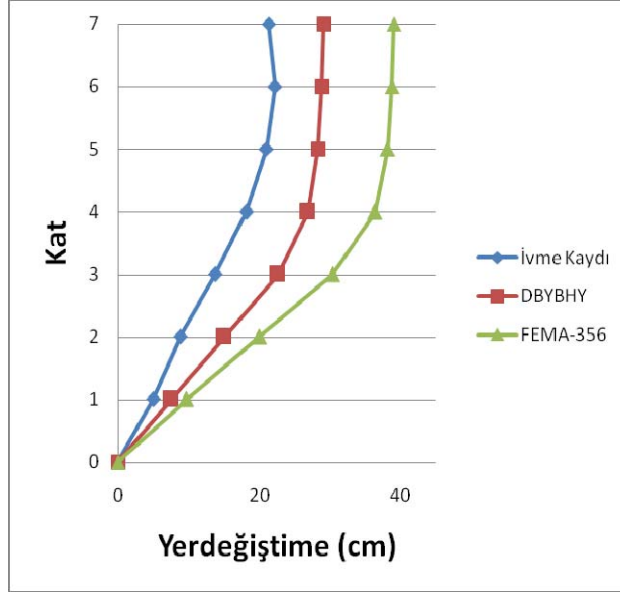
Yapının alınan kayıtlara göre en büyük yerdeğiştirme 21.21cm olarak okunmuştur. (Bölüm3-Çizelge 3.4) Yapı bu yerdeğiştirme altında ağır hasar almıştır. Yapının çok modlu itme analizi sonucu bulunan performans noktası ise 40cm dir. Bu bağlamda yapının gerçek yerdeğiştirme FEMA-356 ya göre bulunan performans noktasının altında kalmaktadır. Dolayısıyla yapılan analiz sonucunda hasar seviyesinin daha ileri düzeyde çıkması beklenen bir durumdur. Gerçekte de yapının deprem sonrası incelenmesinde yapısal elemanlar ağır hasarlı olarak bulunmakla birlikte FEMA-356 ya göre hesaplanan hasar seviyesi gerçek durumdaki hasar seviyesinden çok daha ileri bir hasar düzeyi oluşturmaktadır.

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada, Northridge depremi sırasında kayıtları alınmış betonarme bir binada doğrusal elastik olmayan hesap yöntemlerinden Chopra ve Goel tarafından önerilen çok modlu itme analizi ile sayısal inceleme gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

Sayısal incelemede DBYBHY ve FEMA-356 standartları esas alınmıştır. Buna göre DBYBHY’de yer alan hakim modu göz önüne alan artımsal eşdeğer deprem yüküne göre itme analizi, birden çok modu içerecek şekilde Chopra ve Goel tarafından önerilen yönteme göre uyarlanmış aynı şekilde FEMA-356 yönetmeliğinde tanımlı olan tek modlu itme analizinde birden çok modun katkısını içerecek şekilde hesaplarda kullanılmıştır. Hedef yerdeğiştirmelerin bulunmasında DBYBHY tanımlı olan kapasite spektrum metodunun benzeri metot kullanılmış, FEMA-356 da ise deplasman katsayıları metodu uygulanmıştır. Yapının performans noktasının bulunmasında ise her iki yönetmelikte tanımlı sınır değerler ve şartlar kullanılmıştır.

Yapının modellenmesinde IDARC-2D programından yararlanılmış, betonarme histeretik modeller için incelenen yapıya uygunluğu belirlenmiş olan üç doğrulu model esas alınmıştır. DBYBHY ve FEMA-356 yönetmeliklerine göre bulunan hedef yerdeğiştirmelere karşı gelen performans noktaları belirlenmiş ve yapının gerçek hasar durumu ile karşılaştırılmıştır. Buna göre yapının gerçek durumdaki yer değiştirmesi 23 cm iken DBYBHY göre hesaplanan hedef yerdeğiştirmesi 29.11cm, FEMA-356 yönetmeliğine göre ise 39cm olarak bulunmuştur. Yapıdan alınan ivme kayıtları ile DBYBHY ve FEMA-356 yönetmeliklerine göre bulunan performans noktalarında meydana gelen kat yerdeğiştirmeleri Şekil 5.1’de verilmiştir.



Şekil 5.1: Yapıdan alınan kat yerdeğiştirmeleri ile DBYBHY ve FEMA-356 yönetmeliklerine göre bulunan performans noktalarına ait yerdeğiştirmelerin kıyaslanması

DBYBHY yönetmeliğine göre bulunan hedef yerdeğiştirmenin yapının gerçek durumdaki yerdeğiştirmesine yakın olması nedeniyle yapının bu yönetmeliğe göre hesaplanan kesit hasarları, yapılan analizin doğası gereği gerçek durum ile örtüşmelidir. Nitekim DBYBHY göre birden çok modun gözönüne alınmasıyla yapılan analizde bulunan kesit hasar değerleri ile gerçek durumda gözlenen hasarlar birbiriyle örtüşmektedir. Şayet analiz tek bir modun etkisi göz önüne alınarak yapılmış olsaydı gerçek durumdan uzaklaşılacak ve daha sınırlı kesit hasarları bulunacak ve yapının performansı yüksek çıkacaktı. Örneğin DBYBHY göre 25 ve 40 numaralı kirişler tek modlu itme analizinde belirgin hasar bölgesinde çıkarken, çok modlu itme analizi sonucuna göre ise ileri hasar bölgesinde bulunmaktadır (Çizelge 5.1). Diğer taşıyıcı sistem elemanlarındaki hasar bölgeleri ise aynı kalmaktadır.

Çizelge 5.1: DBYBHY'e göre tek ve çok modlu analizde performans noktalarının karşılaştırılması

DBYBHY'e Göre Tek ve Çok Modlu İtme Analizinin Karşılaştırılması							
Tek Modlu Analize Göre Hasar Bölgesi				Çok Modlu Analize Göre Hasar Bölgesi			
Kiriş No	Kesit Değerleri		Hasar Bölgesi	Kiriş No	Kesit Değerleri		Hasar Bölgesi
	ϵ_c	ϵ_s			ϵ_c	ϵ_s	
25	0.0010	0.0120	Belirgin Hasar Böl.	25	0.0036	0.0418	İleri Hasar Böl.
40	0.0018	0.0181	Belirgin Hasar Böl.	40	0.0047	0.0469	İleri Hasar Böl.

Aynı şekilde FEMA-356 ya göre yapılan analizde ise 25 ve 40 numaralı kirişlerden 40 numaralı kiriş tek modlu itme analizinde çok modlu itme analizine göre yüksek bir performans seviyesi göstermekte, diğer kesitlerde ise performans bölgesi değişmemektedir. (Çizelge 5.2).

Çizelge 5.2: FEMA-356'ya göre tek ve çok modlu analizde performans noktalarının karşılaştırılması

FEMA-356'ya Göre Tek ve Çok Modlu İtme Analizinin Karşılaştırılması					
Tek Modlu Analize Göre Hasar Bölgesi			Çok Modlu Analize Göre Hasar Bölgesi		
Kiriş No	Modal(θ t)	Performans Aralığı	Kiriş No	Modal(θ t)	Performans Aralığı
25	0.0065	Hasar Kontrollü	25	0.0049	Hasar Kontrollü
40	0.0102	Sınırlı Güvenlik	40	0.0078	Hasar Kontrollü

İkinci modda oluşan plastik kesitlerin birinci moda göre çok daha az olmasından dolayı performans noktaları farkedilen iki kiriş çıkmıştır. Bunun yanında ikinci modun etkisi fazla olsaydı, yani kütle katılım oranı birinci moda yakın çıksaydı, yapının çok daha fazla kesitinde performans noktası değişecek dolayısıyla yapının performans düzeyi tek modlu itme analizinde bulunan performans düzeyine oranla çok daha düşük olacaktı.

Aynı şekilde doğrusal olmayan analizde önemli bir yer tutan hasar bölgelerinin bu tez kapsamında çok modlu itme analizi ile yeter derecede yaklaşık hesaplanmış olması yöntemin geçerliliğinin bir göstergesidir. Bununla birlikte tek modlu itme analizine göre plastik mafsallı olmayan kesitte ikinci moda göre yapılan analizde plastik mafsallı oluşması bu yöntemin dezavantajı olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu durum DBYBHY'e göre üç, FEMA-356'ya göre ise iki kesitte ortaya çıkmaktadır. Analizi yapılan 112 kiriş kesitinde bu durumun ortalama %2.6 lık bir yer edinmesi bu olumsuzluğun yapının performansına etkisinin olmayacağını ortaya koymaktadır.

Tüm bu sebeplerden dolayı bu tez kapsamında yapıya uygun histeretik model kullanılarak yapılan çok modlu itme analizi ile yüksek modların itme analizine olan katkısının göz ardı edilemeyeceği belirlenmiştir.

KAYNAKLAR

- Antoniou S., Rovithakis A. ve Pinho R.,** 2000: Development and Verification of a Fully Adaptive Pushover Procedure, 12th European Conference on Earthquake Engineering
- ATC-40,** 1996: Applied Technology Council, “Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings, ATC40”, Vol 1. Washington, DC. USA
- Aydınlioğlu N.,** 2003: Yapıların Deprem Performansının Değerlendirilmesi İçin Artımsal Spektrum Analizi Yöntemi, 5.Ulusal Deprem Mühendiliği Konferansı
- Celep Z.,** 2007: Betonarme Taşıyıcı Sistemlerde Doğrusal Olmayan Davranış ve Çözümleme
- Chopra A.K. ve Goel R.K.,** 2003: A Modal Pushover Analysis Procedure to Estimate Seismic Demands for Buildings , 5.Ulusal Deprem Mühendiliği Konferansı
- DBYBHY,** 2007: Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara
- FEMA-356,** 2000: American Society of Civil Engineers, “Prestandart and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings, FEMA-356”, Virginia, USA
- FEMA-450,** 2005: Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures, Federal Emergency Management Agency, Washington
- İrtem E., Türker K. ve Hasgöl U.,** 2004: Türk Deprem Yönetmeliğine Göre Tasarlanmış Yapıların Performansının Değerlendirilmesi, 6. Uluslararası İnşaat Mühendisliğinde Gelişmeler Kongresi
- Önem G. ve Aydınlioğlu N.,** 2007: Artımsal Spektrum Analizi Yönteminin Değerlendirilmesi, 6. Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı
- Pakyürek Emre K.,** 2006: 1994 Northridge Depreminde Hasar Görmüş Van Nuys Binasının Doğrusal Olmayan Dinamik Analizi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ
- Rakesh K. Goel.,** 2004: Evaluation of Modal and Fema Pushover Procedures Using Strong-Motion Records of Buildings
- Türker K. ve İrtem E.,** 2005: An Effective Multi-Modal and Adaptive Pushover Procedure, ARI The Bulletin of the Istanbul Technical University

Türker K. ve İrtem E., 2007: Binaların Deprem Etkisi Altında Lineer Olmayan Davranışının Belirlenmesi için Çok Modlu Uyarlamalı Yük Artırımı Yöntemi, İTÜ Dergisi Cilt:6, Sayı:2

Url-1 <<http://civil.eng.buffalo.edu/idarc2d50>>, 25.11.2008

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Orkun GÖRGÜLÜ

Doğum Yeri ve Tarihi: ANKARA / 1983

Adres: Tekfen Müh. Tekfen Tower 4.Levent/İstanbul

Lisans Üniversite: İstanbul Teknik Üniversitesi / İnşaat Mühendisliği (2006)

Yayın Listesi:

- Gülay G. , Bal İ. E. , Görgülü O. : Adana Bölgesindeki Betonarme Yapı Stoğu Karakteristiklerinin Hasar Kayıp Tahmin Modelleri Açısından İncelenmesi. *6.Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı 16-22 Ekim, 2007 İstanbul, Türkiye*