



**MUSTAFA KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**BETONARME YAPILARIN HASARGÖREBİLİRLİĞİNİN ALETSEL
VERİLERE VE STATİK İTME ANALİZİNE GÖRE BELİRLENMESİ**

ELA DOĞANAY

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Antakya/HATAY
ARALIK-2011**

MUSTAFA KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BETONARME YAPILARIN HASARGÖREBİLİRLİĞİNİN ALETSEL
VERİLERE VE STATİK İTME ANALİZİNE GÖRE BELİRLENMESİ

ELA DOĞANAY
YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Yrd. Doç. Dr. M. Cemal GENEŞ danışmanlığında hazırlanan bu tez 29/12/2011 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.

Yrd. Doç. Dr. M. Cemal GENEŞ
Başkan

Yrd. Doç. Dr. Murat BİKÇE
Üye

Yrd. Doç. Dr. Cuma KARAKUŞ
Üye

Bu tez Enstitümüz İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında hazırlanmıştır.

Kod No:

Prof. Dr. Hüseyin GÖZÜBENLİ
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	IV
ABSTRACT.....	V
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	VI
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	XII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	XV
1. GİRİŞ.....	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	4
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	8
3.1. Titreşim Üretici Cihazlar İle Bina Davranışlarının Belirlenmesi.....	8
3.2. Bina Davranışı İzleme Sistemi Yerleştirilmesinde Uygulanan Yöntem ve Amaçlar.....	13
3.3. Test Edilen Binaların Yapı Analiz Programları ile Modellenmesi.....	14
3.3.1. Giriş ve Genel Bilgiler.....	15
3.3.2. Malzeme Özellikleri.....	15
3.3.3. Yükler.....	16
3.3.4. ETABS ile Yapıların Modellenmesi.....	16
3.3.5. Modellemelerde Plastik Mafsalların Tanımlanması.....	18
3.3.6. Düşeyde ve Yatayda Yük Kombinasyonları.....	20
3.3.7. Dolgu Duvarların Modellenmesi.....	22
3.4. Doğrusal Olmayan Statik İtme Analizi.....	27
3.5. Statik İtme Analizi ve Kapasite Eğrisinin Elde Edilmesi.....	28
3.6. Kapasite Spektrumu Yöntemi.....	32
3.7. Kapasite Spektrumunun Elde Edilmesi.....	35
3.8. Standart Talep Spektrumu ve ADRS Formatına Dönüştürülmesi.....	39
3.8.1. Kullanılacak Depremin Belirlenmesi.....	39
3.8.2. %5 Sönümlü Standart Talep Spektrumunun Oluşturulması.....	41
3.8.3. Standart Talep Spektrumunun ADRS Formatına Dönüştürülmesi.....	45

3.9. Kapasite Spektrumu Eğrisinin İki Doğru Parçası ile İdealleştirilmesi.....	46
3.10. Etkin Sönümün Belirlenmesi.....	48
3.11. Talep Spektrumunun İndirgenmesi.....	52
3.12. Performans Noktasının Bulunması (ATC-40, A.Prosedürü).....	53
3.13. Performans Noktasının Kabul Kriterleri.....	55
3.13.1. Bina için Kabul Kriterleri.....	55
3.13.2. Elemanlar için Kabul Kriterleri.....	56
3.14. Performansa Dayalı Tasarım.....	59
3.15. DBYBHY-2007'ye Göre Performans Seviyeleri.....	63
3.15.1. Kesitlerde Hasar Sınırları.....	63
3.15.2. Kesit Hasar Bölgeleri.....	64
3.15.3. Deprem Performans Seviyeleri.....	65
3.16. FEMA-356'ya Göre Performans Seviyeleri.....	67
3.16.1. Yapısal Performans Seviyeleri.....	68
3.16.2. Yapısal Olmayan Performans Seviyeleri.....	71
3.16.3. Yapı Performans Seviyeleri.....	73
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	76
4.1. İncelenen Binaların Özellikleri.....	76
4.2. Titreşim Üretici Cihazlarla Deneyler Yapılması.....	78
4.3. Test Sonucu Elde Edilen Dinamik Parametrelere Göre Binaların Model Kalibrasyonu.....	79
4.4. Çok Katlı Betonarme Binaların Dinamik Davranış Parametrelerinin Ve Sismik Performanslarının Belirlenmesi	81
4.4.1. NA Binası.....	81
4.4.1.1. NA Binası Dinamik Davranış Parametreleri.....	81
4.4.1.2. NA Binası Performans Analizi.....	83
4.4.2. DA Binası	87
4.4.2.1. DA Binası Dinamik Davranış Parametreleri.....	87
4.4.2.2. DA Binası Performans Analizi	90
4.4.3. EA Binası	94
4.4.3.1. EA Binası Dinamik Davranış Parametreleri.....	94

III

4.4.3.2. EA Binası Performans Analizi.....	96
4.4.4. SA Binası.....	99
4.4.4.1. SA Binası Dinamik Davranış Parametreleri.....	99
4.4.4.2. SA Binası Performans Analizi.....	101
4.4.5. VYL Binası.....	104
4.4.5.1. VYL Binası Dinamik Davranış Parametreleri.....	104
4.4.5.2. VYL Binası Performans Analizi.....	106
4.4.6. KOA Binası.....	109
4.4.6.1. KOA Binası Dinamik Davranış Parametreleri.....	109
4.4.6.2. KOA Binası Performans Analizi.....	111
4.4.7. SAV Binası.....	114
4.4.7.1. SAV Binası Dinamik Davranış Parametreleri.....	114
4.4.7.2. SAV Binası Performans Analizi.....	116
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	120
KAYNAKLAR.....	124
TEŞEKKÜR.....	130
ÖZGEÇMİŞ.....	131

ÖZET

BETONARME YAPILARIN HASARGÖREBİLİRLİĞİNİN ALETSEL VERİLERE VE STATİK İTME ANALİZİNE GÖRE BELİRLENMESİ

Bu çalışmada, Antakya bölgesindeki genel betonarme yapı stokunu temsil edebilecek şekilde seçilen 7 tane betonarme konut tipindeki yapının aletsel veriler ile elde edilen dinamik davranış parametrelerine bağlı olarak model düzeltmeleri yapıldıktan sonra sismik performanslarının Statik İtme analizi ile belirlenmesi amaçlanmıştır. Binaların gerçek dinamik davranış parametrelerinin belirlenebilmesi amacıyla, binalara zorlanmış titreşim deneyleri uygulanmıştır. Yapılar zorlanmış titreşim deney sonuçları dikkate alınarak model kalibrasyonu yapılmış ve doğrusal olmayan statik hesaplamalara olanak veren ETABS analiz programı ile analizleri yapılmıştır. Çalışmada ulaşılan sonuçlar ışığında, yapıların deprem etkisi altındaki davranışları daha gerçekçi bir şekilde belirlenmiş ve Antakya genelindeki konut tipi betonarme yapıların olası bir senaryo depremde nasıl bir hasar dağılımı ortaya çıkaracağına ilişkin yapılacak olan çalışmaya veri hazırlanmıştır.

2011, 149 sayfa

Anahtar Kelimeler: Statik İtme Analizi, Kapasite Spektrumu Yöntemi, Betonarme Çerçeve Yapılar, Antakya, Hasargörebilirlik, Titreşim Deneyleri

ABSTRACT**DETERMINATION OF VULNERABILITY OF REINFORCED CONCRETE
STRUCTURES ACCORDING TO INSTRUMENTAL MEASUREMENTS AND
PUSHOVER**

In this study, it was aimed the determination of seismic performance of several multistorey RC structures that selected in Antakya region. These structures were chosen as representative of reinforced concrete structures in Antakya region. They were modelled with ETABS structural analysis programme that enable to perform nonlinear static analysis. Seismic performance of these structures were computed with Capacity Spectrum Method and Performance Based Design that are suggested by Applied Technology Council (ATC) and Federal Emergency Management Agency (FEMA), respectively, and their results were compared. Also other nonlinear analysis methods suggested by DBYBHY - 2007 were explained briefly. Results that were obtained with this study are agree well with the results have been handled by past research studies for the determination to seismic performance of multistorey reinforced concrete structures in Turkey. All the datas of this thesis used to constitute a database for The Scientific and Technological Research Council of Turkey (TUBITAK) project which has reference number 106M420 and TUBITAK-International Bureau of the BMBF project has reference number 107M445.

2011, 149 page

Key Words: Pushover Analysis, Capacity Spectrum Method, Performance Based Design, Reinforced Concrete Framed Structures

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

ABYYHY	Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik
ADRS	Acceleration Displacement Responce Spectra
ASCE	American Society of Civil Engineers
ATC	Applied Technology Council
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
BSSC	Building Seismic Safety Council
CG	Can Güvenliği
CP	Collapse Prevention, Göçme öncesi performans seviyesi
CSI	Computers and Structures Incorporated
DBYBHY	Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik
EERC-UCB	Earthquake Engineering Research Center of University of California at Berkeley
EERI	Earthquake Engineering Research Institute
ELF	Equivalent Lateral Force (Eşdeğer yatay kuvvet)
EXN	X negatif yönünden etki eden yatay kuvvet
EXP	X pozitif yönünden etki eden yatay kuvvet
EYN	Y negatif yönünden etki eden yatay kuvvet
EYP	Y pozitif yönünden etki eden yatay kuvvet
FEMA	Federal Emergency Management Agency
GÇ	Göçme Sınırı
GÖ	Göçme Öncesi
GV	Güvenlik Sınırı
HK	Hemen Kullanım
IO	Immediate Occupancy, Hemen kullanım performans seviyesi
LS	Life Safety, Can güvenliği performans seviyesi
MN	Minimum Hasar Sınırı
NEHRP	National Earthquake Hazards Reduction Program
PEER	Pacific Earthquake Engineering Research
RC	Reinforced Concrete

SEAOC	Structural Engineers Association of California
SRSS	Birleştirilmiş modal kat kesme kuvvetleri ile orantılı yük dağılımı
TGD	Temel Güvenlik Depremi
TS ISO 9194	Yapıların projelendirme esasları – Taşıyıcı olan ve olmayan elemanlar Depolanmış malzemeler – Yoğunluk Yönetmeliği
TÜBİTAK	Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu
A_c	Kolon kesit alanı
A_d	Plastik eğrilik eşdeğer değişimi
A_e	Plastik eğrilik değişimi
$a_j(t)$	J. modda yapıya etki eden dinamik deprem ivmesi
A_s	Çekme gerilmesi etkisindeki kesit alanı
A_s'	Basınç etkisindeki kesit alanı
b_w	Kiriş gövde genişliği
C_A	Zeminin etkili maksimum ivme katsayısı
C_V	Periyodu 1 saniye olan %5 sönümlü sistemin spektrum değeri
d	Faydalı yükseklik
E	Elastisite modülü, Deprem etkisi türü, Yatay deprem yüklemesi
E_c	Betonun elastisite modülü
E_{c_j}	Betonun j günlük elastisite modülü
$E_{\text{çerçeve}}$	Dolgu duvarın çerçeve malzemesinin elastisite modülü
E_D	Bir çevrimde sönümle tüketilen enerji
E_{duvar}	Dolgu duvarın elastisite modülü
E_f	Lifli polimer şeridinin elastisite modülü
E_{S_0}	Bir çevrimde görülen en büyük şekil değiştirme enerjisi
F	Kat döşemelerine etki eden yatay kuvvet
$f(S_d)$	Spektral deplasman değişkenine bağlı fonksiyon
$F(t)$	Zamana bağlı değişen yatay kuvvet
f_c	Betonun karakteristik dayanımı
f_{ck}	Beton karakteristik basınç dayanımı
f_{ck}	Betonun karakteristik basınç dayanımı
f_{ckj}	J günlük betonun karakteristik basınç dayanımı
$F_{nj}(t)$	J. modda yapının n. katına etki eden dinamik yatay deprem yükü

VIII

f_{su}	Donatı çeliğinin kopma dayanımı
f_{sy}	Donatı çeliğinin akma dayanımı
g	Yer çekimi ivmesi
G	Sabit düşey yüklemeler
h	Kiriş boyu, Dolgu duvarın boyu
H	Kolon boyu
h_i	i. katın yüksekliği
H_w	Temel üstünden veya zemin kat döşemesinden ölçülen toplam perde yüksekliği
I	Atalet momenti
I_{kolon}	Dolgu duvarın çerçevesini oluşturan kolonların atalet momenti
K_e	Yapının etkin yanal rijitliği
K_i	Yapının elastik yanal rijitliği
L	Dolgu duvarın çerçevesinin açıklığı
l	Dolgu duvarın genişliği
l_p	Plastik mafsal boyu
l_w	Perde uzunluğu
l_w	Perdenin veya bağ kirişli perde parçasının plandaki uzunluğu
m	Kütle
m_n	n. katın kütlesi
m_1^*	Yapının 1. modundaki etkin kütle
m_j^*	Yapının J . modundaki etkin kütlesi
M	Moment
M_x	X eksenine doğrultusu
M'_p	İndirgenmiş plastik moment
M_p	Plastik moment
N	Kat sayısı, Deprem kaynağına uzaklık katsayısı
N_d	Düşey yükler altındaki kesitte oluşan aksenal basınç kuvveti
P	Tasarım aksenal kuvveti
P_i	i. kata gelen toplam düşey kuvvetler
Q	Hareketli yük
S_a	Yapıya etki eden spektral ivme katsayısı

IX

S_{a1}	1. modda yapıya etki eden spektral ivme katsayısı
S_{ap}	Performans noktasının spektral ivme katsayısı değeri
S_{api}	Tahmini performans noktasının spektral ivme katsayısı değeri
S_{ay}	Kapasite eğrisinde elastik davranışın bittiği noktanın spektral ivme katsayısı değeri
S_d	Spektral deplasman
S_{d1}	1. modda oluşan spektral deplasman
S_{dp}	Performans noktasının spektral deplasman değeri
S_{dpi}	Tahmini performans noktasının spektral deplasman değeri
S_{dy}	Kapasite eğrisinde elastik davranışın bittiği noktanın spektral deplasman değeri
s_j^*	j. kata gelen yatay kuvvet
SR_A	Talep spektrumunun yatay kısmı için esas alınan sönüm katsayısı
SR_V	Talep spektrumunun eğri kısmı için esas alınan sönüm katsayısı
t	Eşdeğer basınç çubuğunun kalınlığı
T_A	Elastik talep eğrisinde düzgün artan bölgenin sona erdiği periyot değeri
t_{duvar}	Dolgu duvarın kalınlığı
T_e	Yapının etkin yerel periyodu
T_f	Köşegen çekme çubuğunun çekme dayanımı
t_f	Lifli polimer şeridinin kalınlığı
T_i	Yapının elastik yerel periyodu
T_S	Elastik talep eğrisinde sabit kalan bölgenin sona erdiği periyot değeri
t_w	Perde kalınlığı
V	Taban kesme kuvveti
$V(t)$	Zamana bağlı değişen taban kesme kuvveti
V_1	1. modda yapıya etki eden taban kesme kuvveti
V_i	i. kata gelen kesme kuvveti
$V_j(t)$	J. modda yapıya etki eden dinamik taban kesme kuvveti
V_n	Kolon-kiriş birleşim noktasındaki mevcut kesme kuvveti
W	Bina ağırlığı
w	Eşdeğer basınç çubuğunun genişliği
w_f	Lifli polimer şeridinin genişliği

w_n	n. katın ağırlığı
Z	Deprem bölge katsayısı
α_1	Yapının 1. moda ait etkin kütlesi ile m toplam kütesinin oranı
β_0	Çevrimsel sönüm
β_{eff}	Toplam sönüm
Γ_1	1. moddaki kütle dağılım katsayısı (Participation Factor)
δ	Yer değiştirme, deplasman
$\delta_{çatı}$	Çatı yer değiştirmesi
δ_{e1}	Sabit yükleme altında elastik şekil değiştirme miktarı
δ_{e2}	Sabit yüklemenin kaldırılması ile geri dönen elastik şekil değiştirme miktarı
$\delta_{i \max}$	i. kattaki en büyük kat ötelenmesi miktarı
δ_{n1}	1. modda n. katın yer değiştirmesi
δ_{s1}	Sabit yükleme altında sünme şekil değiştirme miktarı
δ_{s2}	Sabit yüklemenin kaldırılması ile geri dönen sünme şekil değiştirme miktarı
δ_t	Hedef deplasman
ε	Birim şekil değiştirme
ε_c	Betonun birim şekil değiştirmesi
ε_{c0}	Karakteristik dayanıma karşılık gelen şekil değiştirme
ε_{cu}	Kırılma şekil değiştirmesi
ε_e	Akma gerilmesine denk gelen elastik birim şekil değiştirme
ε_p	Plastik birim şekil değiştirme
ε_{sh}	Donatı çeliğinin pekleşme başlangıcındaki birim şekil değiştirmesi
ε_{su}	Donatı çeliğinin kopma birim şekil değiştirmesi
ε_{sy}	Donatı çeliğinin akma birim şekil değiştirmesi
ϕ	Eğrilik miktarı, Yapının görelî yer değiştirmesi veya genliğı
ϕ_{\max}	En büyük eğrilik miktarı
ϕ_{nj}	n. katın J. modundaki görelî yer değiştirmesi veya genliğı
ϕ_p	Plastik eğrilik miktarı
θ	Eşdeğer basınç çubuğunun yatayla yaptığı açı
κ	Sönüm düzeltme katsayısı

λ	Eşdeğer basınç çubuğu katsayısı
μ	Süneklik
ρ	Çekme donatısı oranı
ρ'	Basınç donatısı oranı
ρ_b	Dengeli donatı oranı
ρ_s	Kesitte bulunan enine donatının hacimsel oranı
ρ_{sm}	Kesitte bulunması gereken enine donatının hacimsel oranı
σ	Gerilme
σ_c	Betonun gerilmesi
σ_e	Akma gerilmesi
φ_{j1}	j. katın 1. mod şekli bileşeni
φ_p	Plastik mafsaldaki toplam eğrilik
ω	Dairesel frekans

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 3.1. Bina sarsma cihazının teknik özellikleri	11
Çizelge 3.2. Bina test sisteminin yerleştirilmesi ve beklenebilecek çıktılar.....	14
Çizelge 3.3. Çelik malzemesine ait parametreler.(TS500).....	16
Çizelge 3.4. Beton malzemesine ait parametreler.(TS500).....	16
Çizelge 3.5 Yapı modellerinde kullanılan yük.kabülleri.....	17
Çizelge 3.6. Yapısal elemanların modellenmesinde.kabuller.....	18
Çizelge 3.7. Plastik mafsal türleri, etkileri ve kullanılacağı yerler.....	20
Çizelge 3.8. Statik İtme yüklemeleri için katsayı.ve.kombinasyonlar.....	21
Çizelge 3.9. FEMA-356 'ya göre depremlerin sınıflandırması.....	40
Çizelge 3.10. Deprem bölge katsayısı.....	42
Çizelge 3.11 Zemin sınıfları (ATC-40, 1996)	43
Çizelge 3.12. C_A için zemin sınıfına bağlı çarpan.....	43
Çizelge 3.13. C_V için zemin sınıfına bağlı çarpan	44
Çizelge 3.14. Yapı davranış türünün belirlenmesi.....	51
Çizelge 3.15. Sönüm düzeltme katsayısı	51
Çizelge 3.16. Spektral indirgeme katsayıları.....	53
Çizelge 3.17. Spektral indirgeme katsayıları minimum değerleri.....	53
Çizelge 3.18. Hasar seviyelerine göre görelî yer değiştirmelerin sınırlandırılması.....	56
Çizelge 3.19. Görelî kat ötelemeleri sınırlandırılması	56
Çizelge 3.20. Betonarme kirişler için izin verilen plastik mafsal dönmeleri.....	56
Çizelge 3.21. Betonarme kolonlar için izin verilen plastik mafsal dönmeleri.....	58
Çizelge 3.22. Betonarme perdeler için izin verilen plastik mafsal dönmeleri.....	58
Çizelge 3.23. Kolon-kiriş birleşim noktaları için izin verilen plastik mafsal dönmeleri	59
Çizelge 3.24. Farklı deprem düzeyleri için öngörülen minimum performans hedefleri	68
Çizelge 3.25. Yapısal performans seviyeleri ve kodları.....	68
Çizelge 3.26. Yapısal performans aralıkları ve kodları.....	69
Çizelge 3.27. Yapısal olmayan performans seviyeleri ve kodları.....	71
Çizelge 3.28. FEMA-356'ya göre yapı performans seviyeleri.....	73

Çizelge 3.29. FEMA-356'ya göre hasar durumları.....	75
Çizelge 4.1. Modellenen binaların yapısal özellikleri.....	76
Çizelge 4.2. Modellenen binaların sismik özellikleri.....	77
Çizelge 4.3. Modellemelerde esas alınan düşey yüklemeler.....	77
Çizelge 4.4. NA binası için genel bilgiler.....	81
Çizelge 4.5. NA binası için elde edilmiş olan hakim titreşim frekansları ve periyotlar	83
Çizelge 4.6 NA binası. performans nok. değerleri	83
Çizelge 4.7. NA binası. 09EYNPUSH yüklemesindeki plastik mafsallaşma durumu.....	86
Çizelge 4.8. NA binası zemin kattaki taşıyıcı elemanların mafsal özellikleri.....	87
Çizelge 4.9 NA binası zemin kat kesme kuvveti özellikleri.....	87
Çizelge 4.10. DA binası için genel bilgiler.....	88
Çizelge 4.11 DA binasından elde edilmiş olan hakim titreşim frekansları ve periyotlar	89
Çizelge 4.12. DA binası performans nok. değerleri.....	90
Çizelge 4.13. DA binası 09EYNPUSH yüklemesindeki plastik mafsallaşma durumu	93
Çizelge 4.14. DA binası 4. kattaki taşıyıcı elemanların.....mafsal.....özellikleri	93
Çizelge 4.15 DA binası 4. kat kesme kuvveti özellikleri.....	93
Çizelge 4.16. EA binası için genel bilgiler.....	94
Çizelge 4.17. EA binası için elde edilmiş olan hakim titreşim frekansları ve periyotlar	96
Çizelge 4.18. EA binasının performans noktası değerleri.....	96
Çizelge 4.19. EA binasının zemin kattaki taşıyıcı elemanların mafsal özellikleri.....	98
Çizelge 4.20. EA binasının zemin kat kesme kuvveti özellikleri.....	98
Çizelge 4.21. SA Binası için genel bilgiler.....	99
Çizelge 4.22.SA binası için elde edilmiş olan hakim titreşim frekansları ve periyotla	101
Çizelge 4.23. SA binasının performans noktası değerleri.....	101
Çizelge 4.24. SA binası 4. kattaki taşıyıcı elemanların mafsal özellikleri	103
Çizelge 4.25. SA binası 4. kat kesme kuvveti özellikleri	103
Çizelge 4.26. VYL Binası için genel bilgiler.....	103
Çizelge 4.27. VYL apartmanı için elde edilmiş olan hakim titreşim frekansları ve periyotlar.....	106
Çizelge 4.28. VYL binasının performans noktası değerleri.....	106
Çizelge 4.29. VYL binası Zemin kattaki taşıyıcı elemanların mafsal özellikleri.....	108

Çizelge 4.30. VYL binası Zemin kat kesme kuvveti özellikleri.....	108
Çizelge 4.31. KOA binası için genel bilgiler.....	109
Çizelge 4.32. KOA binası için elde edilmiş olan hakim titreşim frekansları ve periyotlar.....	111
Çizelge 4.33. KOA binası performans noktası değerleri.....	111
Çizelge 4.34. KOA binası zemin kattaki taşıyıcı elemanların mafsal özellikleri.....	113
Çizelge 4.35. KOA binası zemin kat kesme kuvveti özellikleri.....	113
Çizelge 4.36. SAV Binası için genel bilgiler.....	114
Çizelge 4.37. SAV binası için elde edilmiş olan hakim titreşim frekans ve periyotları.....	116
Çizelge 4.38. SAV binası için 09EXNPUSH yüklemesindeki plastik mafsallaşma durumu.....	116
Çizelge 4.39. SAV binası zemin kattaki taşıyıcı elemanların mafsal özellikleri.....	118
Çizelge 4.40. SAV binası zemin kat kesme kuvveti özellikleri.....	118
Çizelge 5.1. İncelenen binaların performans seviyesi bilgileri.....	122

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 3.1. Titreşim üreticinin görüntüsü.....	8
Şekil 3.2. Harmonik yük üreticinin şematik gösterimi.....	9
Şekil 3.3. İvme genliği ile frekans oranının ω/ω_n değişim grafiği.....	10
Şekil 3.4. Titreşim Üreticinin Kontrol Ünitesi.....	11
Şekil 3.5. Titreşim üreticinin monte edildiği çelik plaka.....	12
Şekil 3.6. Hızölçer sensör sistemi.....	12
Şekil 3.7. Titreşim üreticinin monte edilmiş hali.....	13
Şekil 3.8. Kolon kesitine etki eden kuvvetler.....	19
Şekil 3.9. Yatay yüklemeler için önerilen yöntemler.....	20
Şekil 3.10. dolgu duvarın eşdeğer basınç çubuğu olarak modellenmesi.....	24
Şekil 3.11. Sanal diyagonal çubuk için lineer olmayan mafsallı davranış tanımlama grafiği.....	26
Şekil 3.12. Dinamik yatay yüklemeler altındaki bina davranışı.....	28
Şekil 3.13. Tekrarlı dinamik yükleme ile oluşan histerik çevrim ve omurga eğrisi.....	29
Şekil 3.14. Yapının kuvvet - deplasman değerlerinin grafik üzerinde gösterilmesi.....	29
Şekil 3.15. Adım adım arttırılan yatay yükleme ve yapıdaki deplasmanın ilişkisi.....	30
Şekil 3.16. Örnek bir kapasite eğrisi ve tahmini hasar seviyeleri.....	31
Şekil 3.17. Taban kesme kuvveti ve katlara dağılışı	36
Şekil 3.18. %5 sönümlü standart talep eğrisi.....	45
Şekil 3.19. Standart talep spektrumunun ADRS formatına dönüştürülmesi...(Celep, Kumbasar, 2004).....	46
Şekil 3.20. Kapasite spektrumu eğrisinin iki doğru parçasıyla idealleştirilmesi.....	47
Şekil 3.21. Tahmini performans noktasının bulunması	48
Şekil 3.22. Spektral indirgeme için sönümlenmenin türetilmesi.....	49
Şekil 3.23. Bir çevrimde tüketilen enerji miktarının bulunması.....	50
Şekil 3.24. ADRS formatındaki talep spektrumunun indirgenmesi.....	52
Şekil 3.25. A prosedürü ile performans noktasının belirlenmesi.....	54
Şekil 3.26. Sünük kesitlerde hasar sınırları ve hasar bölgeleri.....	64
Şekil 4.1. Modellenen binaların Antakya bölgesindeki yerleşimleri.....	78

Şekil 4.2. Kalibrasyon uygulanan durum örnekleri	80
Şekil 4.3. Köşe kolon kalibrasyonu	80
Şekil 4.4. Kiriş kalibrasyonu.....	80
Şekil 4.5. Aynı aks üzerindeki kiriş kolon merkezleri.....	80
Şekil 4.6. NA binasının hızölçer sensörlerinin ve sarsma cihazının yerleştirilme planı	82
Şekil 4.7. NA binasının planı	82
Şekil 4.8. NA binasının 3 boyutlu Etabs modeli	82
Şekil 4.9. NA binası 09EYNPUSH yüklemesi için kapasite eğrisi.....	84
Şekil 4.10. NA binası 09EYNPUSH yüklemesi için kapasite ve talep spektrumu eğrisi.....	84
Şekil 4.11. NA binası 09EYNPUSH yüklemesi plastik mafsalları (3 Boyutlu görünüş).....	86
Şekil 4.12. A NA binası 09EYNPUSH yüklemesi plastik mafsalları (kesit görünüş)	86
Şekil 4.13. DA için hızölçer sensörlerinin yerleştirilme planı	88
Şekil 4.14. DA binasının planı.....	88
Şekil 4.15. DA binasının 3 boyutlu Etabs modeli.....	89
Şekil 4.16. DA binası 09EXPPUSH yüklemesi için kapasite eğrisi.....	90
Şekil 4.17. DA binası 09EXPPUSH yüklemesi için kapasite ve talep spektrumu eğrileri.....	91
Şekil 4.18. DA binası 09EXPPUSH yüklemesi plastik mafsalları (kesit görünüş).....	91
Şekil 4.19. DA binası 09EXPPUSH yüklemesi plastik mafsalları (3 Boyutlu görünüş).....	92
Şekil 4.20. EA binası hızölçer sensörlerinin ve sarsma cihazının yerleştirilme planı	94
Şekil 4.21. EA binasının planı.....	95
Şekil 4.22. EA binasının 3 boyutlu Etabs modeli	95
Şekil 4.23. EA binasının EXPPUSH yüklemesi için kapasite eğrisi.....	97
Şekil 4.24. EA binasının EXPPU SH yüklemesi için kapasite ve talep spektrumu eğrileri.....	97
Şekil 4.25. EA binasının EXPPUSH yüklemesi plastik mafsalları.....	98
Şekil 4.26. SA için hızölçer sensörlerinin ve sarsma cihazının yerleştirilme planı.....	99
Şekil 4.27. SA binasının planı.....	100

Şekil 4.28. SA binasının 3 boyutlu Etabs modeli.....	101
Şekil 4.29. SA binası 09EXPPUSH yüklemesi için kapasite eğrisi.....	102
Şekil 4.30. SA binası 09EXPPUSH yüklemesi için kapasite ve talep spektrumu eğrileri.....	102
Şekil 4.31. SA binasının 09EXPPUSH yüklemesi plastik mafsalları.....	103
Şekil 4.32. VYL Binası hızölçer sensörlerinin ve sarsma cihazının yerleştirilme planı	104
Şekil 4.33. VYL Binasının planı.....	105
Şekil 4.34. VYL Binasının 3 boyutlu Etabs modeli.....	105
Şekil 4.35. VYL binası EXPPUSH yüklemesi için kapasite eğrisi	107
Şekil 4.36. VYL binası EXPPUSH yüklemesi için kapasite ve talep spektrumu.....	107
Şekil 4.37. VYL binası EXPPUSH yüklemesi plastik mafsalları.....	109
Şekil 4.38. KOA Binası için hızölçer sensörlerinin yerleştirilme planı.....	109
Şekil 4.39. KOA Binasının planı.....	110
Şekil 4.40. KOA Binasının 3 boyutlu Etabs modeli.....	110
Şekil 4.41. KOA Binası 09EYNPUSH yüklemesi için kapasite eğrisi.....	112
Şekil 4.42. KOA binası 09EYNPUSH yüklemesi için kapasite ve talep spektrumu eğrileri.....	112
Şekil 4.43. KOA binası 09EYNPUSH yüklemesi plastik mafsalları (3 Boyutlu görünüş).....	113
Şekil 4.44. SAV Binası için hız ölçer sensörlerinin yerleştirilme planı.....	114
Şekil 4.45. SAV Binasının planı.....	115
Şekil 4.46. SAV Binasının 3 boyutlu Etabs modeli.....	115
Şekil 4.47. SAV binasının 09EXNPUSH yüklemesi için kapasite ve talep spektrumu eğrileri.....	117
Şekil 4.48. SAV binası 09EXNPUSH yüklemesi plastik mafsalları.....	117
Şekil 4.49. İncelenen bütün binaların spektrum eğrilerinin karşılaştırılması.....	119

1. GİRİŞ

Son yıllardaki depremlerden sonra yapılan hasar incelemelerinde, betonarme çerçeveli yapılarda kayda değer hasarlar olduğu görülmüş, buradan betonarme çerçeveli yapıların hasargörebilirliğinin arttığı sonucuna varılmıştır. Bu hasarlar, dizayn hataları, işçilik ve detayların inşaatındaki hatalardan başka, genel dizayn kabulleri, hassas analizler ve taşıyıcı elemanlar ile dolgu duvarlar arasındaki etkileşimi de içeren binaların tepki karakteristikleri de sebep olabilmektedir. Her ne kadar bazı durumlarda, hasarların nedenlerinin yeniden açıklanması ve araştırılması mümkün olsa da, yapı planına ve kabullere bağlı olarak bulunan sayısal sonuçlar ile ölçülen sonuçlar arasındaki farklar, sismik yüklerin binaya daha sistematik bir yol ile aktarılmasına dayanan ve aletsel dotaların kullanıldığı ileri yaklaşımlara gerek olduğunu ortaya koymaktadır. Bundan dolayı, kuvvetli deprem oluşmadan önce aletsel dotalara ve sismik kayıtlara dayanan sismik risk araştırmaları ve hasargörebilirlik çalışmalarını içeren bu tez çalışması oluşturulmuştur.

Bu çalışmada Antakya bölgesinin seçilmesindeki amaç bölgenin birinci derece deprem bölgesinde olması ve önemli fay hatlarından biri olan Doğu Anadolu fay hattının üzerinde olmasıdır. Bu bölgede olabilecek bir deprem ciddi hasarlara ve can kayıplarına neden olabilir. Bu düşünceden yola çıkarak Antakya bölgesinde meydana gelecek olası bir depremde oluşacak kayıpları ve hasarları öngörebilmek için SERAMAR (Seismic Risk Assessment and Mitigation in The Antakya-Maraş Region on the Basis of Microzonation, Vulnerability and Preparedness Studies) adlı ve 106M420 Tübitak Proje desteği ilei başlatılmış, Almanya Bauhaus Universität-Weimar'daki Deprem Hasarlarını Araştırma Merkezi (EDAC), Mustafa Kemal Üniversitesi (MKÜ) ve Orta Doğu Teknik Üniversitesi (ODTÜ)'nin işbirliği ile 2005-2009 tarihlerinde yürütülmüştür. Bu çalışmalara ek olarak yine Tübitak (107M445) ve Almanya Milli Eğitim Bakanlığı (BMBF) tarafından sağlanan bir destek ile “ Aletsel ve Sayısal Dotaların Birleştirilmesi Karma Yaklaşımına Dayanan Betonarme Çerçeveli Yapıların Hasar ve Sismik Karakteristiklerinin İncelenmesi” isimli proje gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma ile farklı betonarme binaları temsil eden binalara titreşim deneyleri uygulanmış ve bina tepkileri ölçülmüştür. Bu tepkiler kullanılarak binaların deprem performans analizleri yapılmıştır. Bu performans analizleri sonuçları

kullanılarak betonarme binaların depremde Hasargörebilirlik eğrileri kalibre edilmiştir. Üretilmiş olan bu eğriler dikkate alınarak senaryo depremleri altında şehirdeki hasar dağılım haritaları oluşturulmasına yönelik alt yapı oluşturmuştur.

Binaların tek tek hasar görebilirliğinin belirlenmesi için her bir binanın projesinin bulunması, özelliklerinin projeyle aynı olup olmadığının kontrol edilmesi, üç boyutlu bilgisayar programları ile dinamik analizinin yapılması gerekmektedir. Özellikle yeni deprem yönetmeliğinden önce yapılan ve Antakya kent merkezinde yer alan çok katlı betonarme yapıların büyük çoğunluğu için bu aşamaların tek tek uygulanması ve bilgisayar ile analiz yapılarak her bir bina hakkında kesin hükümlerin verilmesi mümkündür. Ancak Antakya kent merkezinde yaklaşık 12 bin bina betonarme sınıfında olduğu düşünülürse bu işlemin şu an yapılması ne maddi olarak ne de insan gücü olarak mümkün gözükmemektedir. Ayrıca bu tür yoğun bir çalışmaya gerek olmadığı son yıllarda meydana gelen depremlerle de görülmüştür. Ülkemizde meydana gelen en büyük depremlerden biri olan Marmara depreminde bölgedeki binaların sadece %5’inde tam yıkım meydana gelmiştir. Bu durumda araştırmacıların amacı, bina stoğu içerisindeki deprem açısından risk taşıyan %5 - %15’lik kısmı tespit etmek olmalıdır. Bu tespitın yapılabilmesi için binaların her birinin tek tek analizinin yapılması yerine, şu aşamada sokak taraması ve zemin şartlarını düşünerek binaların hasar görebilirlik derecesi en kötü olduğu düşünülen %20-%30’luk grubun belirlenerek, bu yapılar üzerinde detaylı analizler yapılması daha verimli olacaktır. Bu amaçla SERAMAR projesi kapsamında, kent merkezinde yer alan yapıların özelliklerinin tespit edilmesi için sokak taraması yöntemiyle binalar sınıflandırılmış ve her sınıfı temsil eden 7 tane bina bu tez çalışması kapsamında teste tabi tutularak ve yapıların sismik performans seviyelerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

Bu tez çalışmasında bahsedilen proje kapsamında incelenmek için seçilen 7 adet betonarme konut tipi yapının sismik performans seviyelerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Yapıların çoğu 1975 deprem yönetmeliğine göre tasarlanmış olup, Antakya bölgesindeki genel konut tipi yapı stoğunu temsil edecek şekilde seçilmiştir. Binaların gerçek dinamik karakteristiklerinin belirlenmesi için binalara Zorlanmış Titreşim Testleri uygulanmıştır. Belirlenen bu çok katlı betonarme çerçeveli yapıların deney sonucunda elde edilen veriler ışığında sonlu elemanlar yöntemi modellerine

dayanan analitik modelleri gerçeğe en yakın şekilde oluşturulmuş ve analitik modelleri oluşturan binaların performans seviyeleri bulunmuştur.

Performans seviyeleri bulunan binalardan yola çıkarak Antakya şehri genelindeki konut tipi betonarme binaların olası bir depremdeki hasar görebilirliği hakkında bir fikir elde edilmiştir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Depremlerin önlenemeyeceği, buna karşılık planlama ve mühendislik araçlarının devreye sokulmasıyla ortaya çıkabilecek hasarların ve kayıpların azaltılabileceği son yıllarda yapılan pek çok çalışmada devamlı altı çizilen husus olmuştur. Bu amaçla herhangi bir bölge, şehir veya ülke için deprem riskini belirleyen, deprem açısından zemin özelliklerini inceleyen, hasar tahminlerinde bulunan, mevcut binaların durumlarının tespitini ve bu binaların hasar tahminlerini kapsayan pek çok çalışma yapılmıştır. Pek çok ülkede özellikle son yıllarda şehirler için deprem senaryoları ve hasar tahminlerini içeren araştırmalar yapılmıştır. Mikrobölgelendirme, hasar tahmini ve deprem riskinin belirlenmesini amaçlayan bu çalışmalar Barcelona (Barbat, 1996), Basel (Feah,1997), Catania (Faccioli, 1999), İstanbul (Erdik, 1993), Meksiko City (Esteva, 1997), Nice (Bard, 1995), Quito (Fernandez, 1994), San Fransisco (Borcerdt, 1997), Schmölln (Schwarz, 2002) vb. gibi pek çok kent için yapılmıştır.

Deprem etkisi altındaki mühendislik yapılarının davranışlarının belirlenmesi, büyük önem taşımaktadır (LUS and Longman, 1999, Benedetti ve Gentile, 1994, ve Schwarz ve ark., 2007). Bundan dolayı, bir çok ülkede, sürekli kayıt yapan ve olası bir depremde bina davranışını izlemek için bina izleme sistemleri kurulmuştur. (Abrahamczyk ve ark., 2008). Binaların dinamik davranış parametreleri olan, doğal titreşim periyotlarının ve mod şekillerinin belirlenmesi önemli bir depremden önce belirlenmiş olması önemlidir. Bu parametreler, bina dinamik analizlerinde kullanılan matematiksel modellerden tespit edilebilir. Bu matematiksel modellerin farklı yükler (kuvvetli deprem sarsıntısı, kuvvetli rüzgar, zorlanmış titreşim, patlama vb.) altında gerçek yapı tepkilerini gösterebilmesi için, iadeleştirilmeler gerekmektedir. Sistem düzeltmelerinde kullanılabilmesi için gerekli olan parametreler zorlanmış titreşim veya serbest titreşim testleri ile elde edilebilmektedir.([Hudson, 1970, Trifunac ve Todorovska, 1999, Beolchini ve Vestroni, 1997, ve Vestroni ve ark., 1996, Genes ve ark., 2008].

Yapı stoklarını iyi ifade eden seçilmiş binaların sismik davranışlarını ölçmek amacıyla cihaz yerleştirilmesi ve özel testlere tabi tutularak binaların davranışlarının araştırılması konusunda, başta USGS’de bulunan bilim adamları olmak üzere çok sayıda bilim adamı çalışmalar yapmakta ve sonuçları literatürde yayınlamaktadır (California

Department of Conservation, 2005, Çelebi, 2000, Çelebi, 2001). Bu yayınlar incelendiğinde, yapılan ölçümler ile elde edilmiş olan dataların, sismik etkiler altında bina davranışlarını ve tepkilerini analitik olarak ele alan yöntemlere uygulanmasının daha da araştırılması gerektiği görülmektedir. Uygulanmış olan aletsel düzenekler hem pahalı, hem de daha sonra dataların detaylandırılması ve aletlerin bakımı da ciddi maliyetlere sebep olmaktadır. Naeim ve ark. (2004-2006) tarafından önerilen ve hazırlanan sismik cihazlarla donatılmış binaların tepki analizlerinin 3 boyutlu olarak görselleştirilmesi sistemi (CSMIP-3DV) otomatikleştirilmiş analiz ve görselleştirilme sistemi oluşturmada çok değerli bilgiler içermektedir. Ne yazık ki, bu datalar herhangi bir modele, hesaplama ve bina tepkisinin yeniden değerlendirilmesine uygulanması için uygun değildir.

Titreşim deneyleri ilk olarak 1967 yılında California'nın Santa Clara şehrinde ki California Üniversitesi Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi (Earthquake Engineering Research Center) tarafından yapılmıştır. Araştırmacıların bu deneyde seçtikleri yapı, genelinde ahşaptan inşa edilse de birleşimlerinde çeliğin kullanılmış olduğu bir yapıdır. Yapının California'daki tipik tek katlı okul binalarına örnek olabilecek bir özelliği vardır. Titreşim üretici ile yapılan deneyden sonra yapının üç modu hesaplanmış. Enine ve boyuna olmak üzere iki yönde yapılan deneylerde frekanslar sırası ile 7 Hz ve 10 Hz, ortak sönüm oranı %3-%4 arasında hesaplanmıştır. Çatı diyaframının burulma frekansı sırası ile enine doğrultuda 6 Hz, boyuna doğrultuda 10 Hz olarak hesaplanmış, ortak sönüm oranı %1-%3 arasında bulunmuştur. Daha sonra deney sonuçları ile teorik sonuçlar karşılaştırılmıştır [Rea, D., Bouwkamp, J. G., and Clough, R. W., 1968].

Elde edilen deney sonuçlarından yola çıkarak binaların gerçeğe yakın doğrusal olmayan davranışlarını belirlemek için sonlu elemanlar yöntemine ve diferansiyel bağıntılara dayanan doğrusal olmayan statik hesap yöntemleri kullanılmıştır. Doğrusal olmayan statik hesap yöntemleri temel olarak, yapının yatay yük taşıma kapasitesini ifade eden kapasite eğrisinin belirlenmesini, bu eğriden yararlanarak göz önüne alınan deprem için yapının elastik olmayan maksimum deplasmanının yani deplasman talebinin hesaplanmasını ve bu deplasman değerine kadar statik olarak itilmiş bir yapının performansının belirlenmesini içermektedir (Özer, 2004). Doğrusal olmayan

yapı analiz ve tasarım yöntemleri hakkında özellikle son 25 yılda önemli adımlar atılmış olmasına rağmen konunun gelişme ve ilerleme süreci günümüzde de devam etmektedir.

Saiidi ve Sözen (1981) tarafından Q modeli önerilmiştir. Bu modelde yapının her bir elemanındaki moment-eğrilik ilişkisinin, günümüzde kullanılan taban kesme kuvvetinin aksine yüksek serbestlik dereceli sistemlerin çatı deplasmanı-moment eğrisinden türetilbileceği gösterilmektedir. Bu eğri, tek serbestlik dereceli bir sistemin kuvvet deplasman karakteristiklerinden türetilen bir eğri ile tasavvur edilmektedir. Daha sonra Fajfar ve Fischinger (1988) Q modeline farklı bir yorum getirerek N2 Yöntemi'ni ileri sürmüşlerdir. N2 yöntemi yapıların sismik analizi için yaklaşık ve basit bir elastik ötesi yöntemdir. Burada N, nonlineer analizi; 2 ise iki matematiksel model olduğunu ifade eder. Bu yöntem yüksek serbestlik dereceli modellerde kullanılan Statik İtme analizi ile bu modelle eşdeğer olan tek serbestlik dereceli modellerde kullanılan tepki spektrumu analizini birleştirmektedir.

Freeman (2005), ilk kez Blume ve ark. (1961) tarafından yazılmış “Design of multistory reinforced concrete buildings for earthquake motions” (Çok katlı betonarme yapıların deprem hareketlerine göre tasarımı) kitabında ele alınmış olan elastik olmayan sismik tasarım için “Yanal Yük-Statik Sapma” diyagramının (Statik İtme eğrisi) oluşturulması hakkında bazı yöntemler ileri sürmüştür. 1970'lerin başlarında, bu teknik geliştirilmiş ve Puget Boğazı Askeri Tersanesindeki pilot sismik risk projesi için hızlı bir değerlendirme yöntemi olarak kullanılmıştır. Bu, literatüre Kapasite Spektrum Yöntemi olarak geçmiştir. Kapasite Spektrumu Yöntemi, deprem yer hareketlerinin neden olduğu deformasyon ve kuvvetlere gösterdiği direnç yeteneğinin belirlenmesinde ve yapının dayanabilirliğinin tahmininde kullanılan yaklaşık bir elastik ötesi analiz yöntemidir. Prosedür, incelenecek binanın kuvvet-deplasman veya ivme-deplasman eğrisinin hesabı ile bu eğrinin özel bir deprem için hesaplanan talep spektrumuyla mukayesesini içermektedir (Mahaney ve ark., 1993). Daha büyük mod etkilerinin hesaplanması amacıyla basit bir Çoklu Modal Statik İtme prosedürünün kullanılması önerilmiştir (Paret ve ark, 1996; Sasaki ve ark, 1998). Ayrıca Chopra ve Goel (2001) bir Modal Statik İtme Analizi tekniği ortaya koymuştur. Kapasite spektrumu metodu, Modal Statik İtme analizini de kapsayacak şekilde şu adımları izler,

1. Bina modellemesinin yapılması, mod şekillerinin ve periyotların bulunması,
2. İlgili sabit yatay yüklemelerin ve doğrusal mod şekillerinin belirlenmesi,

3. Araştırılan modlar için Statik İtme analizinin yapılması,
4. Her bir Statik İtme analizi için kapasite eğrisinin çıkarılması,
5. Oluşturulan kapasite eğrisinin Spektral İvme Katsayısı - Spektral Deplasman eğrisine dönüştürülmesi,
6. Spektral talep formatına çevrilmiş eğrinin çizilmesi,
7. Kapasite ve talep eğrilerinin karşılaştırılması.

Yakın zamanda, Artımlı Talep Spektrumu Analizi olarak bilinen; çatı deplasmanı, kat ötelenmeleri, plastik mafsallı dönmeleri gibi ana inelastik tepki niceliklerini daha doğru olarak hesaplayabilen ve birçok alternatif Statik İtme analizi yönteminin gelişmesinde çok büyük bir katkı sağlayan bir yöntem, Aydınoğlu (2003) tarafından ortaya konmuştur. Bu yöntemin ardındaki ana fikir Gupta ve Kunnath (2000) tarafından geliştirilen prosedürün bir uygulamasıdır. Sunulan Artımlı Talep Spektrumu Analizi yöntemi, modal histerezis kapalı eğrisinin idealize edilmiş kısmında tanımlanan modal kapasite diyagramının yaklaşık olarak geliştirilmesine dayanmaktadır. Modal kapasite diyagramı, Statik İtme analizi olarak adlandırılan doğrusal yöntemde ani modal inelastik spektral deplasmanların tahmininde kullanılır.

Bahsedilmeye değer bir diğer yöntem ise yapıların sismik talep ve kapasitesi tahminlerinin doğrulanması için öne sürülen Artımlı Dinamik Analiz yöntemidir (Vamvatsikos ve Cornell, 2002). Bu yöntem, her bir değişik şiddet seviyesinden kayıtların ölçeklendirilmesi ile elde edilen bir dizi kayıt için yapı modelinin nonlineer zaman tanım alanı analizi sonuçlarını birleştirmeye yarar. Benzer şekilde, Mwafy ve Elnashai'de (2001), bir dizi statik itme analizi ve artımlı dinamik hasar analizi ile hesaplamalar yaparak geçerliliklerinin araştırılması ve Statik İtme analizi yönteminin uygulanabilirliği konusunda çalışmışlardır.

Statik İtme analizine dayalı hesap anlayışı ve kullanılan yöntemler hâlâ tartışmalara konu olmasına rağmen yakın zamanda depreme karşı yapı tasarımında en etkin ve yaygın metotlardan biri olacağı kabul edilmektedir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Titreşim Üretici Cihazlar İle Bina Davranışlarının Belirlenmesi

Titreşim üretici cihaz gerçek boyutlardaki yapıları test etmek için uygun harmonik hareketin kaynağını sağlamak için geliştirilmiştir. Kullanılan cihaz birbirine düşeyde paralel yatay bir mil ile bağlanmış, iki adet koldan, bu kolları birbirine göre ters yönde dönderebilen frekans ayarlı bir motor ve kontrol ünitesinden oluşmaktadır (Şekil 3.1). Harmonik kuvvet, yük kollarına monte edilen eşit ağırlıklı, değişik sayıdaki metal ağırlıklar ve bu kolların birbirine ters yönde dönmesiyle üretilir. Buradan üretilen harmonik kuvvet yapıya iletilir. Bu testteki temel prensip yapının kendi hakim titreşim frekansına yakın bir aralıkta sallanmasıdır. Elde edilen veriler yapının dinamik özelliklerinin belirlenmesinde kullanılmaktadır. Bu deney ile yapının doğal frekansı, mod şekli, sönüm kapasitesi ve yapı-zemin etkileşimi olup olmadığı tespit edilebilmektedir.



Şekil 3.1. Titreşim üreticinin görüntüsü

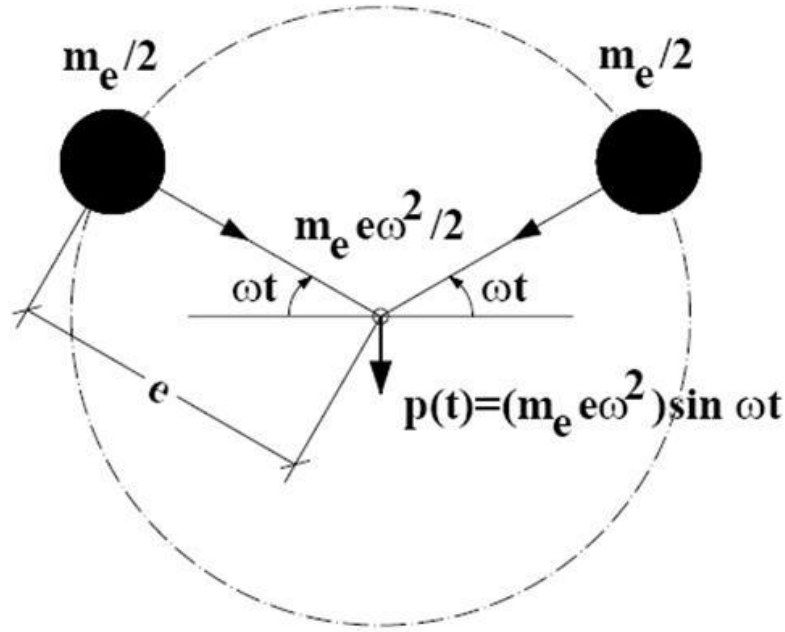
Zorlanmış titreşim testinin temelindeki teoriyi anlamak için, titreşim üretici ile üretilmiş olan harmonik kuvvetin durağan haldeki tek serbestlik dereceli sistemler üzerindeki sonuçlarının teorik olarak anlaşılması açıklayıcı olacaktır. Titreşim üretici, kollarına simetrik olarak aynı sayıda monte edilen ağırlıklarla yüklenebilir. Bundan

dolayı, dönen kütlelerin dikey bileşenlerinin atalet kuvveti sarsma ekseninde birbirlerini dengeler ve bu bileşenler sarsma ekseninde sinüzoidal kuvvet oluştururlar. Bu kuvvet;

$$p(t) = (m_e e \omega^2) \sin \omega t \quad (3.1)$$

şeklinde yazılabilir.

Burada m_e kollardaki toplam kütle, e eksantrisite, ω uyarım frekansı, t zamandır. İki kol aynı eksene geldiği zaman maksimum genliğe ulaşılır. Harmonik yük üreticinin şematik görünüşü Şekil 3.2’de sunulmuştur.



Şekil 3.2. Harmonik yük üreticinin şematik gösterimi

Eksantrik kütle m_e normal kütle m 'ye oranla daha küçük olup, tek serbestlik dereceli sistemlerin titreşim üretici ile sarsılmasıyla oluşan hareketin diferansiyel denklemi aşağıda sunulmuştur.

$$m\ddot{u} + c\dot{u} + ku = (m_e e \omega^2) \sin \omega t \quad (3.2)$$

Burada \ddot{u} , \dot{u} , u , c , k , sırasıyla ivme, hız, deplasman, viskoz sönüm katsayısı ve tek serbestlik dereceli sistemin rijitlik katsayısıdır. Bu denklemin çözümünden elde edilen deplasman kullanılarak, tek serbestlik dereceli sistemin kararlı haldeki genliği aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanabilmektedir.

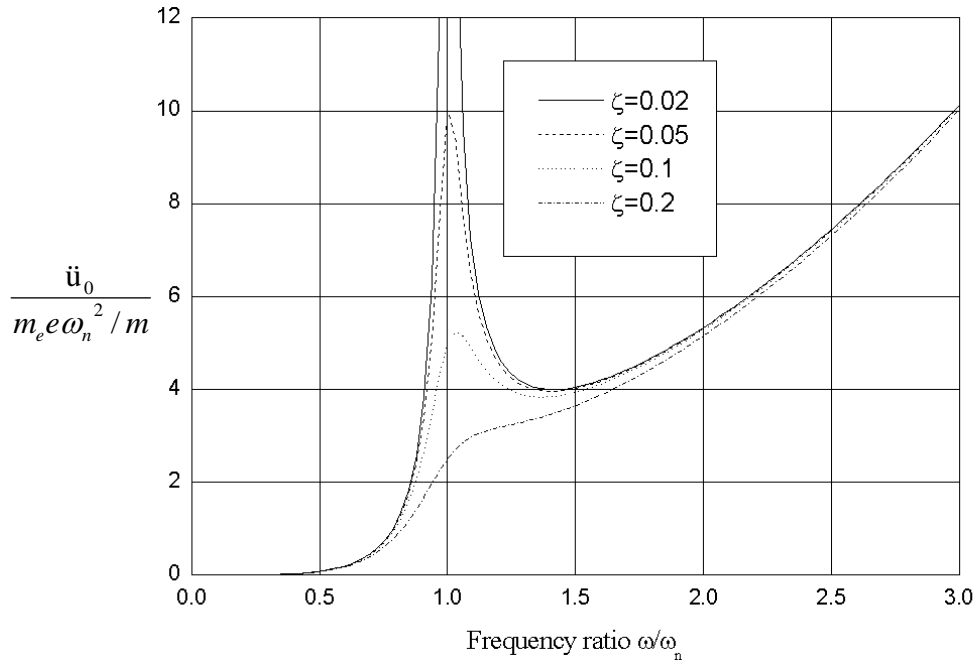
$$\ddot{u}_0 = \frac{m_e e}{m} \omega^2 R_a = \frac{m_e e \omega_n^2}{m} \left[\frac{\omega}{\omega_n} \right]^2 R_a \quad (3.3)$$

Burada ω_n tek serbestlik dereceli sistemin doğal frekansıdır ve

$$R_a = \frac{\left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2}{\sqrt{\left[1 - \left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2\right]^2 + \left[2\zeta\left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)\right]^2}} \quad (3.4)$$

şeklinde yazılır. Burada ζ sönüm oranıdır.

Denklem 3.3'te verilen ivme genliğine karşı frekans oranı ω/ω_n grafiği Şekil 3.3'de sunulmuştur. Sistemin titreşim frekansının ω doğal frekansından ω_n büyük olduğu görülmektedir. Titreşim kuvvetini genliği ω^2 ile orantılı olduğu için ω 'nin hızlı artışı ivmenin de artmasına neden olur. Ayrıca, sistemin doğal frekansının titreşim frekansına yakın olduğu durumda ivme genliğinin çok yüksek olduğu açıkça görülmektedir.



Şekil 3.3. İvme genliği ile frekans oranının ω/ω_n değişim grafiği

Bu cihaz 0.1 ile 15 Hz frekans aralığında çalışmaktadır ve maksimum 745 N sinüzoidal kuvvet üretebilmektedir. Bu maksimum kuvvete yüklü ağırlıkların ve üretilen frekansın farklı kombinasyonları ile ulaşılabilmektedir (Çizelge 3.1.). Bir başka deyişle, maksimum frekans yük kollarındaki ağırlıklara bağlıdır. Titreşim frekansı kontrol ünitesindeki voltmetre ile ayarlanır. Bu ölçüm kontrol ünitesindeki 0.001 Hz hassasiyetli gösterge ve titreşim üretici üzerindeki kodlayıcı sayesinde yapılmaktadır. Şekil 3.4'te titreşim üreticinin kontrol ünitesi gösterilmektedir.

Çizelge 3.1. Bina sarsma cihazının teknik özellikleri

Yük Durumu	Kütle, m_e (kg)	Eksantrisite, e (m)	Maksimum Frekans, ω (Hz)	Uygulanan Maksimum Kuvvet, $P(t)$ (N)
Kütlesiz	1.20	0.145	15	391
Bir Kütle Seti Monte Edilmiş	1.86	0.205	14	745
İki Kütle Seti Monte Edilmiş	2.52	0.175	13	744

**Şekil 3.4.** Titreşim Üreticinin Kontrol Ünitesi

Bu titreşim üretici 745 N'da maksimum genliği üretecek şekilde tasarlanmıştır. Yapıda ve sarsma cihazında hasara neden olmamak için bu limit aşılmamalıdır. Bu nedenle, frekanslar için limit değerler bütün ağırlıklar için belirlenmiştir.

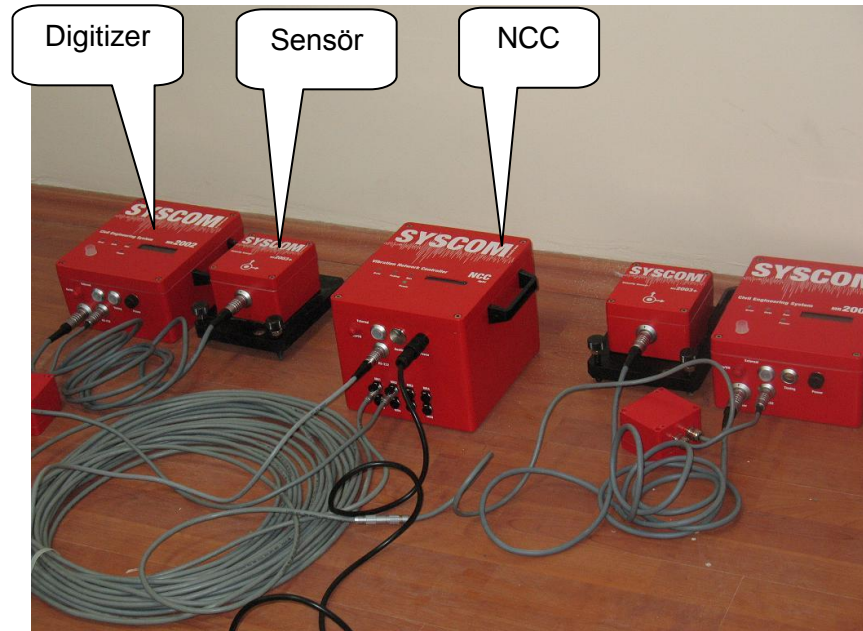
Titreşim üretici tarafından üretilen harmonik kuvvetin yönü sarsma cihazının altına monte edilen kalın çelik plaka ile sağlanmaktadır. Çelik plakada açılmış olan montaj delikleri sayesinde plaka önce döşemeye 4 adet 10 mm çapında civatarla, döşemeye epoksi ile yapıştırılarak sağlamlaştırılmış olan çelik dubellere ankre edilmektedir. Sarsma cihazının her iki yönde montajını sağlayacak şekilde açılmış olan 8 adet deliklere civatarla bağlanmaktadır (Şekil 3.5). Böylece kısa bir sürede sarsma cihazının yönü 4 vidanın sökölüp takılması ile değiştirilebilmektedir.(Şekil 3.7.)

Üretilen harmonik titreşimler Şekil 3.6'da görülen üç kanallı hızölçer ile kaydedilmektedir. Hız ölçer sistemi 6 adet 3 kanallı **Sensör**, bu sensörlerin enerji ihtiyacını uzun süre sağlayabilecek şekilde bataryanın bulunduğu ve titreşimlerin

sayısallaştırıldığı ve depolandığı **Dijitizer**, ve bütün sensörlerin kontrolünün tek bir merkezden sağlanması için **Ağ Kontrol Merkezi (NCC)** denen bir üiteden oluşmaktadır. NCC'ye 8 adet sensör bağlanabilmektedir. Sensör sistemi Şekil 3.6'da verilmektedir. Bu sistem NCC üzerinden bir labtop bilgisayara bağlanmakta ve bilgisayar ile NCC arasındaki iletişimi sağlayan bir program ile sensörlerin ayarları, kayıda başlayacakları andaki senkronizasyonu ve elde edilen kayıtların bilgisayara aktarılması yapılabilmektedir. Sensörlerin herbiri tek başına bir bilgisayara da bağlanabilmektedir. Böylece, her hangi bir noktadaki mevcut titreşimlerin kaydı için tüm sistemin kurulmasına gerek kalmadan sadece 3 kanallı bir sistem ile mümkün olmaktadır.



Şekil 3.5. Titreşim üreticinin monte edildiği çelik plaka



Şekil 3.6. Hızölçer sensör sistemi



Şekil 3.7. Titreşim üreticinin monte edilmiş hali

3.2. Bina Davranışı İzleme Sistemi Yerleştirilmesinde Uygulanan Yöntem ve Amaçlar

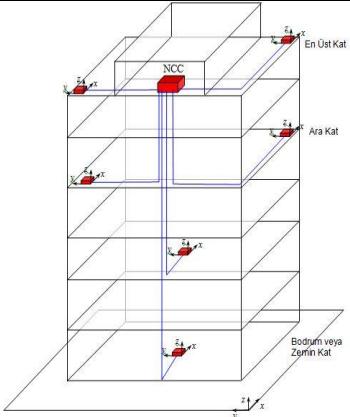
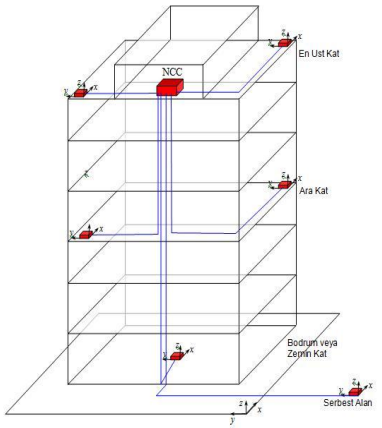
Çelebi (1995 ve 2000)'e göre binalara “İdeal ve Etkili Sismik Cihaz Yerleştirilmesi” aşağıdaki şartları içermektedir.

- Binanın yatay deplasman ve burulma hareketini belirlemek için en az üç yatay sensor gerekmekte,
- Tek yönlü sensörler kullanılmalı: (a) Daha yüksek modların etkisi dikkate alındığında (b) Rijitlik değişimi olan bölgelerde
- Devrilme (rocking) etkisini izlemek için bodrum katında düşey sensörler kullanılmalı
- Serbest alan hareketini, Yapı-Zemin Etkileşimini ve yapı temelini yere göre bağlı hareketini araştırmak için binadan belli uzaklıkta serbest alan ivme ölçerlerinin olması gerekmektedir.

Çizelge 3.2’de kayıt cihazlarının binaya nasıl yerleştirildiğini ve elde edilebilen okumalar ve çıktılar sunulmuştur. Genellikle binanın en üst katına çarpraz köşelere birer sensör sistemi, çok yüksek olmayan binalarda aynı şekilde iki sensör sistemi orta katlardan birine, zemin veya bodrum kata bir sensör sistemi ve bina çevresinde,

binaların titreşiminden etkileşiminin az olabildiği bahçe veya park alanı gibi bir yer olması durumunda bir sensör sistemi serbest alana yerleştirilmektedir (Çizelge 3.2, satır 2). Serbest alan olmaması durumunda sensörlerin tamamı Çizelge 3.2'deki birinci şekilde verilen plana göre yerleştirilmektedir

Çizelge 3.2. Bina test sisteminin yerleştirilmesi ve beklenebilecek çıktılar

Sistemin yerleştirilme tipi	Belirlenebilecekler				
	Yatay hareket modları	Burulma Modları	Devrilme Modları	Serbest Alan Hareketi	Yapı Zemin Etkileşimi
	●	●	○	○	○
	●	●	○	●	●

● mümkün ○ mümkün değil

3.3. Test Edilen Binaların Yapı Analiz Programları ile Modellenmesi

Bu bölümde, test edilen binaların modellenmesi esnasında belli bir standardı ve tüm modellerde uyumu sağlamak için yapılan çalışmalar ve kabuller anlatılmaktadır.

3.3.1. Giriş ve Genel Bilgiler

Bu tez çalışmasının amacı, çalışma sonucunda elde edilen bilgiler yardımı ile Antakya için analitik deprem senaryoları üretilmesine veri tabanı oluşturmaktır. Bu nedenle, gerçekçi bir hasar dağılımının tahmin edilebilmesi için, örnek olarak seçilecek ve incelenecek olan binaların doğrusal ve doğrusal olmayan davranışlarının ele alınması gerekmektedir. Seçilen ve incelenen binaların önemli ölçüde mevcut bina stoğunu temsil edebilecek özelliklere sahip olması gerekmektedir. Bu nedenden dolayı zamanla değişen Deprem Yönetmelikleri ve inşaat üretim tekniklerindeki gelişmeler de dikkate alınarak modellemeler yapılmaya çalışılmıştır. Bu gelişmeler, deprem yönetmeliklerindeki tasarım koşullarının iyileştirilmesi, hazır beton kullanımı ile başlayan beton kalitesindeki iyileşme ve ayrıca nervürlü donatı kullanımı ile de çelik dayanımdaki iyileşme, ayrıca binalarda duvar malzemesi olarak kullanılan tuğla, briket vb. malzemelerin kalitesinde ve ağırlığında yapılan iyileştirmeler dikkate alınmıştır. Bu nedenle test edilen her binanın inşaa yılı önem arz etmiştir.

Metrik birimler olarak kN veya N ve cm veya m kullanılması tercih edilmiştir.

Test edilen binalara ait mimari ve betonarme projeleri eski ve eksik olması, projelerin elle çizilmiş olması nedeni ile bütün binalara ait projelerin elektronik ortamda oluşturulması amacıyla yapısal ve mimari projeler çizim programı ile yeniden çizilmesi çalışmaları yapılmıştır. Bu projeler yeni modellerin oluşturulmasında ve sonuçların elde edilmesinde kullanılmıştır.

3.3.2. Malzeme Özellikleri

Düzenli ve gerçekçi modellerin oluşturulmasında, deprem yönetmeliklerinde yapılan iyileştirmeler ve yönetmeliğe göre uyulması gereken malzeme özellikleri ve bu özelliklerin pratikte sağlanma olasılığı hakkında bilgi edinilmesi gerektiğinden bu konuda çalışmalar yapılmıştır.

Binalarla ilgili ilk araştırmalarda ve modellemelerde öncelikle projede ön görülen malzeme özellikleri kullanılmıştır. Binalardan daha önce karot alınmış ise, karot değerleri, alınmamış ise o yıllarda inşaa edilen binalardan alınmış karot numune

dayanımlarına bakılarak, bu binaların genel olarak sergiledikleri dayanım değerleri kullanılarak farklı malzeme özelliğine sahip modeller elde edilmiştir.

Kullanılan betonarme malzeme birim hacim ağırlığı olarak **25 kN/m³** alınmıştır.

Çizelge 3.3. Çelik malzemesine ait parametreler (TS500)

Çelik Sınıfı	Min. Kopma Gerilmesi f_u [kN / m ²]	Min. Akma Gerilmesi f_{yk} [kN / m ²]	Tasarım Akma Gerilmesi F_{yd} [kN / m ²]	Min. Kopma Uzaması ϵ_{su} (%)	Elastisite Modülü E_s [kN / m ²]
St I	350	220	191	18	200.000
St III	500	420	365	12	200.000
St IV	550	500	435	12	200.000

Çizelge 3.4. Beton malzemesine ait parametreler (TS500)

Beton Sınıfı	Karak. Basınç Dayanımı f_{ck} [kN / m ²]	Tasarım Basınç Dayanımı F_{yd} [kN / m ²]	Beton Çekme Dayanımı f_{yk} [kN / m ²]	Elastisite Modülü E_s [kN / m ²]
C16	16	11	1.4	27.000
C18	18	12	1.5	27.500
C20	20	13	1.6	28.000
C25	25	17	1.8	30.000
C30	30	20	1.9	32.000
C35	35	23	2.1	33.000
C40	40	27	2.2	34.000
C45	45	30	2.3	36.000
C50	50	33	2.5	37.000

Çizelge 3.3. ve Çizelge 3.4.'te TS500'de ve çelik ve beton malzemelerine ait parametreler verilmektedir. Bu malzeme özellikleri ilk tasarım aşamasında kullanılmıştır. Ancak farklı modeller için bu malzeme özellikleri değiştirilerek kullanılmıştır.

3.3.3. Yükler

Çizelge 3.5.'te yapı modellemesinde yapıya uygulanan yük/kütle değerleri verilmiştir. Bu değerlerin göz önüne alınması özellikle yapı kütesinin belirlenmesinde önem arz etmektedir. Kütlenin büyüklüğüne göre bina hakim titreşim periyodu önemli derecede değişiklikler göstermektedir. Özellikle analitik modellerin, deneysel verilere göre kalibrasyonunda bu değerlerin belli ölçüde değiştirilmesi gerekmete ve bir çok modelin kalibrasyonunda bu yola başvurulmuştur.

Çizelge 3.5. Yapı modellerinde kullanılan yük kabülleri

Yük	Değeri	Nerede Kullanılacağı
Döşeme ek yükleri	2 kN/m ²	Yapısal olmayan yükler: mermer, seramik, sıva, mobilya vb.
Çatı ek yükleri	2 kN/m ²	Çatı yükü, çatıda güneş enerjisi ile çalışan su depoları gibi
Haraketli yükler	1 - 2 kN/m ²	Konut tipi binalardaki normal hareketli yükler
Çizgisel Yükler		Dolu duvarlardan dolayı etki eden ölü yükler

3.3.4. ETABS ile Yapıların Modellenmesi

Bu tez çalışmasının amaçlarından biri, testi yapılan binaların analitik modelleri oluşturularak, modeller üzerinde statik itme analiziyle hasarın nasıl gelişeceğini görmek ve yapıların performanslarını belirlemektir. Çizelge 3.6.'da yapısal modellerin oluşturulmasında ana kabuller özetlenmiştir. Bu modeller oluşturulduktan sonra statik itme analizleri yapılmıştır. Statik itme analizi ile elde edilen kapasite eğrisi kullanılarak bina performanslarının hesaplanmasındaki adımlar sonraki bölümlerde kısaca anlatılmaktadır.

Çizelge 3.6. Yapısal elemanların modellenmesinde kabuller

Eleman	Açıklama
Kiriş	<p>Çoğu durumda kiriş-kolon bağlantıları simetrik değildir. Bu durum farklı şekillerde ele alınabilir.</p> <p>1. Duvar elemanı kullanılabilir, ancak bu elemanlar hasar gelişimi ile çelişki yaratmaktadır. Ancak, bu elemanlar sadece yapılan modelin dinamik davranışı ile titreşim deneyi ile elde edilen dinamik davranış parametrelerinin karşılaştırılmasında kullanılabilir.</p> <p>2. Kolon merkezinin kiriş ile bağlandığı noktaya kaydırılması, fakat bu işlem her durumda mümkün olmamaktadır.</p> <p>3. Kolon ile kiriş birleşim yerinde daha başka kiriş elemanları modellenebilir. Bu kiriş elemanlarının kesit özellikleri gerçek elemanla aynı olmalı.(yüksek rijitliği olan elastic eleman olmamalı).</p> <p>Kiriş elemanlarında boyuna ve enine donatı tanımlayabilmek için, kolon eleman gibi tanımlamak daha gerçekçi bir yaklaşım olabilmektedir. Çünkü ancak böyle bir tanımlama ile projede verilen kesit donatı miktarı (çekme, basınç, montaj, ve etriye donatıları) bu kiriş elemanlara tanımlanabilmektedir. Pas payları ise: Boyuna donatı yarı çapı+etriye çapı+5 mm</p>
Kolon	Beton yüzeyi ile boyuna donatı merkezi arasındaki mesafe Boyuna donatı yarı çapı+etriye çapı+5 mm
Perde Duvarlar	Doğrusal olmayan statik itme analizi için perde elemanları kolon gibi tasarlanmıştır. Bir çok durum için bu şu anlama gelmektedir, kiriş boyu bir miktar uzatacak ve kütle iki kat olarak dikkate alınacaktır. Fakat bu kütle arttırılmasının çok bir katkısı olmadığı görüldüğünden ihmal edilebilmektedir. Model kalibrasyonu amacıyla perde duvarlar, shell eleman olarak modellenebilmekte, ancak doğrusal olmayan analize geçildiğinde yukarıda bahsedildiği gibi kolon elemanlarla değiştirilmelidir.
Döşemeler	Döşemeler, shell elemanı olarak modellenmiştir. Döşemeler ayrıca sonlu eleman ağlarına bölünerek gerçek davranışı ifade etmesi (yük aktarımının döşeme -> kiriş -> kolon şeklinde olması) sağlanmıştır. Genellikle döşemelerde eleman boyutları 30/30 cm olarak alınmıştır.
Dolgu Duvarlar	Dolgu duvarlar diyagonal basınç çubukları şeklinde modellenmiştir. FEMA 306'da verilen formüller kullanılmıştır. Bazı durumlarda Deprem Yönetmeliği (2007)'de verilen formüller de kullanılmıştır.

3.3.5. Modellemelerde Plastik Mafsalların Tanımlanması

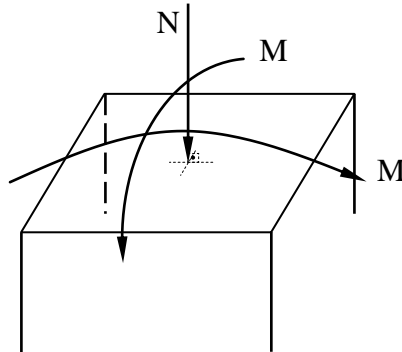
Projesine uygun bir şekilde modellenen yapıda, muhtemel bir deprem esnasında doğrusal olmayan şekil değiştirmelerin meydana gelebileceği bölgelere plastik mafsallar atanır. Bölüm 3.4.'te de belirtildiği gibi plastik mafsallar, buldukları kesitlerin diğer kesitlerle fiziksel bağlantısının azalarak kopmasına ve bu bölgelerdeki gerilmelerin komşu bölgelere tam olarak aktarılamamasına neden olur. Yapıda ilk plastik mafsallın oluşması, sistemin doğrusal-elastik davranıştan ayrılarak doğrusal olmayan davranışa

geçmesi anlamına gelmektedir. Plastik mafsal hipotezine göre elemanların uç kısımlarında teşkil edilirler.

Kirişlerde plastik mafsalların basit eğilme momenti etkisi ile ortaya çıktığı kabul edilir. Eğilme momentinin en büyük değerine ulaştığı kısımlar olan kirişin uç ve açıklık ortası bölgelerinde doğrusal olmayan şekil değiştirmeler görülür. Ancak uç kısımlarda meydana gelen plastik mafsallar, açıklık ortasında oluşan mafsallara göre yapının stabilitesini çok daha fazla etkiler. Bu nedenle pratik uygulamalarda kirişin açıklık ortasında plastik mafsal tanımlanmamaktadır. Kesme kuvvetleri ise kesitin dönme kapasitesini azaltacağı ve plastik mafsal oluşumunu kısıtlayacağı için hesaba katılmamaktadır. Kısaca modellenen bir kirişin her iki ucuna da sadece eğilme momentlerinin aktarımını etkileyen türde plastik mafsallar atanabilmektedir. Elbette diğer kuvvetlerin de komşu elemanlara iletilmesinde kayıplar olacaktır ancak yapılan kabuller işlemleri kısaltmaktadır.

Kolonlarda ise eğilme momenti sadece uç noktalarda en büyük değerlerine ulaşmaktadır. Ancak kolonlar yapıları itibari ile hem aksenal kuvvetlere hem de birbirine dik iki doğrultuda eğilme momentlerine maruz kalmaktadır (Şekil 3.8.). Bu da kolon uç bölgelerinde tanımlanacak plastik mafsalların hem normal kuvvet, hem de moment etkilerini içermesi gerektiği anlamına gelmektedir.

Kiriş ve kolon örneklerinde de görüldüğü gibi plastik mafsalların tüm yapısal elemanlarda aynı türden gerilme kayıplarına neden olacağı söylenemez. Bu sebepten dolayı göz önüne alınan elemanların olası bir yer sarsıntısı sonucu ne tür doğrusal olmayan şekil değiştirmeler yapacağı tespit edilmeli ve en uygun mafsallaşma durumu belirlenmelidir. Plastik mafsallar, buldukları kesitlerde neden olacakları etkilere ve



Şekil 3.8. Kolon kesitine etki eden kuvvetler

kesitlerin donatı durumlarına göre farklı özelliklerde ve isimlerde tanımlanırlar (Çizelge 3.7.). Modellemesi yapılan yapının elemanlarına, deprem etkileri altındaki davranışlarına göre atanırlar.

Çizelge 3.7. Plastik mafsallı türleri, etkileri ve kullanılacağı yerler

	Bulunduğu Kesite Etkisi	Kullanılabileceği Yapı Elemanları
P	Eksenel kuvvetin iletimini azaltır	Çelik yapılarda iki ucu mafsallı çaprazlar veya kafes kiriş elemanları
V2	Kesitin genişliği doğrultusundaki kesme kuvvetinin iletimini azaltır	Yetersiz etriye bulunan elemanlar, yüksek kirişler, bağ kirişleri, yüksekliği az olan perdeler
V3	Kesitin yüksekliği doğrultusundaki kesme kuvvetinin iletimini azaltır	Yetersiz etriye bulunan elemanlar, yüksek kirişler, bağ kirişleri, yüksekliği az olan perdeler
T	Burulma momentinin iletimini azaltır	Açıklık ortasında saplama kiriş bulunan kirişler
M2	Kesitin yüksekliği doğrultusundaki eğilme momentinin iletimini azaltır	Kirişler
M3	Kesitin genişliği doğrultusundaki eğilme momentinin iletimini azaltır	Kirişler
P-M2-M3	Normal kuvvetin ve birbirine dik doğrultudaki momentlerin iletimini azaltır	Kolonlar ve perdeler

3.3.6. Düşeyde ve Yatayda Yük Kombinasyonları

Yapıların depreme karşı tasarımı, taşıyıcı sistem elemanlarının deprem esnasında hem düşey (sabit ve hareketli yükler) hem de yatay yüklemelerin (katlara gelen taban kesme kuvvetleri) etkisi altında yapılmaktadır. Yönetmelikler depreme karşı tasarımda kullanılacak olan düşey ve yatay yükler için çeşitli katsayılar ve kombinasyonlar önermiştir. DBYBHY-2007 Bölüm 4.2.4’de önerilen yükleme katsayıları ve kombinasyonları Denklem 3.5 ve Denklem 3.6’da gösterildiği gibidir.

$$1.0 G + 1.0 Q + 1.0 E \quad (3.5)$$

$$0.9 G + E \quad (3.6)$$

Burada G sabit düşey yüklemeleri, Q hareketli düşey yüklemeleri, E ise yatay deprem yüklemelerini ifade etmektedir. Depreme karşı tasarımda yapı Denklem 3.5. ve 3.6.’da verilen kombinasyonlarla çözülmekte ve yapıyı en çok zorlayacak yükleme seçeneğine göre boyutlandırma yapılmaktadır. Bu tez çalışmasındaki yapıların modellenmesinde kullanılan yükleme katsayıları ve kombinasyonları Çizelge 3.8.’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.8. Statik İtme analizi yüklemeleri için katsayı ve kombinasyonlar

Kombinasyonun Adı	Yükleme Katsayıları					
	G	Q	EXP	EXN	EYP	EYN
DUSEY YUK	1.4	1.6				
DUSEYPUSH	1	1				
EXPPUSH	1	1	1			
EXNPUSH	1	1		-1		
EYPPUSH	1	1			1	
EYNPUSH	1	1				-1
09DUSEYPUSH	0.9					
09EXPPUSH	0.9		1			
09EXNPUSH	0.9			-1		
09EYPPUSH	0.9				1	
09EYNPUSH	0.9					-1

Burada DUSEY YUK binadaki mevcut düşey yüklemeleri temsil etmektedir. DUSEYPUSH deprem hesabı için göz önüne alınan düşey yükleri göstermektedir. Doğrusal olmayan yüklem kombinasyonları EXPPUSH ve EYPPUSH yapı modelinin +X ve +Y yönlerinde, EXNPUSH ve EYNPUSH ise -X ve -Y yönlerinde deprem etkisine maruz kalacağını belirtmektedir. 09 ile başlayan kombinasyonlar ise Denklem 3.6'daki seçeneğin uygulamasıdır.

Modellenen binalara uygulanacak yatay kuvvetlerin belirlenmesi için üçgen yük dağılımı kullanılmıştır. Bu dağılım dışında Eşdeğer Yatay Kuvvet, Hâkim Modal Dağılım, SRSS Dağılımı ve Üniform Dağılım yöntemleri de yaygın olarak kullanılmaktadır (FEMA-356, 2000). Bu yöntemler kısaca açıklanacak olursa (Goel ve Chopra, 2004),

- **Eşdeğer Yatay Kuvvet (ELF) Dağılımı:** s_j^* j . kata gelen yatay kuvvet, m_j j . katın kütlesi ve h_j j . katın yerden yüksekliği olmak üzere,

$$s_j^* = m_j * h_j^k \quad (3.7)$$

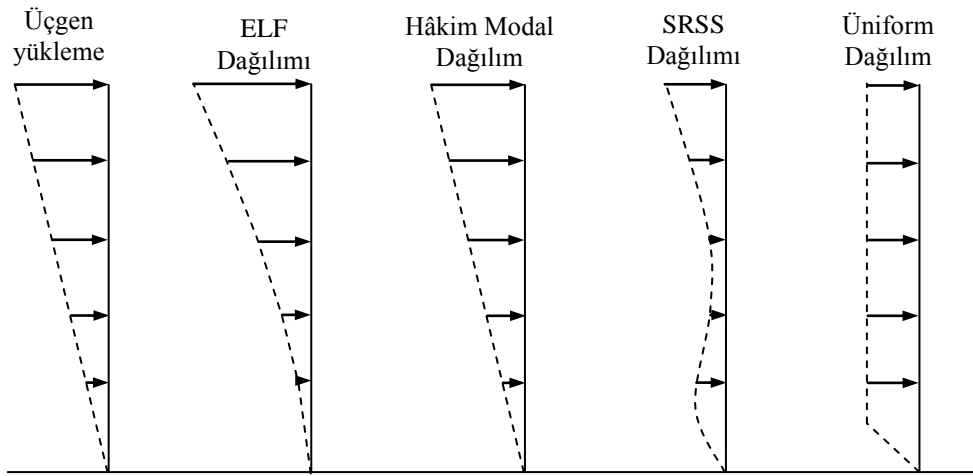
şeklinde tanımlanan yük dağılımıdır. k katsayısı yapının titreşim periyoduna bağlı olup, 0.5 saniyeden küçük periyotlarda 1; 2.5 saniyeden büyük periyotlarda 2 değeri alınır. Ara değerler doğrusal orantı ile bulunabilir. Modal kütle katılım oranı %75'den büyük olan modlarda kullanılması önerilir.

- **Hâkim Modal Dağılım:** φ_{j1} j . katın 1. mod şekli bileşeni olmak üzere,

$$s_j^* = m_j * \varphi_{j1} \quad (3.8)$$

şeklinde tanımlanan yük dağılımıdır. Modal kütle katılım oranı %75'den büyük olan modlarda kullanılması önerilir.

- **SRSS Dağılımı:** Yatay kuvvetler, toplam modal kütle katılım oranı %90'ı aşan modların yapıda meydana getirdiği kesme kuvvetlerinin toplamı olarak ifade edilir. Periyodu 1 saniyeden büyük olan yapılarda kullanılması önerilir.
- **Üniform Dağılım:** Eğer bütün katların kütleleri birbirine eşit ise yatay yükler bu kat kütlelerine eşit olarak alınabilir (Şekil 3.9.).



Şekil 3.9. Yatay yüklemeler için önerilen yöntemler

Binalar doğal periyotlarının, mod şekillerinin ve doğrultularının bulunabilmesi için projelerine sadık kalınarak modellenmiştir. Statik İtme analizinin uygulandığı durumda yapının döşeme ve eşdeğer duvar çubuğu elemanları kaldırılmış, kaldırılan döşeme ve duvar yükleri bağlı buldukları kirişlere yayılı yük olarak etki ettirilmiştir.

3.3.7. Dolgu Duvarların Modellenmesi

Günümüzde birçok tasarım yönetmeliğinde ve yapı analizi programında tuğla dolgu duvarların yapıya sadece sabit bir yük olarak etki ettiği, ancak mukavemete katkıda bulunmadığı kabul edilmektedir. Buna rağmen dolgu duvarların kolonlar arasında teşkil edilerek çerçeve doğrultusundaki yatay yer değiştirmeleri kısmen de olsa kısıtladığı; taşıyıcı sistemin sismik davranışına, modal periyotlarına, mod şekillerine ve

yatay yük taşıma kapasitesine katkıda bulunduğu yapılan deneylerde gözlemlenmiştir (Polyakov, 1956; Negro ve Verzeletti, 1996).

Tuğla duvarların çok katlı yapılarıdaki etkisinin oldukça karmaşık olması nedeniyle tamamen güvenilir bir modelleme yönteminin geliştirildiği söylenemez. Yine de konu hakkında yapılan çalışmalarda dolgu duvarların buldukları çerçeveye çapraz basınç çubuğu davranışı ile kenetlenmeye çalıştığı; çerçeve ve dolgu duvar arasında oluşan gerilmelerin homojen olarak dağılmış olmaktan ziyade uç noktalarındaki basınç bölgesinde yoğunluk gösterdiği belirlenmiştir (Şekil 3.10). Ayrıca günümüzdeki çoğu çalışmaya da zemin oluşturan pratik bir metot olan Eşdeğer Sanal Basınç Çubukları Yöntemi ileri sürülmüştür (Stafford, 1966; 1967).

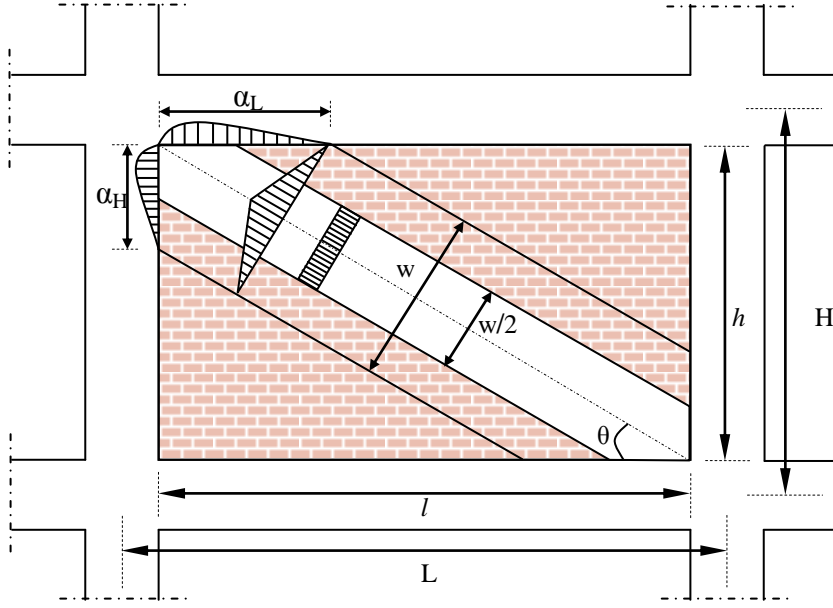
Bu yöntemde eşdeğer basınç çubuğunun rijitliğinin belirlenmesinde, çubuk kalınlığı duvarın kalınlığına (t) eşit alınırken, çubuğun genişliği (w) tespit edilmeye çalışılmaktadır. Şekil 3.10.'daki α_H ve α_L , sırasıyla eşdeğer sanal basınç çubuğunun kolonlarla ve kirişlerle yaptığı temasın uzunluğunun fonksiyonlarıdır ve basınç gerilmelerinin bu temas yüzeyinin üzerinde olduğu kabul edilebilir. Konu üstünde yapılan çalışmalarda eşdeğer çubuğun kalınlığı ve elastisite modülü duvarın değerleri ile aynı alınmış, w duvar genişliği için Denklem 3.9, Denklem 3.10 ve Denklem 3.11'deki bağıntılar önerilmiştir (Mainstone ve Weeks, 1970; Mainstone, 1971).

$$w_{duvar} = 0.175 * (\lambda * H)^{-0.4} * \sqrt{h^2 + l^2} \quad (3.9)$$

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{E_{duvar} * t_{duvar} * \sin 2\theta}{4 * E_{çerçeve} * I_{kolon} * h}} \quad (3.10)$$

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{h}{l}\right) \quad (3.11)$$

Burada, w_{duvar} eşdeğer sanal basınç çubuğunun genişliği, λ eşdeğer basınç çubuğu katsayısı, H kolonun boyu, L çerçevenin açıklığı, h duvarın boyu, l duvarın genişliği, E_{duvar} dolgu duvarın elastisite modülü, $E_{çerçeve}$ çerçeve malzemesinin elastisite modülü, t_{duvar} duvarın kalınlığı, I_{kolon} çerçeveyi oluşturan kolonlardan duvar doğrultusundaki kesiti küçük olanının atalet momenti, θ ise eşdeğer basınç çubuğunun yatayla yaptığı açıdır. Eşdeğer sanal basınç çubukları teşkil edilecekleri çerçeveye, yapı modeline uygulanacak deprem yönünde basınç kuvveti alacak şekilde çapraz olarak yerleştirilir.



Şekil 3.10. Tuğla dolgu duvarın eşdeğer basınç çubuğu olarak modellenmesi

DBYBHY-2007'nin yapılardaki dolgu duvarların modellenmesi hakkındaki yaklaşım ve önerileri yönetmeliğin Bilgilendirme Eki 7F'de Dolgu Duvarların Güçlendirilmesi İçin Yöntemler başlıklı bölümünde açıklanmış olup genel olarak eşdeğer sanal basınç çubukları yöntemini esas aldığı söylenebilir. Ayrıca ilgili bölümde dolgu duvarın modelleneceği çerçevelerin iki koşulu sağlaması öngörülmüştür.

- Yapı modelinde betonarme çerçeve içinde düzenlenmiş ve köşegen uzunluğunun kalınlığına oranı 30'dan küçük olan dolgu duvarlar göz önüne alınmıştır.
- Duvar yüzey alanına oranı %10'u geçmeyen boşlukların bulunduğu duvarların yapı modeline katılmasına, boşlukların konumu köşegen basınç çubuğu oluşumunu engellememesi koşuluyla izin verilebilir.

Hesaplamalarda tuğla yoğunluğu için 1300 kg/m^3 (TS ISO 9194, 1997), tuğla elastisite modülü için 1000 MPa (DBYBHY, 2007) değeri alınmıştır. Tuğla yoğunluğunun belirlenmesinde modellenen yapılarda genel olarak delikli tuğla kullanıldığı kabul edilmiş; ilgili yönetmelikte verilen $1150 - 1450 \text{ kg/m}^3$ aralığının ortalaması alınarak 1300 kg/m^3 değerine ulaşılmıştır.

Diagonal çekme ve basınç çubuğu şeklinde modellenmiş olan dolgu duvarlarda dayanım kontrolleri, kayma-kesme kırılmasına, basınç kırılmasına, panelin diyagonal çekme kırılmasına ve panelin genel kesme kırılmasına göre yapılmıştır.

Kayma-kesme kırılması için: Mohr-Coulomb kırılma kriterine dayanılarak elde edilmiş ifade kullanılmıştır.

$$V_{kesme}^i = \mu l t E_{duvar} \theta^2 \quad (3.12)$$

Burada, $\mu = \tan \phi$, ϕ : kayma açısı ve θ : katlar arası ötelenme açısıdır.

Basınç kırılması için: Stafford-Smith ve Carter (1969) tarafından önerilen yöntemin değiştirilmiş şekli kullanılmıştır.

$$V_c = a t f'_{duvar90} \cos \theta \quad (3.13)$$

Burada, $f'_{duvar90}$: dolgu duvarın yatay yönde öngörülen mukavemeti ($\sim 50\% f'_{duvar}$)'dir.

Panelin diyagonal çekme kırılması için: Saneinejad ve Hoobs (1995) tarafından önerilen yöntem kullanılmıştır.

$$V_{cr} = \frac{2\sqrt{2}t\sigma_{cr}}{\left(\frac{l}{h} + \frac{h}{l}\right)}, \quad \sigma_{cr} \approx 20\sqrt{f'_{duvar}} \quad (3.14)$$

Panelin genel kesme kırılması: FEMA 273, ve Paulay ve Priestley (1992) tarafından yapılan önerilere dayanmaktadır.

$$V_{mi} = l t 2\sqrt{f'_m} \quad \text{ve} \quad V_{mf} = 0.3V_{mi} \quad (3.15)$$

Burada, V_{mi} ilk kesme kapasitesi, V_{mf} son kesme kapasitesidir.

FEMA 306'da diagonal eşdeğer basınç çubuklarında ön görülen deformasyonlar deneysel olarak elde edilen katlar arası ötelenme limitlerine göre belirlenmiştir. Buna göre tuğla duvarlı yapılarda katlar arası deplasman oranı sınırının % 1.5 olduğu kabul edilmiştir.

Basınç kuvveti altında kırılma modları:

- Duvar malzemesinin kayma kırılması modu

$$R_s = \frac{0.03 f'_m}{1 - 0.3 \left(\frac{h}{l}\right)} d_m t \quad (3.16)$$

- Diyagonal sanal çubuğun basınç kırılması

$$R_C = \frac{2}{3} z t f'_m \sec \theta \quad z = \frac{\pi}{2} \left(\frac{4E_c I_g h_m}{E_m t \sin 2\theta} \right) \quad (3.17)$$

Diyagonal sanal elemanın histeresis zarfı davranışı, Fajfar vd. (2001) tarafından önerilen ifadelerle göre belirlenmiştir.

Kabuller: $C_E=0$; $\sigma_{OZ}=0$; $C_R=0.5$

C_F : dolgu duvarın 3 konsol etkisi

I_{duvar} : Yatay kesit alanının atalet momenti

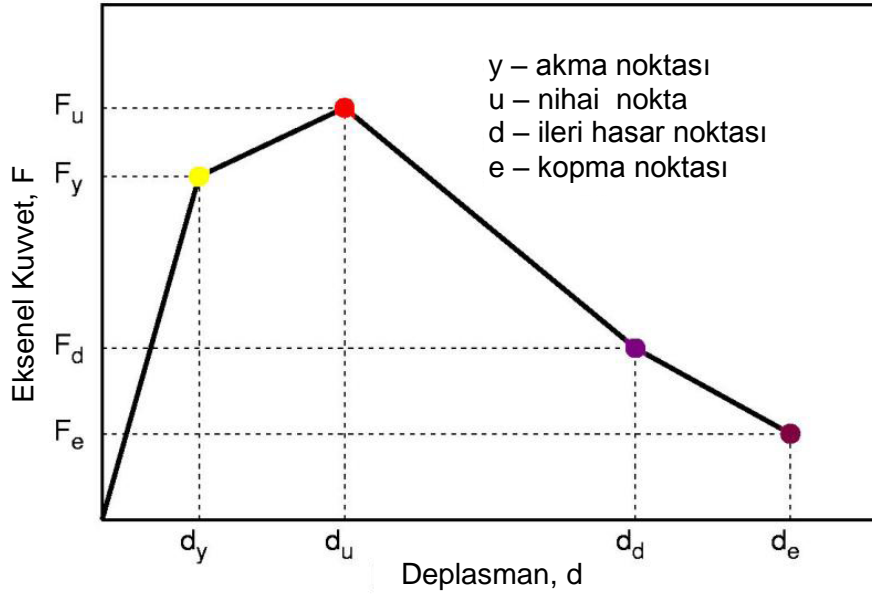
G_{duvar} : Dolgu duvar malzemesinin kayma modülü

f_{tp} : Duvar malzemesine ait f_c 'nin 4-8% oranı

$$K_{i,h} = \frac{1}{\frac{h^3}{C_F E_{duvar} I_{duvar}} + \frac{1.2h}{G_{duvar} L t}} \quad (3.18)$$

$$F_{y,h} = 0.5 \frac{L t f_{tp}}{1.1 C_I} \left(1 + \sqrt{C_I^2 + 1}\right) \quad (3.19)$$

$$C_I = 2\alpha 1.1 \frac{L}{h} \quad (3.20)$$



Şekil 3.11. Sanal diyagonal çubuk için lineer olmayan mafsalsal davranış tanımlama grafiği

Diyagonal sanal eleman için lineer olmayan mafsalsal tanımlama grafiği Şekil 3.11'de ve bu grafikteki her bir noktaya ait deplasman-kuvvet değerleri aşağıda verilen ifadelerle göre hesaplanmıştır.

$$F_y = \frac{F_{y,h}}{\cos\theta_d}, \quad d_y = 1.1 \frac{F_y}{K_i}, \quad K_i = \frac{K_{i,h}}{\cos^2\theta} \quad (3.21)$$

$$F_u = F_y(1 + \nu(\mu - 1)), \quad d_u = \mu d_y \quad (3.22)$$

$$F_d = \frac{F_u}{2}, \quad d_d = d_u + \frac{F_u/2}{K_u}, \quad K_u = -\frac{0.1K_{i,h}}{\cos^2\theta} \quad (3.23)$$

$$F_e = \frac{F_u}{4}, \quad d_e = d_d + \frac{F_u/4}{K_u/2} \quad (3.24)$$

3.4. Doğrusal Olmayan Statik İtme Analizi

Yapıların deprem anındaki tepkilerinin bulunmasında kullanılan doğrusal olmayan statik itme analiz yöntemleri, yapının taban kesme kuvveti – tepe yer değiştirmesi (F-δ, Kapasite Eğrisi) ilişkisinin elastik ötesi teoriler esas alınarak oluşturulmasına yani statik itme analizine dayanmaktadır. Bilindiği gibi betonarme malzemenin yükleme altındaki şekil değiştirme davranışı doğrusal değildir. Ayrıca yüklemelerin artmasıyla yeniden dağılım ve süneklik gibi özellikleri sayesinde ek dayanım kapasiteleri ortaya çıkmakta; ani göçme yerine kademeli olarak zayıflama durumu görülmektedir. Bu nedenle betonun kırılması en büyük gerilmenin olduğu durumda değil, en büyük birim şekil değiştirme değerine ulaşıldığında meydana gelmektedir. Kapasite eğrisinden faydalanılarak sınır birim şekil değiştirme değerine ilk erişecek zayıf elemanlar ve yapıda oluşacak yerel veya genel göçme durumları önceden tahmin edilebilmektedir. Bu nedenle, analitik modelleri, deneysel veriler ile kalibre edilen binalara statik itme analizleri uygulanarak performans seviyeleri belirlenmeye çalışılmıştır.

Doğrusal olmayan statik analiz yöntemleri yer değiştirmeye ve kuvvete bağlı hesaplamalar olarak iki genel grupta incelenmektedir. Yer değiştirmeye bağlı hesaplamalarda yapıya etki eden kesme kuvvetleri adım adım artırılırken, inelastik olarak değişen deplasmanlar öngörülen bir hedef deplasman değeri ile karşılaştırılarak yapının performansı bulunmaktadır. Kuvvete bağlı hesaplamalarda ise yapıdaki mevcut sabit yükler ve artımlı yatay kuvvetler yönetmeliklerde belirtilen sınırlara kadar uygulanmakta ve bunlara karşılık gelen deplasmanlar hesaplanarak yapıda istenen performansın sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilmektedir.

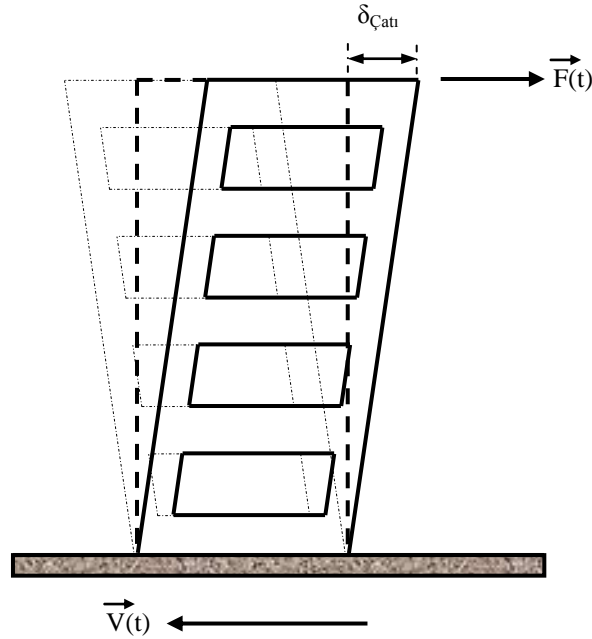
Günümüzde elastik ötesi deplasman taleplerinin belirlenmesinde yaygın olarak üç farklı yer değiştirmeye bağlı doğrusal olmayan statik analiz yöntemi kullanılmaktadır.

- Kapasite Spektrumu Yöntemi (ATC-40, A Prosedürü, 1996)
- Yer Değiştirme Katsayısı Yöntemi (FEMA-356, 2000)
- Sabit Süneklik Prosedürü (Chopra ve Goel, 1999)

Doğrusal olmayan statik analiz yöntemlerinde yapının yatay yüklemeler altındaki inelastik davranışını temsil eden kapasite eğrisi, Statik İtme analizi ile oluşturulmaktadır. Bu nedenle hesaplamalara başlamadan önce Statik İtme Analizi kavramının anlaşılmasına ihtiyaç vardır.

3.5. Statik İtme Analizi ve Kapasite Eğrisinin Elde Edilmesi

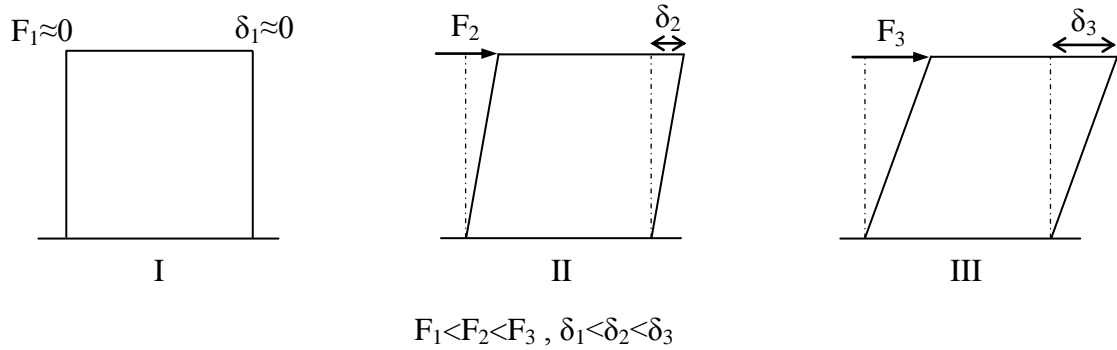
Deprem gibi dinamik, tekrarlı ve yön değiştirebilen yüklemeler, yapıların taşıyıcı elemanlarında yorulmalara ve büyük dayanım kayıplarına yol açmaktadır (Şekil 3.12.). Bu tür bir yükleme altında ortaya çıkan kuvvet - deplasman değişiminin histeretik eğriler meydana getirdiği kabul edilir. Yer titreşimlerinin dinamik etkisi ile oluşan yatay doğrultudaki tekrarlı kuvvetler ve meydana getirdikleri deplasmanlar temsili olarak Şekil 3.13.'te gösterilmiştir. Her bir çevrimde malzemenin elastisite modülünün



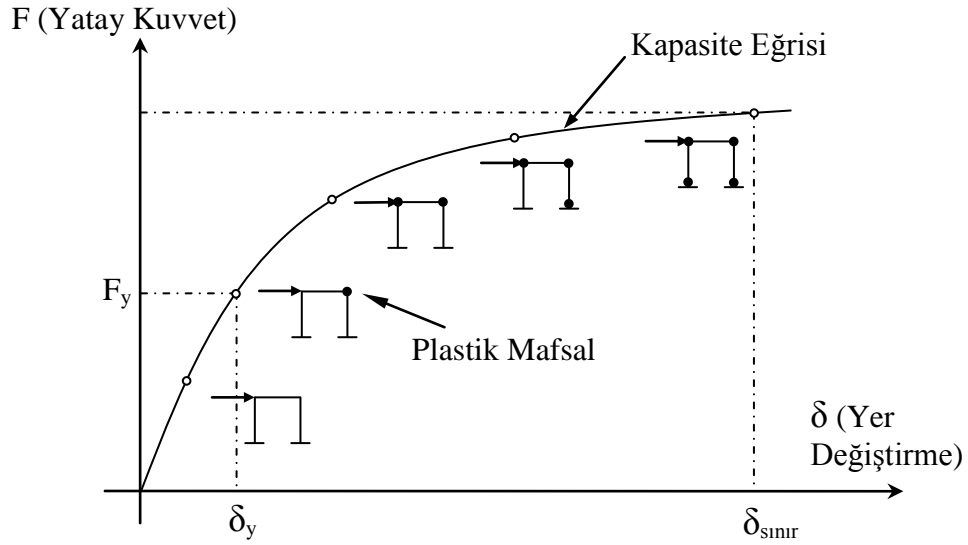
Şekil 3.12. Dinamik yatay yüklemeler altındaki bina davranışı

Statik kuvvet olarak kabul edilen bu yüklemeler, en küçük değerlerinden başlayarak binaya etki ettirilir. Yatay kuvvetlerin her bir artım değeri için yapıda oluşacak olan yer değiştirme miktarı (genelde tepe noktanın yer değiştirmesi) hesaplanır ve bir kuvvet – yer değiştirme eğrisinde gösterilir (Şekil 3.14.). Adım adım arttırılan yüklemelerin her seferinde daha büyük yer değiştirmelere neden olacağı açıktır (Şekil 3.15.). Yer değiştirme miktarı sınır değerine ulaşınca sistemin mekanizmaya girerek göçtüğü kabul edilir. Bu noktada yükleme işlemi sona erdirilir. Böylece yapının maruz kalabileceği her yükleme durumu için yer değiştirme miktarı belirlenmiş olur. Ayrıca yapıda oluşacak plastik mafsallıkların yeri ve seviyeleri tespit edilebilir (Şekil 3.16.).

Yatay yüklemelerin zamana bağlı olmayan kuvvetler ile temsil edilmesine, yapıya adım adım arttırılarak etki ettirilmesine ve yer değiştirmelerin hesaplanmasına “Statik İtme Analizi” adı verilmektedir. Artımlı yüklemelerin her bir adımına karşılık gelen tepe deplasmanı değerine göre çizilmiş olan diyagramlara da Kapasite Eğrisi (ya da Statik İtme Eğrisi) adı verilmektedir. Statik İtme analizi ile elde edilen bir kapasite eğrisi yardımı ile yapının hasar ve göçme durumları, dayanabileceği en büyük yatay kuvvet, oluşabilecek en büyük deplasman ve bunlara bağlı olarak olası bir depremde göstereceği performans önceden tahmin edilebilir (Ertem ve Türker, 2002).



Şekil 3.15. Adım adım arttırılan yatay yükleme ve yapıdaki deplasmanın ilişkisi



Şekil 3.16. Örnek bir kapasite eğrisi ve tahmini hasar seviyeleri

Günümüzde bilgisayar teknolojilerinin gelişmesi ile birlikte Statik İtme analizi ve kapasite eğrilerinin çizilebilmesi çeşitli yapı programlarıyla yapılabilir hale gelmiştir. Sap2000, Etabs, Perform3D, Sta4-CAD, ZEUS-NL gibi nonlinear hesap yapabilen programlarla yapılar modellenerek kapasite eğrileri çıkarılabilir. Ancak hesaplar program kullanılmadan yapılacaksa, uyulması gereken bazı kurallardan söz edilebilir.

- Yer titreşimlerinin olduğu anda yapı zaten kendi ağırlığı ve hareketli yükler gibi düşey yüklerin etkisindedir. Deprem etkisine bağlı oluşacak herhangi bir davranışın düşey yüklemelerden bağımsız olarak ele alınması, hesaplamaların gerçekçi olmayan sonuçlar vermesine neden olmaktadır. Bu nedenle yapının kapasite eğrisi çizilmeden önce mevcut düşey yüklemeler altındaki yapısal analizi yapılmalı, nihai sonuca ulaştıktan sonra yatay yüklemelerin hesabına başlanmalıdır.
- Statik İtme analizinde kullanılacak yüklemelerin doğrultusu ve katlara dağılımları, yapıda en önemli hasarların oluşabileceği mod şekillerine büyük ölçüde bağlı olduğu için hesaplamalara başlamadan önce yapının mod şekilleri ve periyot değerleri belirlenmelidir. Genel olarak yapı kütlelerinin en büyük oranda katılım göstereceği periyot hâkim periyot olarak kabul edilmektedir.
- Hâkim periyot değeri 1.0 saniyenin altında olan yapılarda diğer periyotların etkisi çok daha az olacağı için sadece ilk periyodun doğrultusundaki yatay yüklemelerin

etkisi dikkate alınabilir. Çok katlı ve ilk periyot değeri 1.0 saniyenin üstünde olan yapılarda daha yüksek modlar da hesaba katılmalıdır (ATC-40, 1996).

- Yatay kuvvetler her bir katın kütle merkezine uygulanır. Uygulama doğrultusu genelde hâkim modun doğrultusundadır. Yüklemelerin katlara dağılışı da bu modun şekline uygun olmalıdır. Yatay yüklemelerin katlara dağıtılması aşamasında kullanılmak üzere Eşdeğer yatay kuvvet, Hâkim modal dağılım, SRSS dağılımı ve Üniform dağılım gibi yöntemler bulunmaktadır. Yatay yüklemeler bu yöntemlere göre oluşturulur ve çözümlemede en kritik yükleme esas alınır.
- Önce düşey sonra da yatay yüklemeler, yönetmeliklerde belirtilen kombinasyonlara göre yapıya etki ettirilir. Yapıda oluşacak tepkiler (moment ve kesme kuvvetleri) hesaplanır.
- Küçük değerlerden başlanarak adım adım arttırılan yatay kuvvetlerin her bir yeni değeri için binada oluşacak deplasmanlar (genellikle çatı deplasmanı) hesaplanır ve kuvvet - deplasman diyagramına yerleştirilerek kapasite eğrisi çıkartılır.
- Yatay yüklemelerin artmasıyla bazı elemanlar sınır yer değiştirme değerine ulaşır ve plastik mafsalları davranışı göstermeye başlar. Mafsallaşan elemanlarda dayanım ve yük iletimi sıfır alınır ve yapının yüklenmesine devam edilir.
- Plastik mafsalların artışı ile bina genelinde doğrusal olmayan davranış da belirginleşmeye başlar. Bu durum çizilen kapasite eğrisinden de görülebilir. Kuvvetlerin artım miktarı sabit kaldığı halde deplasman artım miktarı her adımda daha da büyür.
- Kapasite eğrisi eğiminin giderek sıfıra yaklaşması plastik mafsalların binaya yayıldığını, yapının küçük yük artışlarında bile büyük yer değiştirmeler yaptığını ve mukavemetini kaybederek göçmeye başladığını gösterir. Bu durum oluştuğunda analize son verilir (ATC-40, 1996).

3.6. Kapasite Spektrumu Yöntemi

Yer değiştirmeye dayalı doğrusal olmayan analiz yöntemlerinden biri olan kapasite spektrumu yöntemi, genel olarak Statik İtme analizi sonucu bulunan kapasite eğrisi ile deprem etkisini temsil eden standart talep eğrisi arasında ilişki kurularak

yapının performans noktasının bulunmasına dayanır. Bu eğrilerin aynı diyagramda gösterilebilmesi için spektral formata (ADRS) çevrilmesi gerekir.

Kapasite spektrum yönteminde, yapıya etki eden yatay deprem yüklemelerinin betonarme elemanlarda elastik ötesi davranışı ve süneklik özelliğini ortaya çıkarmasından yararlanır. Bu özellikler deprem talebinin bir kısmının, kolon - kiriş birleşim yerlerinde meydana gelen doğrusal olmayan şekil değiştirmelerle (plastik mafsallar) sönmülmesini sağlar. Sönmülmenin hesaplamalardaki etkisi Spektral İvme Katsayısı – Spektral Deplasman grafiğine aktarılan talep eğrisinin, tahmini bir performans noktasına bağlı olarak indirgenmesidir. Kapasite spektrumu ve ADRS formatındaki indirgenmiş talep spektrumunun kesişim noktası yapının performans noktasını belirtir. Performans noktası; deprem etkisi altındaki bir yapının bu etkiye karşı göstereceği yaklaşık direnci temsil eder. Bu nokta, öngörülen performans noktası ile karşılaştırılarak yapının performansı hakkında genel bir fikir elde edilmeye çalışılır.

Kapasite spektrumu yönteminde bilinmesi gereken önemli kavramlar deprem talebi, bina kapasitesi ve performanstır.

Deprem Talebi: Yer kabuğundaki ani hareketler sonucu meydana gelen sismik titreşimler yapıları hem düşey hem de yatay doğrultuda deplasman yapmaya zorlar. Doğası gereği devamlı olarak yönü ve büyüklüğü değişen yüklemeler oluşturan bu titreşimlerin deprem ile ilgili yapısal hesaplamalarda doğrudan kullanılması oldukça zordur. Bu nedenle yer titreşimlerinin basitleştirilmiş halini ifade eden Spektral İvme - Periyot eğrisi kullanılır. Bu eğriye Standart Deprem Talebi de denmektedir. Standart talep eğrisi Kapasite Spektrumu yönteminde Spektral İvme Katsayısı – Spektral Deplasman (ADRS) grafiğine dönüştürülür ve Talep Spektrumu adını alır.

Kapasite Eğrisi: Yapının yatay yüklemelere karşı gösterdiği tepkiyi ve yer değiştirmeleri temsil eder. Eğrinin karakteristikleri yapı elemanlarının dayanım özelliklerine bağlıdır. Kolon, kiriş ve perde gibi taşıyıcı elemanlar yüklemelerin etkisi ile akma sınırına ulaşıncaya kadar yapının kapasitesine katkı sağlarlar. Gerçekte her bir elemanın kendine ait bir kapasitesi vardır. Ancak işlemlerin basitleştirilmesi için Statik İtme analizi ile elde edilen ve tüm yapının inelastik davranışını temsil eden tek bir kapasite eğrisinin geçerli olduğu kabul edilebilir. Taban kesme kuvveti – yatay deplasman grafiğinde gösterilen kapasite eğrisi, kapasite spektrumu yönteminde

Spektral İvme Katsayısı – Spektral Deplasman grafiğine dönüştürülerek Kapasite Spektrumu eğrisi adını alır.

Performans: Bir yapının deprem kuvvetleri etkisinde göstereceği davranışa performans denmektedir. Binada oluşması beklenen hasar seviyelerini ifade eder. Binanın alacağı hasar (çatlama ve kırılmalar, plastik mafsallaşmalar, elemanlar arası yük iletiminin bozulması, göçme durumu vs.) deprem esnasındaki yer değiştirme miktarı ile doğrudan bağlantılıdır. Yatay yüklemelerin etkisindeki bir yapıda oluşan yer değiştirmeler kapasite eğrisi üzerinde bulunmak zorundadır. Dolayısıyla dönüştürülmüş kapasite spektrumunda da bu değer bir spektral deplasman karşılığı vardır. Aynı grafikte gösterilen ADRS formatındaki talep ve kapasite spektrumlarının kesiştiği nokta yapının performans noktası olarak tanımlanmaktadır. Performans noktasında kapasite ve talep spektrumlarının spektral deplasman değerleri eşittir.

Taşıyıcı elemanların süneklik özelliğinden dolayı inelastik yer değiştirme durumunda ortaya çıkan ek dayanımlar, yapının belli bir hasar seviyesine kadar ayakta kalmasını sağlamaktadır. Bu nedenle tasarım aşamasında yapının kullanım amacına uygun olarak belli bir düzeyde hasar almasına müsaade edilmektedir. Yapının deprem esnasında sahip olması istenen bu hasar seviyesi hedef performans olarak tanımlanır. Performansa dayalı tasarımda yapının öngörülen hedef performans değeri ile hesaplamalar sonucu elde edilen performans noktası değeri karşılaştırılarak olası bir deprem etkileri altındaki hasar görülebilirliği tespit edilmiş olur.

ATC-40 yönetmeliğinde bina tipi yapılarda kapasite spektrumu yönteminin uygulanışına dair üç farklı prosedür önerilmiştir. Her üç prosedür de aynı amaca hizmet etmesine rağmen aralarında matematiksel işlemler ve uygulama bakımından farklılıklar bulunmaktadır.

A Prosedürü: Bu yöntem, kapasite spektrumu yönteminin doğrudan uygulamasıdır. Grafik bir çözüm yolu olmaktan ziyade analitik kısmı ağır basan hesaplamalar üzerine kurulmuştur. Bütünüyle iteratif işlemlerle sonuca gidilmektedir. Gerekli düzenlemeler yapılarak işlemlerin bilgisayar ortamına aktarılması mümkündür. Kapasite spektrumu yönteminde deneyimi olmayanlar için anlaşılması ve uygulanması en kolay olan prosedürdür.

B Prosedürü: Kapasite spektrumu eğrisinin iki ayrı doğru parçası ile idealleştirilmesi ve performans noktasının küçük iterasyonlarla elde edilmesi temeline

dayanan bir yöntemdir. Tamamen analitik hesaplamalara dayandığından bilgisayarla yapılacak çözümler için en uygun olan seçenektir. Yeni başlayan tasarımcılar için anlaşılması A prosedürüne göre daha zordur.

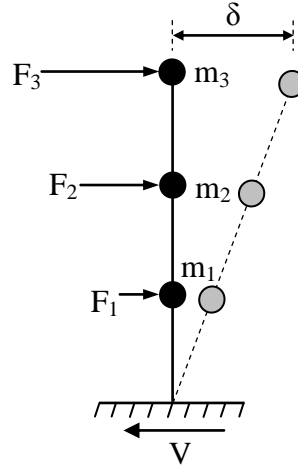
C Prosedürü: Bu yöntemde performans noktasının bulunabilmesi amacıyla tümüyle grafiksel işlemlerden yararlanılmaktadır. Performans noktasının bulunması için önerilen yaklaşımlar ve matematiksel bağıntılar, kapasite spektrumu yöntemi için başlangıçta tasarlanmış olan genel fikirlerle benzerlik göstermektedir. Elle analiz yapmak için en uygun yöntem olup ilk denemelerde sonuca ulaşma imkânı vardır. Buna karşın anlaşılması ve bilgisayar ortamına aktarılması oldukça zordur.

Bu tez çalışmasında anlaşılması en kolay seçenek olan A prosedüründen bahsedilecektir.

Önceden de değinildiği gibi yapının deprem anındaki davranışı kapasite eğrisi ile ifade edilmektedir. Kapasite Spektrumu yönteminde yapının performans noktasını bulabilmek için talep ve kapasite eğrilerinin Spektral İvme Katsayısı – Spektral Deplasman grafiğinde çizilerek kesişim noktasının belirlenmesi gerekmektedir. Dolayısıyla öncelikle bu eğriler spektral formata dönüştürülmelidir.

3.7. Kapasite Spektrumunun Elde Edilmesi

Yapının performans noktasının belirlenmesine kapasite spektrum yönteminin hangi prosedürü esas alınır alınır öncelikle yapının yatay yükler altındaki genel davranışını temsil edecek bir kapasite eğrisinin oluşturulması gerekmektedir. Çok katlı bir yapıya etki eden deprem kuvvetinin katlara dağılışı Şekil 3.17.’teki gibi gösterilebilir. Yapı dinamiğinin temel ilkeleri kullanılarak deprem etkisi altındaki çok serbestlik dereceli ve N katlı bir sistemde J . modda oluşan taban kesme kuvveti ve bu kuvvetin katlara göre dağılımı Denklem 3.25 ve Denklem 3.26’ye göre hesaplanabilmektedir. Kuvvetler katların kütleleri (m) ve görelî yer değıştirmeleri (ϕ) göz önüne alınarak dağıtılmaktadır.



Şekil 3.17. Taban kesme kuvveti ve katlara dağılışı

$$V_j(t) = m_j^* * a_j(t) \quad (3.25)$$

$$F_{nj}(t) = m_j^* * a_j(t) * \frac{m_n * \phi_{nj}}{\sum_{i=1}^N (m_i * \phi_{ij})} \quad (3.26)$$

Burada, $V_j(t)$ J . modda yapıya etki eden dinamik taban kesme kuvvetini, m_j^* yapının J modundaki etkin kütlelerini, $a_j(t)$ J . modda yapıya etki eden dinamik deprem ivmesini, $F_{nj}(t)$ J . modda yapının n . katına gelen dinamik yatay deprem yükünü, m_n n . katın kütlelerini, ϕ_{nj} n . katın J modundaki görelî yer değiştirmesini veya genliğini, N ise kat sayısını ifade etmektedir.

Formüllerdeki ivme değerleri dinamik olduğu için zamana bağlı değişkenler almaktadır. Bu ivme değerlerini zamandan bağımsız hale getirmek için esas alınan depreme ait spektrum eğrilerinden en büyük ivme değerleri, spektral ivme formatında elde edilebilmektedir. Yapıya gelecek en büyük deprem etkisi 1. modda meydana geldiği için sadece bu mod göz önüne alınabilir. Buna göre ivme ifadesi Denklem 3.27'deki gibi olmaktadır.

$$\max(a_j(t)) = S_{a1} * g \quad (j=1 \text{ ise}) \quad (3.27)$$

şeklinde yazılabilir. Burada, S_{a1} 1. modda yapıya etki eden spektral ivme katsayısı, g yer çekimi ivmesidir. S_a spektral ivme katsayısı boyutsuz bir değer olduğu için g yerçekimi ivmesi ile çarpılarak boyutlu hale getirilmiştir. Burada dikkat edilmesi gereken en önemli nokta S_a 'nın tek başına spektral ivme olarak alınamayacağıdır. Taban kesme kuvveti formülü ise,

$$V_1 = m_1^* * S_{a1} * g \quad (3.28)$$

olur. m_1^* ifadesi 1. moda ait etkin kütle olarak tanımlanmaktadır ve,

$$m_1^* = \frac{\left(\sum_{i=1}^N (m_i * \phi_{i1}) \right)^2}{\sum_{i=1}^N (m_i * \phi_{i1}^2)} \quad (3.29)$$

formülü ile gösterilmektedir. 1. moda ait etkin kütle, yapının m toplam kütlesinin bir oranı (α_1) olarak yazılmak istenirse,

$$\alpha_1 = \frac{m_1^*}{m} = \frac{m_1^* * g}{W} \quad (3.30)$$

$$\alpha_1 = \frac{\left(\frac{\left(\sum_{i=1}^N (m_i * \phi_{i1}) \right)^2}{\sum_{i=1}^N (m_i * \phi_{i1}^2)} \right) * g}{W} = \frac{\left(\sum_{i=1}^N (m_i * \phi_{i1}) \right)^2 * g}{W * \sum_{i=1}^N (m_i * \phi_{i1}^2)} \quad (3.31)$$

Burada, α_1 1. moda ait etkin kütlelerin yapının toplam kütlesine oranını, W yapının ağırlığını ve w_n n. katın ağırlığını belirtmektedir.

Pay ve paydayı yerçekimi ivmesi g ile çarparsak,

$$\alpha_1 = \frac{\left(\sum_{i=1}^N (m_i * g * \phi_{i1}) \right)^2}{W * \sum_{i=1}^N (m_i * g * \phi_{i1}^2)} \quad (3.32)$$

$$\alpha_1 = \frac{\left(\sum_{i=1}^N (w_i * \phi_{i1}) \right)^2}{W * \sum_{i=1}^N (w_i * \phi_{i1}^2)} \quad (3.33)$$

α_1 ifadesi taban kesme kuvveti formülündeki m_1^* etkin kütlelerin yerine konulursa,

$$V_1 = \alpha_1 * W * S_{a1} \quad (3.34)$$

denklemini elde edilir. Taban kesme kuvvetinin katlara göre dağılımı ise,

$$F_{n1} = \alpha_1 * W * S_a * \frac{w_n * \phi_{n1}}{\sum_{i=1}^N (w_i * \phi_{i1})} \quad (3.35)$$

şeklini alır. Burada F_{n1} 1. modda yapının n. katına gelen statik yatay deprem yükü ifade eder. Bu formüllerle belirlenen 1. mod doğrultusundaki yatay kuvvetlerin etkisi ile oluşan δ kat yer değiştirmelerini bulmak için,

$$\delta_{n1} = \Gamma_1 * \phi_{n1} * S_{d1} \quad (3.36)$$

ifadesi kullanılır. Bu formülde δ_{n1} n. katın 1. moddaki yer değiştirmesini, Γ_1 1. moddaki kütle dağılım katsayısını (veya PF_1 ; 1.mod için modal Participation Factor), ve S_{d1} 1. modda yapıda oluşan spektral deplasmanı belirtmektedir. Buradaki Γ_1 terimi Denklem 3.37'de açıklanmıştır.

$$\Gamma_1 = \frac{\sum_{i=1}^N (m_i * \phi_{i1})}{\sum_{i=1}^N (m_i * \phi_{i1}^2)} \quad (3.37)$$

Yatay yükleme etkisindeki bir yapıda en büyük deplasmanın çatı seviyesinde olacağı kabul edilirse,

$$\max \delta_{n1} = \delta_{\zeta an1} = \Gamma_1 * \phi_{\zeta an1} * S_{d1} \quad (3.38)$$

olur. Denklem 3.34 ve Denklem 3.38 düzenlenirse S_a spektral ivme katsayısı teriminin kuvvet cinsinden, S_d spektral deplasman teriminin de yer değiştirme cinsinden yazılabileceği görülebilir. Bu terimlerim en kritik değerleri, bina etkin kütesinin sismik davranışa en çok katıldığı mod olan 1. modda oluşacağı için söz konusu indisin yazılmasına gerek duyulmaz.

$$S_a = \frac{V}{\alpha * W} \quad (3.39)$$

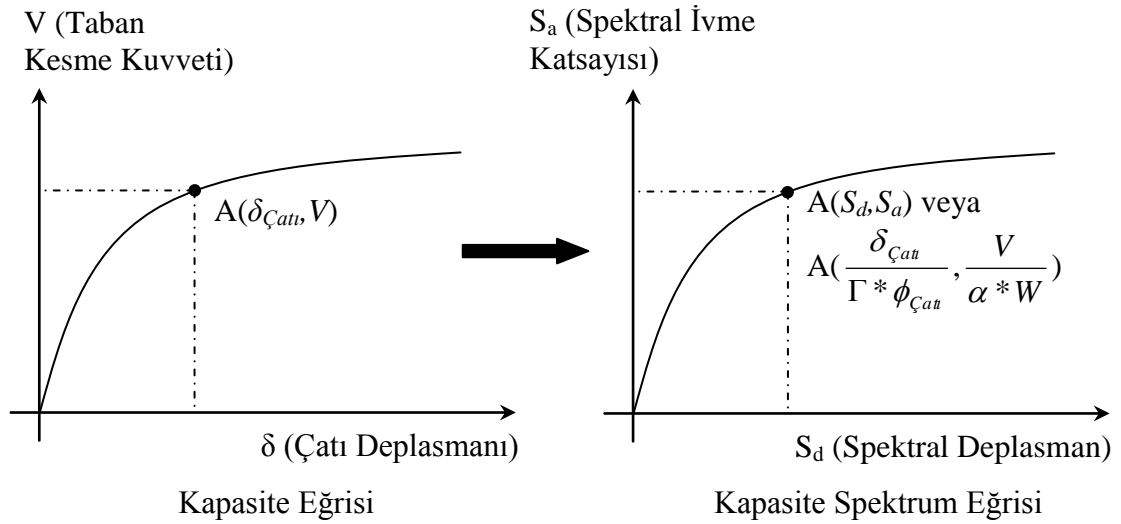
$$S_d = \frac{\delta_{\zeta an}}{\Gamma * \phi_{\zeta an}} \quad (3.40)$$

Bu şekilde bir yapıya etki eden V taban kesme kuvveti (toplam deprem yükü) ile meydana getirdiği en büyük δ yer değiştirmesinin (çatı deplasmanı) değişimini gösteren kapasite eğrisi, Spektral İvme Katsayısı (S_a) – Spektral Deplasman (S_d) düzleminde oluşturulan bir kapasite spektrumu eğrisine dönüştürülmüş olur (Şekil 3.17.). Ortaya çıkan bu eğri yapının geometrik yapısına ve sistemdeki taşıyıcı elemanların

kapasitelerine bağılı olacaktır. Kapasite eğrisindeki doğrusal olmayan değişimler, spektral dönüşümden sonra da görülebilmektedir. Ayrıca spektral ivme katsayısı boyutsuz bir büyüklük iken spektral deplasman uzunluk birimleri ile tanımlanır.

3.8. Standart Talep Spektrumu ve ADRS Formatına Dönüştürülmesi

Depreme dayalı tasarım yöntemlerinde tasarlanan yapıların maruz kaldıkları deprem etkilerinin belirlenmesi taşıyıcı sistem elemanlarının kesitleri, hasar seviyeleri ve yapım maliyetleri gibi birçok önemli parametreyi doğrudan etkilemektedir. Yüksek şiddetteki bir depreme karşı tasarım yapılması, yapının hasar görebilirliğini olumlu



Şekil 3.17. Kapasite spektrumunun spektral formata dönüştürülmesi

şekilde etkileyebilirken ekonomik yönden uygun bir seçenek olmayacağı açıktır. Bu nedenle göz önüne alınacak olan deprem hareketinin, yapının dayanım – maliyet dengesini sağlıklı bir biçimde sağlaması gerekmektedir.

3.8.1. Kullanılacak Deprem Belirlenmesi

Yapı tasarımı hesaplamalarında esas alınacak deprem hareketi ile ilgili birçok yaklaşım bulunmaktadır. Zaman Tanım Alanı (Time History) yönteminde gerçek deprem kayıtları ile çözümlenmeler yapılırken, Kapasite Spektrumu gibi daha pratik yöntemlerde yapının kullanım amacı, öngörülen hasar seviyesi, deprem olma olasılığı

vb. gibi durumlara göre birbirinden ayrılan deprem seviyelerinden faydalanılmaktadır. Bu depremlerden elde edilen standart talep spektrumu eğrileri daha sonra ADRS formatındaki talep spektrumuna dönüştürülmekte ve kapasite spektrumu ile karşılaştırılarak yapının performans noktası belirlenmeye çalışılmaktadır.

Yönetmeliklerde performansa dayalı tasarımda kullanılmak üzere farklı seviyelerde depremler tanımlanmaktadır. Bu tasarım depremleri birbirlerinden 50 yıllık bir dönemde aşılma olasılıklarına göre veya eşdeğer şiddetteki depremlerin tekrar görülebilme sürelerine göre ayrılmaktadır. Tasarım depremlerinin aşılma olasılığına ve tekrarlama aralığına göre genel dağılımı Çizelge 3.9.'da gösterildiği gibidir.

Çizelge 3.9. bir depremin şiddeti arttıkça meydana gelme olasılığı azalması esasına göre hazırlanmıştır. Düşük şiddetteki depremler daha sık oluşurken (birkaç gün veya hafta ara ile) yüksek şiddetteki yıkıcı depremlerle daha seyrek (birkaç ay veya yıl ara ile) karşılaşmaktadır. Gerçekten de 50 yılda gelme olasılığı %20 olan bir depremin, gelme olasılığı %50 olan depreme göre daha yıkıcı olması beklenir.

Çizelge 3.9. FEMA-356 'ya göre depremlerin sınıflandırması

Aşılma Olasılığına Göre Depremler	Ortalama Tekrar Aralığı (Yıl)
%50/50 Yıl	72
%20/50 Yıl	225
%10/50 Yıl	474
%2/50 Yıl	2475

FEMA-356 yönetmeliğinde depremler iki farklı sınıfta toplanmıştır.

- **Temel Güvenlik Depremi-I (TGD-1):** 50 yıllık süre içinde aşılma olasılığı %10 olan depremlerdir. Etkisi Temel Güvenlik Depremi-II 'nin üçte ikisinden azdır.
- **Temel Güvenlik Depremi-II (TGD-2):** 50 yıllık süre içinde aşılma olasılığı %2 olan depremlerdir. Projelendirilmesi yapılan bölgede veya en yakın fayda ölçülmüş yer hareketlerinin ortalamasının 1.5 katından küçük olarak alınırlar. ATC-40 yönetmeliğinde ise depremler üç farklı sınıfta toplanmıştır.
- **Kullanım Depremi:** FEMA-356'da tanımlanmış ve 50 yıllık sürede aşılma olasılığı %50 olan (Tekrarlama süresi yaklaşık 75 yıl) depremin etkileri esas alınmaktadır. Yapının kullanım süresi boyunca karşılaşıcağı en muhtemel deprem şiddetini temsil etmektedir. Büyüklüğünün tasarım depreminin yarısı kadar olduğu kabul edilmektedir.

- **Tasarım Depremi:** 50 yıllık zaman aralığı içinde aşılma olasılığı %10 olan (Tekrarlama süresi yaklaşık 500 yıl) depremin etkileri esas alınmaktadır. Yapının kullanım süresi boyunca karşılaşma durumu pek sık görülmesi de meydana gelmesi halinde önemli yıkımlara yol açabilecek bir deprem türüdür. Yapılması düşünülen bir yapının en azından bu seviyedeki bir depremi geçmeden atlatabileceği şekilde projelendirilmesi istenir. Adından da anlaşılacağı gibi tasarım aşamasında kullanılması en uygun olan ve dayanım – maliyet dengesini en sağlıklı şekilde sağlayan deprem çeşididir.
- **Maksimum Deprem:** 50 yıllık bir zaman aralığı içinde aşılma olasılığı %2 olan (Tekrarlama süresi yaklaşık 2500 yıl) depremi temsil etmektedir. Ele alınan bölgede belirlenebilecek en büyük deprem olarak kabul edilir. Meydana getireceği etkiler bakımından tasarım depreminin yaklaşık 1.25 – 1.5 katıdır. Genelde önem katsayısı yüksek olan ve muhtemel bir depremi en az zararla atlattırması istenen yapılar (hastaneler, barajlar, nükleer tesisler vb.) için esas alınan bir deprem türüdür.

FEMA-356’da tanımlanmış olan TGD-1’in ATC-40’daki Tasarım Depremine; TGD-2’nin ise Maksimum Depreme denk düştüğü söylenebilir (Polat ve ark., 2004). Bu depremler dışında isteğe bağlı olarak tasarlanacak yapının bulunduğu bölgeye özel ivme spektrumları veya deprem kayıtları kullanılabilir.

Projelendirilecek yapının karşılayabilmesi istenen deprem türü seçildikten sonra performans noktasının bulunması için seçilen deprem türünün özelliklerini temsil edecek olan standart talep spektrumu eğrisi oluşturulur.

3.8.2. %5 Sönümlü Standart Talep Spektrumunun Oluşturulması

Kapasite spektrumu yönteminde yapıya gelen deprem etkisini temsil etmek üzere C_A ve C_V gibi sismik katsayılarından yararlanılarak standart talep eğrisi oluşturulur. C_A katsayısı zeminin etkili maksimum ivme katsayısını temsil ederken C_V katsayısı ise periyodu 1 saniye olan %5 sönümlü sistemin spektrum değerini vermektedir. Bu katsayılar genelde zemin sınıfına ve deprem bölge katsayısı Z , deprem etkisi türü E ve deprem kaynağına uzaklık katsayısı N parametrelerinin çarpımından oluşan ZEN ifadesine bağlı olarak elde edilebilir.

$$C_{A,V}=Z*E*N_{A,V} \quad (3.41)$$

- **Deprem Bölge Katsayısı (Z):** ATC-40 yönetmeliğine göre Z deprem bölge katsayısı Çizelge 3.10.'dan alınmaktadır.

Çizelge 3.10. Deprem bölge katsayısı

Bölge	1	2A	2B	3	4
Z	0.075	0.15	0.20	0.30	0.40

ATC-40'da bölgeler deprem etkilerine göre küçükten büyüğe doğru sıralanmaktadır. DBYBHY-2007'de belirtilen en yüksek deprem etki seviyesi olan 1.bölge, ATC-40 yönetmeliğinde 4.bölgeye denk düşmektedir. Ayrıca iki ayrı seviye olarak gösterilen 2A ve 2B, yönetmelikte 3. bölgeye karşılık gelir (Celep, Kumbasar, 2004).

- **Deprem Etkisi Türü (E):** Önceden de değinildiği gibi yönetmeliklerde çeşitli deprem seviyeleri tanımlanmıştır. Deprem etkisi türü E için ATC-40 yönetmeliğinde,

Kullanım Depremi için $E=0.5$,

Tasarım Depremi için $E=1.0$,

Maksimum Deprem için $E=1.25$ veya 1.5

değerleri önerilmiştir.

- **Kaynağa mesafe katsayıları (N_A ve N_V):** Deprem oluşturma potansiyeli taşıyan bir kaynak (aktif fay, yanardağ vb.) ile yapı arasındaki mesafeyi temsil eden bir parametredir. C_A katsayısı için N_A parametresi, C_V katsayısı için N_V ise $Z*E*N$ çarpımına dâhil edilmelidir. Meydana gelebilecek deprem şiddetine bağlı olarak değişen bir parametredir. (Celep, Kumbasar, 2004)

- **Zemin sınıfı:** C_A ve C_V katsayılarının oluşturulmasında kullanılan çizelgeler genelde sert zeminler için hazırlanmışlardır. Bu tür zeminler için C_A ve C_V katsayıları doğrudan $Z*E*N_{A,V}$ çarpımı olarak alınabilir. Ancak yumuşak zeminler için katsayıların bulunması gerektiği durumlarda zemin sınıfına bağlı bazı güvenlik çarpanları ile düzeltme yapılması gerekir. Bu çarpanlar bölgenin depremden etkilenme durumuna göre değişiklik gösterir. Deprem etkisi büyük olan zeminlerde C_A katsayısı 1.1, küçük olan zeminlerde 1.0 ile çarpılır. C_V katsayısı ise etkinin büyük olduğu zeminlerde 1.5, etkinin küçük olduğu zeminlerde 3.0 ile çarpılabilir. Bu güvenlik çarpanının tam olarak

bulunabilmesi için öncelikle zeminin çeşitli özelliklerine dayanılarak zemin sınıfı belirlenmelidir (Çizelge 3.11.).

Daha sonra $Z^*E^*N_{A,V}$ ile çarpılacak olan zemin sınıfına (Çizelge 3.11.) bağlı güvenlik çarpanı ATC-40 da önerilmiş olan Çizelge 3.12. ve Çizelge 3.13.'den okunur. Bu güvenlik çarpanının da göz önüne alınmasıyla C_A ve C_V katsayıları için Denklem 3.36'daki gibi genel bir bağıntı yazılabilir,

Çizelge 3.11. Zemin sınıfları (ATC-40, 1996)

İlk 30 Metredeki Ortalama Zemin Özellikleri				
Zemin Sınıfı	Kayma Dalgası Hızı V_S (m/s)	Standart Penetrasyon Deneyi, N (Vuruş/m)	Kesme Dayanımı Açısı (Derece)	Drenajsız Kayma Dayanımı S_U (kN/m ²)
S_A – Sert Kaya	$V_S > 1500$	-----	-----	-----
S_B - Kaya	$760 < V_S \leq 1500$	-----	-----	-----
S_C – Yoğun Toprak ve Yumuşak Kaya	$360 < V_S \leq 760$	$N > 165$	> 40	$S_U > 100$
S_D – Sert Toprak	$180 < V_S \leq 350$	$50 \leq N \leq 165$	$33 - 40$	$50 \leq S_U \leq 100$
S_E – Yumuşak Toprak	$V_S \leq 180$	$N < 50$	< 33	$S_U < 50$
S_F – Aşırı plastik kil, yumuşak kil gibi özel değerlendirme gereken zeminler				

Çizelge 3.12. C_A için zemin sınıfına bağlı çarpan

Zemin sınıfı	Deprem Katsayısı $Z^*E^*N_{A,V}$					
	=0.075	=0.15	=0.20	=0.30	=0.40	>0.40
S_A	0.08	0.15	0.20	0.30	0.40	$1.0 * Z^*E^*N_{A,V}$
S_B	0.08	0.15	0.20	0.30	0.40	$1.0 * Z^*E^*N_{A,V}$
S_C	0.09	0.18	0.24	0.33	0.40	$1.0 * Z^*E^*N_{A,V}$
S_D	0.12	0.22	0.28	0.36	0.44	$1.1 * Z^*E^*N_{A,V}$
S_E	0.19	0.30	0.34	0.36	0.36	$0.9 * Z^*E^*N_{A,V}$
S_F	--Yerel zemin incelemesi gerekir--					

Çizelge 3.13. C_V için zemin sınıfına bağlı çarpan

Zemin sınıfı	Deprem Katsayısı $Z^*E^*N_{A,V}$					
	=0.075	=0.15	=0.20	=0.30	=0.40	>0.40
S_A	0.08	0.15	0.20	0.30	0.40	$1.0 * Z^*E^*N_{A,V}$
S_B	0.08	0.15	0.20	0.30	0.40	$1.0 * Z^*E^*N_{A,V}$
S_C	0.13	0.25	0.32	0.45	0.56	$1.4 * Z^*E^*N_{A,V}$
S_D	0.18	0.32	0.40	0.54	0.64	$1.6 * Z^*E^*N_{A,V}$
S_E	0.26	0.50	0.64	0.84	0.96	$2.4 * Z^*E^*N_{A,V}$
S_F	--Yerel zemin incelemesi gerekir--					

$$C_{A,V} = Z^*E^*N_{A,V} * \text{Güvenlik Çarpanı} \quad (3.42)$$

Bulunan bu C_A ve C_V katsayıları ile ele alınan bölgedeki bir yapıya gelebilecek deprem etkisini temsil eden ve Spektral İvme Katsayısı – Periyot diyagramında gösterilen bir standart talep eğrisi oluşturulur (ATC-40, 1996), (Şekil 3.18.).

Standart talep eğrisi üç ayrı kısımdan oluşmaktadır.

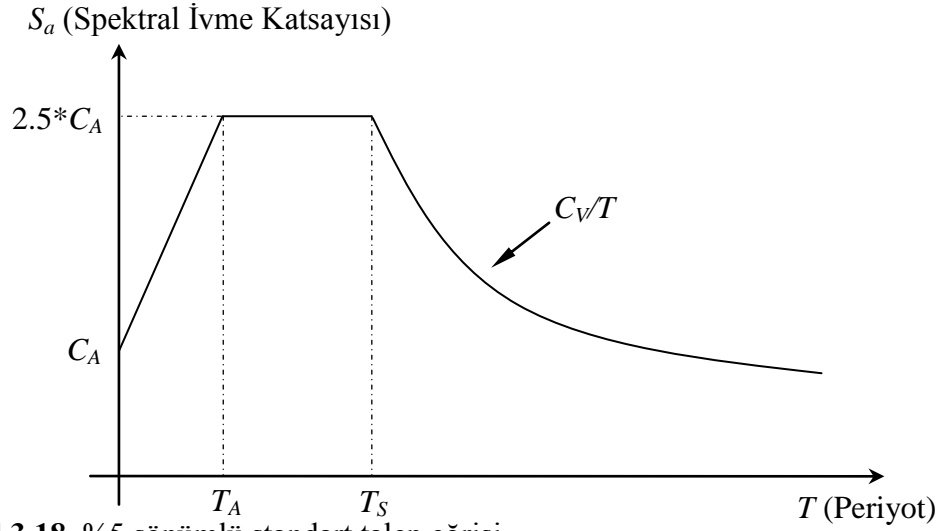
- $0 \leq T \leq T_A$ arasında C_A ' dan $2.5 C_A$ ' ya kadar doğrusal artan kısım,
- $T_A \leq T \leq T_S$ arasında $2.5 C_A$ ' da sabit değerde kalan kısım,
- $T_S \leq T$ değerleri için C_V/T denkleminde uyararak azalan parabolik kısım.

Standart talep eğrisindeki bu kısımlar tipik bir deprem etkisinin idealleştirilmiş hali olduğu söylenebilir. Doğrusal artan kısım deprem hareketlerinin başlangıcına, sabit kısım en yüksek genlikli deprem hareketinin ortalama değerine, parabolik olarak azalan kısım ise deprem etkisinin kaybolmaya başladığı duruma karşı gelmektedir.

$$T_S = \frac{C_V}{2.5 * C_A} \quad (3.43)$$

$$T_A = 0.2 * T_S \quad (3.44)$$

C_A katsayısı zeminin etkili maksimum ivme katsayısını temsil ederken $2.5 * C_A$, %5 lik sönüme sahip kısa periyotlu bir sistemin maksimum ortalama ivmesine karşı gelmektedir. C_V katsayısı periyodu 1 saniye olan %5 sönümlü sistemin spektrum değerini vermektedir. Standart talep spektrumu betonarme malzemenin deprem esnasında göstereceği viskoz sönümü temsil etmektedir.



Şekil 3.18. %5 sönümlü standart talep eğrisi

3.8.3. Standart Talep Spektrumunun ADRS Formatına Dönüştürülmesi

Standart talep spektrum eğrisi tek serbestlik dereceli bir sistemin periyodu ile sistemde meydana geldiği kabul edilen spektral ivme katsayısı değerinden oluşmaktadır. Standart talep spektrumunun spektral formata dönüştürülmesi işlemi, söz konusu eğrideki her bir T periyot değerinin spektral deplasmana çevrilmesi ile yapılmaktadır. Periyot değeri Denklem 3.45’de verildiği gibidir.

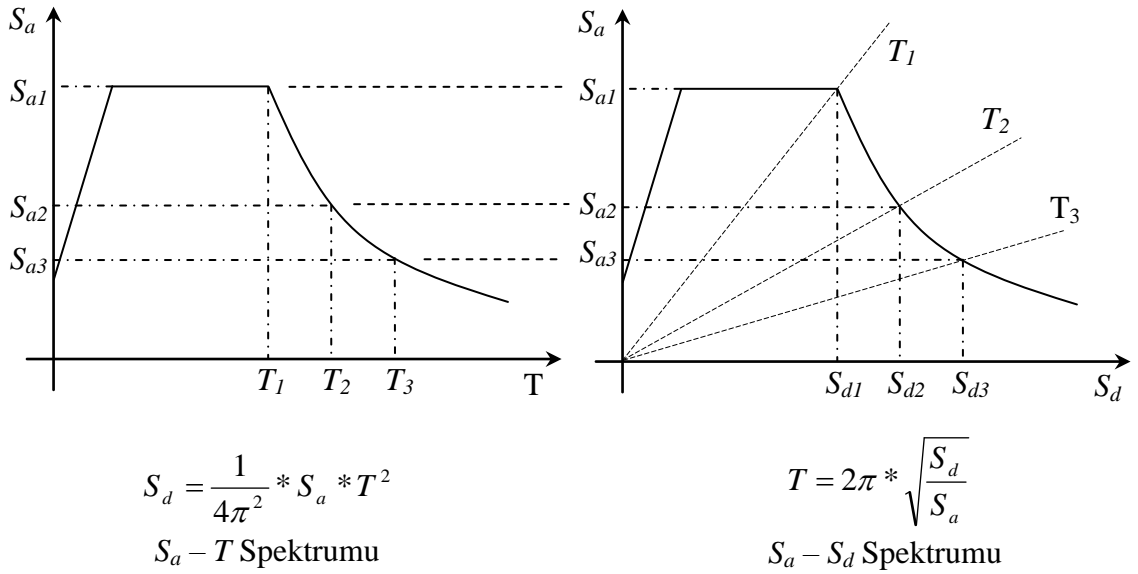
$$T = \frac{2\pi}{\omega} \quad (3.45)$$

Burada ω dairesel frekansı ifade etmektedir. Buna göre spektral hız (S_v) ve spektral deplasman (S_d) formülleri Denklem 3.46 ve Denklem 3.47’deki gibi yazılabilir.

$$S_v = S_a * g * \frac{1}{\omega} = S_a * g * \frac{T}{2\pi} \quad (3.46)$$

$$S_d = S_v * \frac{1}{\omega} = S_a * g * \left(\frac{T}{2\pi}\right)^2 \quad (3.47)$$

Spektral deplasman ile periyot arasında bulunan bu bağıntı ile elastik kapasite spektrumundaki periyot değerleri spektral deplasmana dönüştürülebilir (Şekil 3.19.).



Şekil 3.19. Standart talep spektrumunun ADRS formatına dönüştürülmesi (Celep, Kumbasar, 2004)

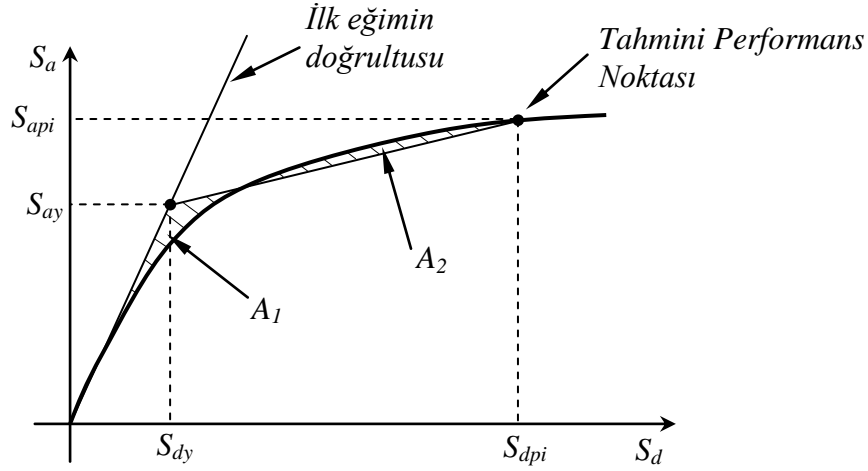
Kapasite eğrisi ve standart talep spektrumunun ADRS formatına dönüştürülmesi ile söz konusu eğrilerin Spektral İvme Katsayısı – Spektral Deplasman grafiğinde beraber gösterilebilmesi mümkün hale gelir. Bu aşamadan sonra performans noktasının bulunabilmesi için eğrilerde bazı düzenlemeler yapılmaktadır. İterasyonların başlangıç noktasını belirlemek için kapasite spektrum eğrisi iki doğru parçası ile kırıklı hale getirilir. Ayrıca binada oluşan viskoz ve histeriktik çevrimsel sönümler hesaplanır ve bu sönümlerden yararlanarak talep spektrumu eğrisinde indirgeme yapılır.

3.9. Kapasite Spektrumu Eğrisinin İki Doğru Parçası ile İdealleştirilmesi

Kapasite spektrumu eğrisinin iki doğru parçası ile temsil edilmesi, binanın etkin sönüm değerinin belirlenmesi ve talep spektrumunun bu sönüm değerine uygun bir şekilde indirgenmesi işlemi için gerekli bir adımdır.

Yapının sönümünün bulunabilmesi için öncelikle tahmini bir performans noktasına ihtiyaç vardır. S_{api} ve S_{dpi} koordinatlarında bulunan bu tahmini noktaya başlangıç performansı da denmektedir (Şekil 3.20.). Başlangıç performans noktasının bulunabilmesi için öncelikle kapasite ve %5 sönümlü talep spektrumları spektral ivme katsayısı – spektral deplasman grafiğinde üst üste çizilir. Kapasite spektrumunun ilk

eğimi doğrultusunda oluşturulan bir çizgi talep spektrumuna kadar uzatılır ve kesiştirilir. Bu kesişim noktası, eğer yapı ideal elastik davranış gösterseydi ortaya çıkacak olan performans noktasını gösteriyor olacaktı. Ancak göz önüne alınan sünek yapı doğrusal elastik yer değiştirmeler yapmamaktadır . Ancak bu nokta yapının genel

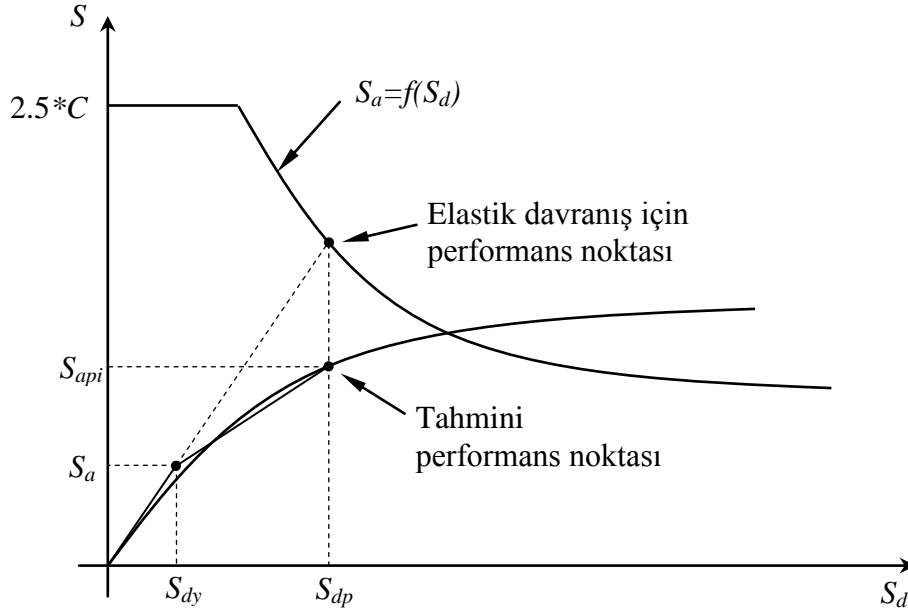


Şekil 3.20. Kapasite spektrumu eğrisinin iki doğru parçasıyla idealleştirilmesi dayanımını deplasman cinsinden kısmen de olsa temsil edebildiği için asıl performans noktasının tahmininde bir başlangıç değeri olarak kabul edilebilmektedir. Tahmini performans noktasının spektral deplasman değerinin kapasite spektrumu eğrisindeki izdüşümü alınarak tahmini performans noktası $(S_{dpi}, S_{apı})$ belirlenmiş olur (ATC-40, 1996).

Kapasite spektrumunun ideal hale getirilmesinde kullanılacak ilk doğru parçası, tahmini performans noktasının bulunmasında yararlanılan kapasite spektrumu eğrisinin ilk eğimi doğrultusunda bulunmalıdır. İkinci doğru parçası ise ilk doğru parçasının (S_{dy}, S_{ay}) noktası ile tahmini performans noktası arasında teşkil edilir. İkinci doğru parçası oluşturulurken kapasite spektrumunun üstünde kalan A_1 alanı ile altında kalan A_2 alanının eşit olmasına dikkat edilmelidir. Böylece gerçek kapasite eğrisi ile idealleştirilmiş halinin aynı miktarda enerji sönümlemesi sağlanır (Şekil 3.21.). Ayrıca (S_{dy}, S_{ay}) noktasının, yapıdaki doğrusal olmayan davranışın başlangıcı kabul edilebilir.

3.10. Etkin Sönümün Belirlenmesi

Deprem yönetmeliklerinde verilen talep spektrumu eğrileri betonarme malzemenin özelliklerinden dolayı %5 lik bir viskoz sönüm değeri göz önüne alınarak elde edilmektedir.



Şekil 3.21. Tahmini performans noktasının bulunması

Ancak yatay deprem yüklemeleri altındaki bir yapıda doğrusal olmayan deplasmanlar ortaya çıkması ve kolon – kiriş birleşim bölgelerinde plastik mafsallar oluşması ile bu bölgelerde elemanların moment taşıma kapasitesinin üzerindeki momentler, doğrusal olmayan dönmelerle sönümlemeye başlar. Meydana gelen bu ek sönüm değerleri çevrimsel sönüm olarak tanımlanır. Sönümün artmasıyla yapının hareketi esnasında yaptığı iş ve tükettiği enerji artarken deprem talebinin yapıya etkisi azalır. Bu nedenle yapıya gelen deprem etkisini belirten talep spektrumunun yapıdaki sönümlere bağlı olarak indirgenmesi gerekir (Özer, 2006).

Mevcut talep spektrumu betonarme malzemenin viskoz özelliklerinden dolayı %5 sönümlenmiş durumdadır. Ancak çevrimsel sönüm, viskoz sönümden bağımsız olarak ele alınamadığı için indirgenme işleminde tekrar hesaba katılmaktadır.

Yapıda tüketilen deprem enerjisinin viskoz ve çevrimsel sönümlenmelerin toplamına eşit olduğu varsayılmaktadır. Talep spektrumunun indirgenmesinde ise viskoz ve çevrimsel sönümlerin toplamının kritik sönüme oranı olarak tanımlanan etkin

sönüm oranı esas alınmaktadır. Betonarme yapılar için kabul edilen viskoz sönüm oranı %5 iken çevrimsel sönüm kapasite spektrumunun içinde kalan histeriktik alan ile ilgilidir ve viskoz sönüm cinsinden ifade edilebilir. Çevrimsel sönüm β_0 olarak gösterilirse toplam sönüm (β_{eff}),

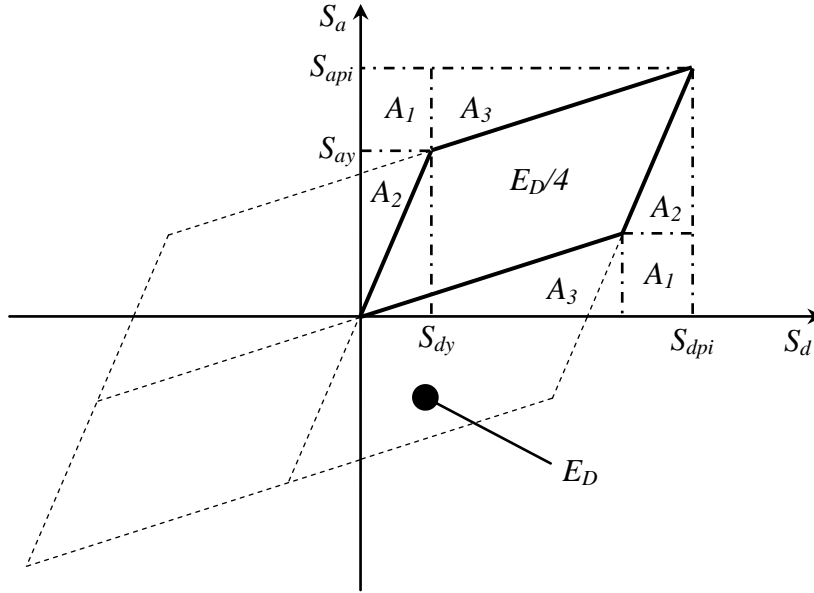
$$\beta_{eff} = \beta_0 + 0.05 \quad (3.48)$$

şeklinde olmaktadır. Çevrimsel sönüm formülü ise (Chopra, 1995),

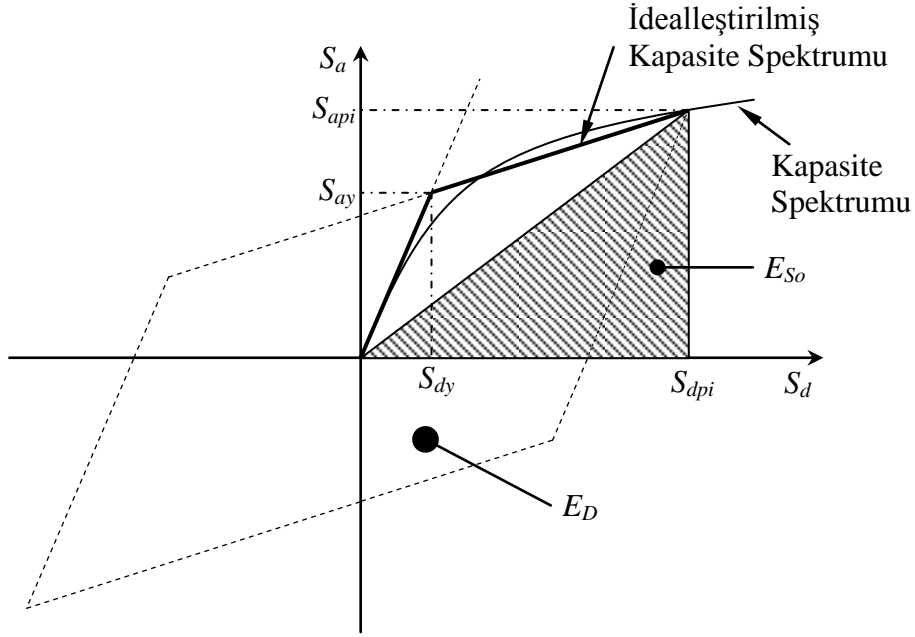
$$\beta_0 = \frac{1}{4\pi} * \frac{E_D}{E_{So}} \quad (3.49)$$

Burada E_D bir çevrimde sönümle tüketilen enerji olup, çevrim içinde kalan alana eşittir. E_{So} ise aynı yük seviyesi altındaki en büyük şekil değiştirme enerjisine karşılık gelmektedir (Şekil 3.22.). Çevrimsel sönümün bulunabilmesi için Şekil 3.30.'daki E_D ve E_{So} alanlarının belirlenmesi gerekmektedir (Şekil 3.23.).

Şekil 3.31.'den de açıkça görülebileceği gibi bir çevrimde tüketilen enerji miktarı (E_D) idealleştirilmiş kapasite spektrumu eğrisinin altında kalan paralel kenarın alanının 4 katına eşittir. Denklem 3.50'de büyük paralelkenarın alanı (E_D) hesaplanmıştır.



Şekil 3.22. Spektral indirgeme için sönümlenmenin türetilmesi



Şekil 3.23. Bir çevrimde tüketilen enerji miktarının bulunması

$E_D = 4 * (\text{Şekil 3.31.'deki küçük paralelkenarın alanı})$

$$= 4 * (S_{api} * S_{dpi} - 2A_1 - 2A_2 - 2A_3)$$

$$= 4 * (S_{api} * S_{dpi} - 2 * S_{dy} * (S_{api} - S_{ay}) - 2 * ((S_{ay} * S_{dy})/2))$$

$$- 2 * (((S_{api} - S_{ay}) * (S_{api} - S_{ay}))/2))$$

$$E_D = 4 * (S_{ay} * S_{dpi} - S_{dy} * S_{api})$$

(3.50)

E_D ile aynı yük seviyesi altındaki en büyük şekil değiştirme enerjisi olan E_{So} ise Şekil 3.22.'da gösterilen üçgenin alanına eşittir.

$$E_{So} = S_{api} * S_{dpi} / 2$$

(3.51)

Yapıdaki toplam sönüm bu değerlere göre tekrar yazılırsa,

$$\beta_{eff} = \beta_0 + 0,05 = \frac{1}{4\pi} * \frac{E_D}{E_{So}} + 0,05$$

(3.52)

$$= \frac{1}{4\pi} * \frac{4 * (S_{ay} * S_{dpi} - S_{dy} * S_{api})}{\frac{S_{api} * S_{dpi}}{2}} + 0,05$$

$$= \frac{2}{\pi} * \frac{S_{ay} * S_{dpi} - S_{dy} * S_{api}}{S_{api} * S_{dpi}} + 0,05$$

$$\beta_{eff} = \frac{0.637 * (S_{ay} * S_{dpi} - S_{dy} * S_{api})}{S_{api} * S_{dpi}} + 0.05 \quad (3.53)$$

Sönüm ifadesi eğer yüzde olarak gösterilecekse,

$$\% \beta_{eff} = \frac{63.7 * (S_{ay} * S_{dpi} - S_{dy} * S_{api})}{S_{api} * S_{dpi}} + 5 \quad (3.54)$$

şeklini almaktadır.

Çevrimsel sönümün bulunmasında kullanılan paralelkenar, idealize edilmiş kapasite spektrumu eğrisinden elde edilmektedir. Ancak bu idealleştirme yapının gerçek davranışı yansıtma konusunda yetersizdir. Bu kusuru giderebilmek için çevrimsel sönümün bir κ düzeltme katsayısı ile çarpılması öngörülmüştür. κ düzeltme katsayısı histeriktik çevrimin tam olarak oluşmadığı ve dayanımın düşük olduğu yapılarda küçük değerlere sahip olmaktadır. Dayanım arttıkça κ katsayısının değeri artar. Ayrıca deprem süresinin uzun olması yapıdaki plastik mafsalların seviyelerini ve enerji tüketimini arttıracığı için κ değerini de büyütülmektedir. ATC-40 (1996) yönetmeliğinde yapı davranışına göre değişiklik gösteren κ düzeltme katsayılarının belirlenebilmesi amacıyla Çizelge 3.14. ve Çizelge 3.15. önerilmiştir.

Çizelge 3.14. Yapı davranış türünün belirlenmesi

Deprem Süresi	Genel Olarak Yeni Bina	Ortalama Mevcut Bina	Zayıf Mevcut Bina
Kısa Süreli	Tip A	Tip B	Tip C
Uzun Süreli	Tip B	Tip C	Tip C

Çizelge 3.15. Sönüm düzeltme katsayısı

Yapı Davranış Türü	Tip A	Tip B	Tip C
κ Düzeltme Katsayısı	1.00	0.67	0.33

κ sönüm düzeltme katsayısının da belirlenmesi ile yapıdaki sönüm yüzdesinin son hali Denklem 3.55'deki gibi bulunmuş olur.

$$\% \beta_{eff} = \frac{63.7 * \kappa * (S_{ay} * S_{dpi} - S_{dy} * S_{api})}{S_{api} * S_{dpi}} + 5 \quad (3.55)$$

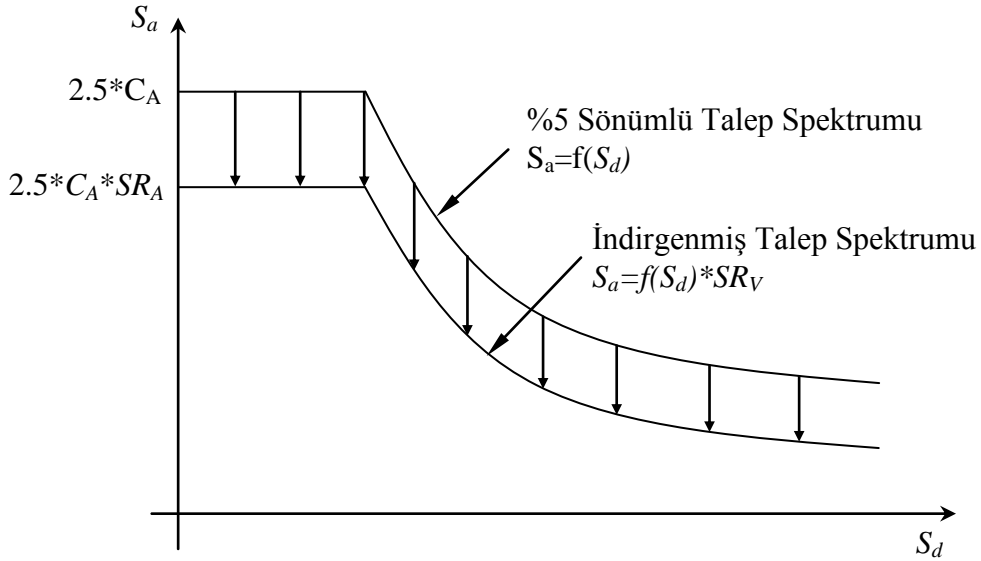
3.11. Talep Spektrumunun İndirgenmesi

Yapıdaki toplam sönümün bulunmasından sonra talep spektrumunda indirgeme yapılır. İndirgeme işlemi talep spektrumunun toplam sönüm oranına bağlı olarak bulunan SR_A ve SR_V katsayıları ile azaltılması olarak açıklanabilir. Böylece yapıdaki doğrusal olmayan davranış göz önüne alınmış olur (ATC-40). SR_A talep spektrumunun yatay kısmı için esas alınan sönüm katsayısı iken SR_V eğri kısım için esas alınmaktadır (Şekil 3.24.). Bu katsayılar, B_{eff} toplam sönüm oranı yüzde cinsinden yazılırsa,

$$SR_A = \frac{1}{2.12} * (3.21 - 0.68 * \ln(100 * \beta_{eff})) \quad (3.56)$$

$$SR_V = \frac{1}{1.65} * (2.31 - 0.41 * \ln(100 * \beta_{eff})) \quad (3.57)$$

denklemleri ile ifade edilebilirler. Buna göre yapı davranış türü Çizelge 3.8. göz önüne alınarak elde edilecek olan SR_A ve SR_V katsayıları Çizelge 3.16.'da verilmiştir (ATC-40).



Şekil 3.24. ADRS formatındaki talep spektrumunun indirgenmesi

Çizelge 3.16. Spektral indirgeme katsayıları

β_0	Yapı Davranış Türü A			Yapı Davranış Türü B			Yapı Davranış Türü C		
	β_{eff}	SR_A	SR_V	β_{eff}	SR_A	SR_V	β_{eff}	SR_A	SR_V
0.00	0.05	1.00	1.00	0.05	1.00	1.00	0.05	1.00	1.00
0.05	0.10	0.78	0.83	0.08	0.83	0.87	0.07	0.91	0.93
0.15	0.20	0.55	0.66	0.15	0.64	0.73	0.10	0.78	0.83
0.25	0.28	0.44	0.57	0.22	0.53	0.63	0.13	0.69	0.76
0.35	0.35	0.38	0.52	0.26	0.47	0.59	0.17	0.61	0.70
≥ 0.45	0.40	0.33	0.50	0.29	0.44	0.56	0.20	0.56	0.67

Denklem 3.50 ve 3.51 ile belirlenen SR_A ve SR_V değerlerinin Çizelge 3.17.'de verilen değerlerden daha az olmamaları gerekir.

Çizelge 3.17. Spektral indirgeme katsayıları minimum değerleri

	Yapı Davranış Türü		
	A	B	C
SR_A	0.33	0.44	0.56
SR_V	0.50	0.56	0.67

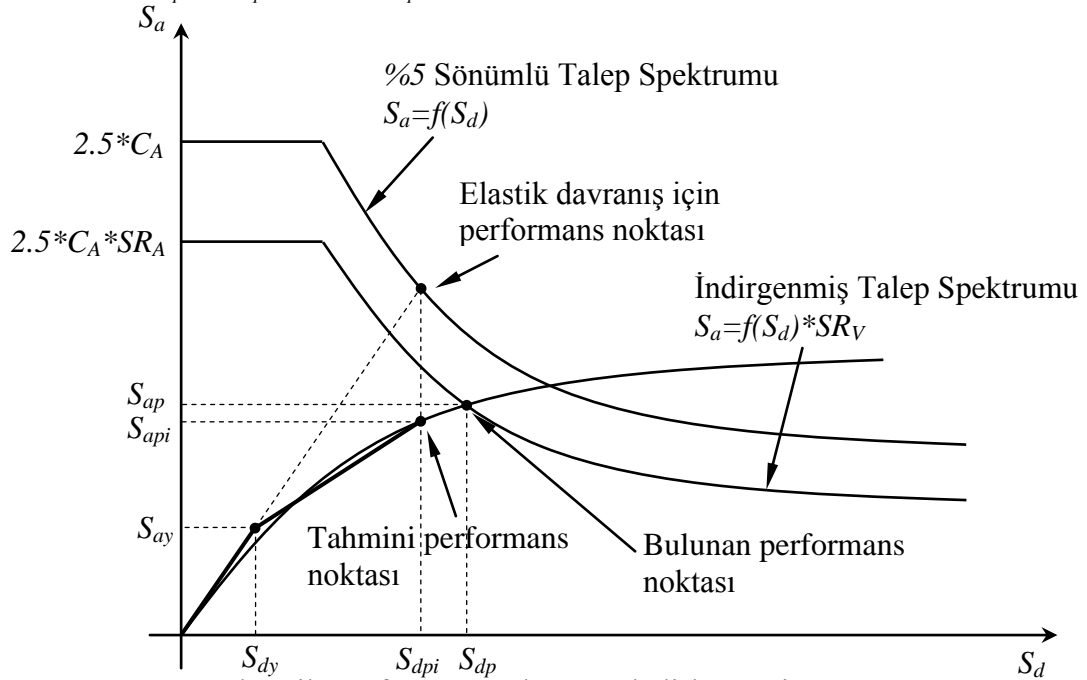
3.12. Performans Noktasının Bulunması (ATC-40, A Prosedürü)

Performans noktası yapının deprem etkilerine karşı vereceği tepkiyi temsil eder ve Spektral İvme Katsayısı - Spektral Deplasman diyagramında üst üste çizilen kapasite spektrumu ile indirgenmiş talep spektrumu eğrilerinin kesiştiği nokta olarak tanımlanır (ATC-40, 1996; FEMA-356, 2000). Talep spektrumunun indirgenmesi, kapasite spektrumunun lineer davranıştan ilk ayrıldığı noktanın yanında tahmini performans noktasına da bağlıdır. Yapının asıl performans noktası ise bu noktaların esas alınmasıyla yapılacak ardışık hesaplamalarla bulunur.

Öncelikle yapının projelendirildiği bölgenin zeminine ve depremselliğine göre oluşturulmuş %5 sönümlü standart talep spektrumu ADRS formatına çevrilir. Yapının

artımlı yatay kuvvetlere karşı direncini temsil eden ve Statik İtme analizi ile meydana getirilen kapasite eğrisi ADRS formatına dönüştürülüp talep spektrumu ile beraber Spektral İvme Katsayısı – Spektral Deplasman diyagramında üst üste çizilir. Kapasite spektrumunun talep eğrisi altında kalan kısmı iki doğru parçası ile idealleştirilir. Bunun için kapasite spektrumunun ilk eğimi doğrultusunun talep eğrisini kestiği nokta bulunur. Bu nokta yapının doğrusal davranışta sahip olacağı performans noktasını gösterir. Eşit yer değiştirmelerin oluşacağı kabulü sonucu, bulunan bu performans noktası ile aynı spektral deplasman değerine sahip olan kapasite spektrum eğrisi üzerindeki nokta tahmini performans noktası (S_{dpi} , S_{api}) olarak kabul edilebilir. Kapasite spektrum eğrisi, tahmini performans noktası ile ilk eğimin doğrultusunda teşkil edilen doğru parçası arasının, önceki hali ile eşdeğerde enerjiyi tüketebilecek şekilde bir doğru parçası ile birleştirilmesi sonucu idealleştirilmiş olur. Talep spektrumu, idealleştirme sonucu ortaya çıkan bu iki noktaya bağlı olarak bulunan SR_A ve SR_V katsayıları ile indirgenir. Kapasite spektrum eğrisi ve indirgenmiş talep spektrumu eğrisinin kesişim noktası (S_{dp} , S_{ap}) belirlenir. Belirlenen bu nokta ile sönümün bulunmasında kullanılan tahmini performans noktası arasındaki mesafe kabul edilebilir bir değerde olmalıdır. Bu değer genelde tahmini performans noktasının $\pm\%5$ 'i kadar alınır. Yani yapının performans noktasının spektral deplasman değeri,

$$0.95 * S_{dpi} \leq S_{dp} \leq 1.05 * S_{dpi} \quad (3.58)$$



Şekil 3.25. A prosedürü ile performans noktasının belirlenmesi

şartını sağlamalıdır. Söz konusu şartı sağlayan nokta, yapının performans noktası olarak kabul edilir (Şekil 3.25.). Eğer bu şartı sağlamıyorsa bulunan nokta yeni tahmini performans noktası olarak alınır ve sönüm hesaplanarak indirgeme ve kesişim adımları tekrarlanır. Çıkacak nokta $\pm 5\% S_{dpi}$ şartını sağlayıncaya kadar iterasyonlara devam edilir (ATC-40, 1996).

3.13. Performans Noktasının Kabul Kriterleri

Performans noktasının belirlenmesi ile yapının önceden belirlenmiş bir deprem etkisi altında göstereceği davranış bulunabilmektedir. Performans noktasının spektral ivme ve spektral deplasman değeri Denklem 3.39 ve Denklem 3.40 ile dönüştürülerek taban kesme kuvveti ve tepe deplasmanı cinsinden yazılabilir. Bu değerler yönetmeliklerde yapının yapılış amacına bağlı olarak öngörülen sınır değerleri ile karşılaştırılarak istenen performans seviyesinin sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilir. Yapının öngörülen sınır değerlerden daha büyük bir hasar seviyesine ulaşması veya daha büyük yatay kuvvetlere maruz kalması halinde performans seviyesinin değiştirilmesi veya taşıyıcı elemanların rijitlik ve dayanımlarının artırılması yoluna gidilir. ATC-40'ta yapıda izin verilen hasarlarla ilgili sınırlamalar, bina ve eleman kabul kriterleri olmak üzere iki ana başlıkta toplanmıştır (Celep, Kumbasar, 2004).

3.13.1. Bina için Kabul Kriterleri

Bu başlıktaki sınırlamalar binanın genel dayanımını, katlar arası görelî ötelemelerini, yatay ve düşey yük kapasitelerini kapsamaktadır. Binada artan yatay yüklemelerden ve plastik mafsallardan dolayı meydana gelen yatay yük kapasitesi kaybının, toplam yatay yük kapasitesinin %20'sini geçmemesi gerekir. Bu şekilde deprem etkisiyle oluşan yükleme çevrimlerinin yapının genel dayanımını azaltması sınırlandırılır. Katlar arası görelî ötelemelerde ise iki kat arasındaki deplasmanın kat yüksekliğine oranının Çizelge 3.18.'de verilen değerleri aşmaması istenir (ATC-40, 1996). Bu da hasar sınırlaması ile beraber ikinci mertebe etkilerinin de sınırlandırılması anlamına gelmektedir.

Çizelge 3.18. Hasar seviyelerine göre görelî yer değiştirmelerin sınırlandırılması

Katlar Arası Yer Değiştirme / Kat Yüksekliği Sınırı	Performans Seviyesi			
	Hemen Kullanım	Hasar Kontrol	Can Güvenliği	Yapısal Stabilite
En büyük toplam oranı	0.010	0.010 - 0.020	0.020	$0.33 \cdot V_i / P_i$
En büyük elastik ötesi deplasman oranı	0.005	0.005 – 0.015	Sınır Yok	Sınır Yok

Çizelge 3.18.'deki Yapısal Stabilite durumunda V_i i. kata gelen kesme kuvveti ve P_i i. kata gelen toplam düşey yüklemelerdir. DBYBHY-2007 Bölüm 7.5.3.'de performans seviyeleri için öngörülen değerler Çizelge 3.19.'da verilmiştir.

Çizelge 3.19. Görelî kat ötelemeleri sınırlandırılması

Görelî Kat Ötelemesi Oranı	Performans Düzeyi		
	Hemen Kullanım	Can Güvenliği	Göçme Öncesi
$(\delta_i)_{max} / h_i$	0.01	0.03	0.04

Çizelge 3.19.'daki $(\delta_i)_{max}$ ifadesi i. kattaki en büyük kat ötelenmesi miktarını, h_i ise i. katın yüksekliğini belirtir.

3.13.2. Elemanlar için Kabul Kriterleri

Döşeme, kiriş, kolon, perde ve temeller gibi yapısal elemanlar için öngörülen sınırlandırmalardır. Yapıyı meydana getiren elemanlar taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanlar olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Taşıyıcı elemanlar da kendi aralarında birincil ve ikincil elemanlar olmak üzere ayrıca ikiye ayrılır. Binanın performans noktasına ulaştığı hasar durumu için her bir elemanın gerilmeleri ve şekil değiştirmeleri bulunur ve yönetmeliklerde belirtilen sınır durumları ile karşılaştırılır. Bütün elemanların Elemanlar için kabul kriterleri eleman türünün yanı sıra elemanda güç tükenmesine neden olan kritik etkilerin türüne de bağlıdır. Bu etkiler kolon – kiriş bölgesinde kesme kuvveti nedeniyle oluşacak kayma açıları veya plastik mafsallarda meydana gelecek aşırı dönmeler gibi etkilerdir.

Bu sınırlandırmalar incelendiğinde, yapının ana taşıyıcı elemanlarında diğer elemanlara göre daha küçük plastik mafsalsal dönmelerine izin verildiği ve sünekliğin büyük olduğu etriyeli kesitlerde daha büyük dönmelere müsaade edildiği görülmektedir. Bu dönmelerin sınırları, performans noktasının hemen kullanım seviyesi gibi daha kısıtlı bir hasara izin verilebilen durumda daha küçük olmaktadır. Kesme kuvvetinin kritik olduğu ve sünek olmayan güç tükenmesi görülebilecek kirişlerde sınır dönme açıları küçük tutulmuştur. Etriye sıklaştırması teşkil edilen kesitlerde ise sınır dönmeler daha büyük değerlerde alınabilir (ATC-40, 1996).

Yapısal elemanlar için ATC-40 yönetmeliğinde betonarme kiriş, kolon, perde ve kolon-kiriş birleşim noktası için izin verilen sınır plastik mafsalsal dönmeleri sırasıyla Çizelge 3.20., Çizelge 3.21., Çizelge 3.22. ve Çizelge 3.23.'de verilmiştir. Çizelge 3.14.'de ρ çekme donatısı oranını, ρ' basınç donatısı oranını, ρ_b dengeli donatı oranını, V tasarım kesme kuvvetini, b_w kiriş gövde genişliğini, d faydalı yüksekliği, f_{ck} beton karakteristik basınç dayanımını, IO hemen kullanım performans seviyesini (Immediate Occupancy), LS can güvenliği performans seviyesini (Life Safety), CP göçme öncesini (Collapse Prevention) temsil etmektedir. Çizelge 3.15.'teki P kesme kuvvetini, A_c kolon kesit alanını temsil etmektedir. Çizelge 3.16.'da A_s çekme gerilmesi etkisindeki kesit alanını, A_s' basınç etkisindeki kesit alanını, P tasarım eksenel kuvvetini, t_w perde kalınlığını, l_w perde uzunluğunu temsil etmektedir. Çizelge 3.23.'te V kolon-kiriş birleşim noktasındaki tasarım kesme kuvvetini V_n kolon-kiriş birleşim noktasındaki mevcut kesme kuvvetini temsil etmektedir.

DBYBHY-2007'ye göre kesitlerde öngörülen en büyük şekil değiştirme değerleri Bölüm 3.4.'de Denklem 3.11, Denklem 3.12 ve Denklem 3.13'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.20. Betonarme kirişler için izin verilen plastik mafsal dönmeleri

Eğilme Etkisindeki Kirişler			Modelleme Parametreleri			Kabul Kriterleri				
$\frac{\rho - \rho'}{\rho_b}$	Sargı Donatısı Durumu	$\frac{V}{b_w * d * \sqrt{f_{ck}}}$	Plastik Dönme Açılı (Radyan)		Artık Güç Oranı	Plastik Dönme Açılı (Radyan)				
			Min	Max		Birincil Eleman Tipi		İkincil Eleman Tipi		
						Performans Seviyesi				
						IO	LS	CP	LS	CP
≤ 0.0	Uygun	≤ 3	0.025	0.050	0.2	0.005	0.020	0.025	0.020	0.050
≤ 0.0	Uygun	≥ 6	0.020	0.040	0.2	0.005	0.010	0.020	0.020	0.040
≥ 0.5	Uygun	≤ 3	0.020	0.040	0.2	0.005	0.010	0.020	0.020	0.030
≥ 0.5	Uygun	≥ 6	0.015	0.020	0.2	0.005	0.005	0.015	0.015	0.020
≤ 0.0	U. Değil	≤ 3	0.020	0.030	0.2	0.005	0.010	0.020	0.020	0.030
≤ 0.0	U. Değil	≥ 6	0.010	0.015	0.2	0.000	0.005	0.010	0.010	0.015
≥ 0.5	U. Değil	≤ 3	0.010	0.015	0.2	0.005	0.010	0.010	0.010	0.015
≥ 0.5	U. Değil	≥ 6	0.005	0.010	0.2	0.000	0.005	0.005	0.005	0.010

Çizelge 3.21. Betonarme kolonlar için izin verilen plastik mafsal dönmeleri

Eğilme Etkisindeki Kolonlar			Modelleme Parametreleri			Kabul Kriterleri				
$\frac{P}{A_c * f_{ck}}$	Sargı Donatısı Durumu	$\frac{V}{b_w * d * \sqrt{f_{ck}}}$	Plastik Dönme Açılı (Radyan)		Artık Güç Oranı	Plastik Dönme Açılı (Radyan)				
			Min	Max		Birincil Eleman Tipi		İkincil Eleman Tipi		
						Performans Seviyesi				
						IO	LS	CP	LS	CP
≤ 0.1	Uygun	≤ 3	0.020	0.030	0.2	0.005	0.010	0.020	0.015	0.030
≤ 0.1	Uygun	≥ 6	0.015	0.025	0.2	0.005	0.010	0.015	0.010	0.025
≥ 0.4	Uygun	≤ 3	0.015	0.025	0.2	0.000	0.005	0.015	0.010	0.025
≥ 0.4	Uygun	≥ 6	0.010	0.015	0.2	0.000	0.005	0.010	0.010	0.015
≤ 0.1	U. Değil	≤ 3	0.010	0.015	0.2	0.005	0.005	0.010	0.005	0.015
≤ 0.1	U. Değil	≥ 6	0.005	0.005	0.0	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
≥ 0.4	U. Değil	≤ 3	0.005	0.005	0.0	0.000	0.000	0.005	0.000	0.005
≥ 0.4	U. Değil	≥ 6	0.000	0.000	0.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Çizelge 3.22. Betonarme perdeler için izin verilen plastik mafsal dönmeleri

Eğilme Etkisindeki Perdeler			Modelleme Parametreleri			Kabul Kriterleri				
$\frac{(A_s - A'_s) * f_y + P}{t_w * l_w * f_{ck}}$	$\frac{V}{t_w * l_w * \sqrt{f_{ck}}}$	Perde Uç Donatısı	Plastik Dönme Açılı (Radyan)		Artık Güç Oranı	Plastik Dönme Açılı (Radyan)				
			Min	Max		Birincil Eleman Tipi		İkincil Eleman Tipi		
						Performans Seviyesi				
						IO	LS	CP	LS	CP
≤ 0.1	≤ 3	Evet	0.015	0.020	0.75	0.005	0.010	0.015	0.015	0.020
≤ 0.1	≥ 6	Evet	0.010	0.015	0.40	0.004	0.008	0.010	0.010	0.015
≥ 0.25	≤ 3	Evet	0.009	0.012	0.60	0.003	0.006	0.009	0.009	0.012
≥ 0.25	≥ 6	Evet	0.005	0.010	0.30	0.001	0.003	0.005	0.005	0.010
≤ 0.1	≤ 3	Hayır	0.008	0.015	0.60	0.002	0.004	0.008	0.008	0.015
≤ 0.1	≥ 6	Hayır	0.006	0.010	0.30	0.002	0.004	0.006	0.006	0.010
≥ 0.25	≤ 3	Hayır	0.003	0.005	0.25	0.001	0.002	0.003	0.003	0.005
≥ 0.25	≥ 6	Hayır	0.002	0.004	0.20	0.001	0.001	0.002	0.002	0.004

Çizelge 3.23. Kolon-kiriş birleşim noktaları için izin verilen plastik mafsal dönmeleri

Kolon-Kiriş Birleşim Noktaları			Modelleme Parametreleri		Kabul Kriterleri					
			Plastik Dönme Açılı (Radyan)		Artık Güç Oranı	Plastik Dönme Açılı (Radyan)				
$\frac{P}{A_c * f_{ck}}$	Sargı Donatısı Durumu	$\frac{V}{V_n}$	Min	Max			Birincil Eleman Tipi			İkincil Eleman Tipi
					Performans Seviyesi					
						IO	LS	CP	LS	CP
İç Noktalar										
≤ 0.1	Uygun	≤ 1.2	0.015	0.030	0.2	0.000	0.000	0.000	0.020	0.030
≤ 0.1	Uygun	≥ 1.5	0.015	0.030	0.2	0.000	0.000	0.000	0.015	0.020
≥ 0.4	Uygun	≤ 1.2	0.015	0.025	0.2	0.000	0.000	0.000	0.015	0.025
≥ 0.4	Uygun	≥ 1.5	0.015	0.020	0.2	0.000	0.000	0.000	0.015	0.020
≤ 0.1	U. Değil	≤ 1.2	0.005	0.020	0.2	0.000	0.000	0.000	0.015	0.020
≤ 0.1	U. Değil	≥ 1.5	0.005	0.015	0.2	0.000	0.000	0.000	0.010	0.015
≥ 0.4	U. Değil	≤ 1.2	0.005	0.015	0.2	0.000	0.000	0.000	0.010	0.015
≥ 0.4	U. Değil	≥ 1.5	0.005	0.015	0.2	0.000	0.000	0.000	0.010	0.015
Diğer Noktalar										
≤ 0.1	Uygun	≤ 1.2	0.010	0.020	0.2	0.000	0.000	0.000	0.015	0.020
≤ 0.1	Uygun	≥ 1.5	0.010	0.015	0.2	0.000	0.000	0.000	0.010	0.015
≥ 0.4	Uygun	≤ 1.2	0.010	0.020	0.2	0.000	0.000	0.000	0.015	0.020
≥ 0.4	Uygun	≥ 1.5	0.010	0.015	0.2	0.000	0.000	0.000	0.010	0.015
≤ 0.1	U. Değil	≤ 1.2	0.005	0.010	0.2	0.000	0.000	0.000	0.005	0.010
≤ 0.1	U. Değil	≥ 1.5	0.005	0.010	0.2	0.000	0.000	0.000	0.005	0.010
≥ 0.4	U. Değil	≤ 1.2	0.000	0.000	0.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
≥ 0.4	U. Değil	≥ 1.5	0.000	0.000	0.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

3.14. Performansa Dayalı Tasarım

Performansa dayalı tasarım konusundaki çalışmalar 1970’li yıllara dayanmasına rağmen özellikle Loma Prieta (San Francisco–ABD, 1989) ve Northridge (Los Angeles–ABD, 1994) depremlerinden sonra sistematik olarak ele alınmıştır. Söz konusu depremlerin ardından yapılan incelemelerde dönemin doğrusal davranış kabulünü esas alan yönetmeliklerine göre uygun yapılmış birçok binada tahmin edilemeyen dayanım kayıplarının olduğu, ağır hasarın görüldüğü ve öngörülen mukavemete ulaşmadan göçtüğü belirlenmiştir. Gelişen bilgisayar teknolojilerinin de yardımı ile yapıların tasarımı konusunda doğrusal olmayan analiz yöntemleri de yönetmeliklere girebilmiştir.

Performansa dayalı yapı tasarımını esas alan modern deprem yönetmeliklerinden en yaygın olarak kullanılanlar,

- Structural Engineers Association of California (SEAOC) tarafından yayınlanan Bluebook (SEAOC, 1999) ve Vision 2000 (SEAOC, 1995)
- Federal Emergency Management Agency (FEMA) tarafından yayınlanan FEMA 273 (FEMA, 1997), FEMA 356 (FEMA, 2000) ve FEMA 440 (FEMA, 2005)
- Applied Technology Council (ATC) tarafından yayınlanan ATC-40 (ATC, 1996) olarak sıralanabilir.

Bu yönetmeliklerden SEAOC Vision 2000'in amacı yapıların sismik performansının önceden tahmin edilerek tasarımda kullanılabilmesini gösteren yönetmeliklerin başlıca dayanaklarını oluşturmak ve çok yönlü performans hedeflerini geliştirmektir. Bu yönetmelik yapısal ve yapısal olmayan elemanlar için hasar sınırlandırmalarını ve performans seviyelerini göstermektedir.

FEMA-356 genel anlamda bütün yapı çeşitlerini kapsayacak şekilde düzenlenmiştir. Olası yer hareketinin etkisinde kalan yapıların sahip olması gereken performans hedeflerinin değişimini sunmaktadır. FEMA-356 yapısal olmayan eleman ve sistemler için performans seviyelerini tanımlar ve farklı performans seviyelerinde değişik yatay yük kapasitesine sahip yapısal sistemler için kayma ve ötelenme limitlerini gösterir.

ATC-40 yönetmeliğinde yapılarda performansa dayalı tasarım ve performans hedefinin sağlanması hakkındaki yapısal ölçütlerin gösterildiği yöntemi açıklamaktadır. ATC-40 yönetmeliği betonarme binalar için hazırlanmıştır ve kapasite spektrum yönteminin uygulanması ile ilgili bilgiler içerir.

Bu yönetmeliklerin dışında,

- National Earthquake Hazards Reduction Program (NEHRP)
- Earthquake Engineering Research Institute (EERI)
- Building Seismic Safety Council (BSSC)
- Earthquake Engineering Research Center of University of California at Berkeley (EERC-UCB)
- American Society of Civil Engineers (ASCE)
- Pacific Earthquake Engineering Research (PEER)

gibi organizasyonlarda da performansa dayalı yapı tasarımı ve doğrusal olmayan çözüm yöntemleri konusunda çalışmalar yapılmaktadır.

Türkiye’de ise yakın zamanda benzer çalışmalar başlatılmış; Ocak 1998 ‘de “Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik” (ABYYHY) ve Mart 2007’de bu yönetmeliğin güncellenmiş hali olan “Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik” (DBYBHY) resmen yürürlüğe girmiştir. Özellikle DBYBHY’de bina türü betonarme yapıların güçlendirilmesinde ve deprem etkisine karşı tasarlanmasında kullanılmak üzere doğrusal olmayan çözüm yöntemlerine ve performansa dayalı tasarıma önem verilmiştir.

Performansa dayalı yapı tasarımı ilk olarak mevcut yapıların güçlendirilmesi konusunda ele alınmış bir kavramdır. Güçlendirme projesi düzenlenecek bir yapıda muhtemel bir deprem anında hangi kesitlerde kritik dayanım kayıpları görüleceği, kolon – kiriş birleşim noktalarında oluşacak plastik mafsalların dağılımları ve seviyeleri, yapının yatay yüklem kapasitesi ve performans noktası gibi önemli verilerin elde edilmesi konusunda oldukça faydalı bir yöntemdir. Yapının deprem titreşimleri etkisinde göstereceği doğrusal olmayan davranışı ve hasar mekanizmalarını etkin bir şekilde ortaya koyabilmesinden dolayı yeni yapıların tasarlanmasında da kullanılmaya başlanmıştır. Bu yöntem sayesinde yapılar kullanım amaçlarına uygun olarak önceden belirlenen bir performans seviyesine göre projelendirilebilmektedir.

Yapının doğrusal davranış kabulüne göre projelendirilmesinde deprem etkilerinin katsayılarla ifade edilmesi hesaplanacak deplasmanların ve tepki kuvvetlerinin gerçekçi olmasını zorlaştırmaktadır. Ortaya çıkan belirsizlikler, yapının güvenli tarafta kalabilmesi için aşırı büyük kesitlere ve yüksek maliyetlere neden olmaktadır. Dayanım – Maliyet dengesinin en uygun şekilde sağlanabilmesi aşamasında “Yapının Performansı” kavramı önem kazanmaktadır.

Bir yapının performansı, yapının yer titreşimleri etkisinde alacağı hasar durumunu belirtmektedir. Genel olarak taşıyıcı sistemin malzeme özellikleri, taşıyıcı elemanların dağılımı, sünegliği, rijitlikleri ve kesitleri, etki eden düşey ve yatay yüklemeler, deprem esnasındaki sönümlenmeler, meydana gelecek plastik mafsallar gibi etmenlere bağlı olarak değişmektedir. Kapasite Spektrumu Yöntemi gibi doğrusal olmayan yöntemlerle yapının performans noktası bulunabilir. Bulunacak performans noktası yapının deprem anında stabilitesini kaybetmeden yani göçme durumuna ulaşmadan yapabileceği en büyük yer değiştirme miktarını ifade eder. Ancak bu yer değiştirme miktarının, tasarlanan yapıda izin verilebilecek en uygun hasar seviyesi olduğu söylenemez.

Örneğin muhtemel bir depremin hemen sonrasında kullanılması amaçlanan hastane gibi yapıların olabildiğince az hasar alması istenir. Ancak göçmesi halinde önemli bir mal ve can kaybına yol açmayacak olan depo, baraka, kulübe gibi yapılarda böyle bir özellik aranmaz. Yapının kullanım amaçlarına göre değişen ve depremden sonra sahip olması istenen bu hasar seviyesine yapının performans hedefi de denmektedir. Eğer bir yapıda birden fazla deprem türü için ayrı ayrı performans hedefi öngörülmüşse buna çok seviyeli performans hedefi adı verilmektedir.

Projelendirilecek bir yapıda kullanım amacına uygun olarak bir performans hedefi (ya da hedef yer değiştirme) seçilmektedir. Tasarımcı yapının performans hedefini belirlerken iki temel sorunun cevabını vermelidir (Celep, Kumbasar, 2004),

- Yapının deprem etkileri altında ne kadar hasar almasına izin verilebilir ve bunun performans kavramındaki karşılığı nedir?
- Yapının performansı belirlenirken hangi deprem türü göz önüne alınmalıdır?

Bina deprem performansı bu iki sorunun cevabına göre yaklaşık olarak bulunmaktadır. Hesaplamalarda ise bu seçenekler kapasite ve talep spektrumlarının karşılığı olarak düşünülebilir. İkinci seçenekten de anlaşılacağı üzere yapının mevcut dayanımı kadar yapıya etki edecek depremin özellikleri de performans hedefini değiştirebilmektedir. Sismik açıdan etkin ve büyük şiddetteki depremlerin sıkça görüldüğü bölgelerde performans hedefinin daha kısıtlı bir hasar seviyesinde seçilmesi gerektiği açıktır. Ayrıca deprem sonrasında en düşük seviyede hasar görmesi istenen hastane, itfaiye binası, hükümet binaları gibi önemli yapıların boyutlandırılmasında da şiddeti yüksek olan depremler alınmalıdır. Yapıların tasarım aşamasında kullanılacak deprem etki seviyeleri ve sınıflandırmalar için yönetmeliklerde önerilen değerler Bölüm 3.8.1,'de belirtildiği gibidir.

Güçlendirme yapılacak yapılarda ise benzer bir yol izlenmektedir. Doğrusal olmayan hesaplamalarla binanın mevcut durumundaki performans bulunur. Buna göre binaya performans hedefinin yakalanacağı seviyeye kadar kolon ve kirişlerin beton, çelik ya da lifli polimerle sarılması, dıştan etriye eklenmesi, kesitlerin büyütülmesi, dolgu duvarların güçlendirilmesi, sisteme perde elemanlar eklenmesi, yeni çerçeveler eklenmesi veya yapı kütlelerinin azaltılması gibi güçlendirme çalışmaları uygulanabilir.

Yönetmeliklerde yapıların mevcut olan veya öngörülecek sismik performanslarının daha net olarak belirlenebilmesi amacıyla çeşitli performans

seviyeleri tanımlanmaktadır. Bu tanımlamalar yönetmeliklerin kullanıldıkları ülkelerin veya bölgelerin özel şartlarına göre düzenlendiğinden, hem derecelendirme kıstasları hem de isimlendirmeler açısından her yönetmeliğin kendine özgü bir performans seviyesi ölçütü bulunmaktadır. Yine de bu farklı performans seviyelerinin birbirine benzer hasar görme yaklaşımlarına dayandığı söylenebilir. Bu tez çalışmasında DBYBHY-2007 ve FEMA-356 yönetmeliklerinde önerilen performans seviyesi sınıflandırmaları anlatılacak ve DBYBHY-2007 esas alınarak hesaplamalar yapılmıştır.

3.15. DBYBHY-2007'ye Göre Performans Seviyeleri

Mart 2007'de yürürlüğe giren yeni deprem yönetmeliğine göre yapı performans tanımlamaları olarak Hemen Kullanım, Can Güvenliği, Göçme Öncesi ve Göçme Durumu performans seviyeleri verilmiştir. Bu kavramlar deprem etkisine maruz kalmış bir kesitte görülecek olan hasar seviyelerine dayanılarak türetilmiştir. Bu nedenle öncelikle kesitlerdeki hasar sınırlarının ve buna bağlı olarak hasar bölgelerinin açıklanması gerekir.

3.15.1. Kesitlerde Hasar Sınırları

Yapılar için performans seviyeleri kesitlerde görülecek hasar miktarına göre ayrılmaktadır. Sünek kesitlerde hasar miktarları için kabaca 3 farklı seviyeden bahsedilebilir. Bunlar Minimum Hasar Sınırı (MN), Güvenlik Sınırı (GV) ve Göçme Sınırı (GÇ)'dir. Minimum hasar sınırı, kesitte doğrusal elastik davranışın kaybolduğu yer değiştirme miktarı olarak; güvenlik sınırı, elastik sınırın ötesindeki kesitin güvenli bir şekilde deplasman yapabileceği en büyük değer olarak; göçme sınırı ise kesitin göçmeden hemen önce ulaşabileceği en büyük deplasman değeri olarak kabul edilmektedir. Bu sınırlar kesitin sünek kırılma özelliği göstermesi durumunda geçerli olmaktadır. Gevrek kırılma özelliği gösteren kesitlerde ani ve büyük deformasyonlar görülmesi bu tür sınırlar oluşturulmasını zorlaştırmaktadır.

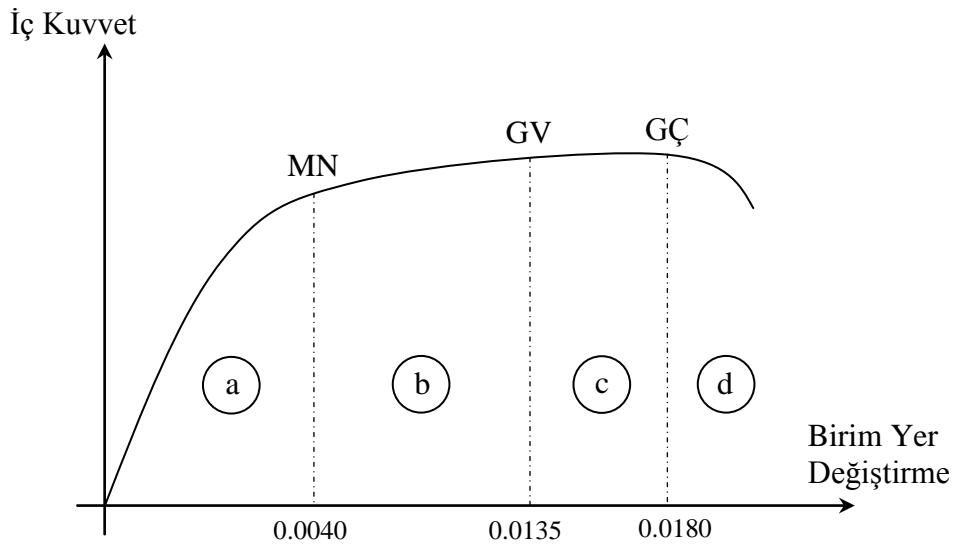
3.15.2. Kesit Hasar Bölgeleri

Yapının kapasite eğrisi üstünde gösterilen ve kesit hasar sınırlarına karşılık gelen yer değiştirme değerlerinin arasında kalan bölgelerdir (Şekil 3.26.).

Bu bölgeleri kısaca açıklamak gerekirse,

a: Minimum Hasar Bölgesi; taşıyıcı elemanların MN hasar sınırına ulaşmadığı ve doğrusal davranışın hâkim olduğu durumdur.

b: Belirgin Hasar Bölgesi; elemanlarda kılcal çatlakların oluşmaya başladığı ve doğrusal davranıştan ilk ayrılmanın gerçekleştiği durumu gösterir.



Şekil 3.26. Sünek kesitlerde hasar sınırları ve hasar bölgeleri

c: İleri Hasar Bölgesi; elemanlardaki kılcal çatlakların boyutlarının büyüdüğü, plastik mafsalların geliştiği ve doğrusal olmayan davranışın iyice belirgin hale geldiği durumdur.

d: Göçme Bölgesi; plastik mafsalların taşıyıcı sisteme yayıldığı, yapı genelinde stabilitenin kaybolduğu ve göçme sürecinin başladığı durumdur.

Yatay yüklemelerin etkisi ile zorlanan bir kesitin aşmış olduğu hasar sınırı Denklem 3.11, Denklem 3.12 ve Denklem 3.13’de verilmiş olan değerlerle bulunabilir.

3.15.3. Deprem Performans Seviyeleri

Yapıların sismik performans seviyeleri, doğrusal olmayan hesaplamalarla belirlenen performans noktalarının dâhil olduğu hasar bölgesine göre bulunmaktadır. Yani yapının deprem sonrası sahip olacağı hasar seviyesi performans noktası ile doğrudan bağlantılıdır. DBYBHY-2007’de dört hasar bölgesi için dört ayrı performans seviyesi tanımlanmıştır.

- **Hemen Kullanım Seviyesi:** Performans noktası, minimum hasar bölgesi aralığına denk gelen bir yapının sahip olacağı performans seviyesidir. Taşıyıcı sistemdeki hasar miktarı yok denecek kadar azdır. Yapının deprem etkisinde davranışı elastik sınıra ulaşmamış olup, yapısal elemanların rijitlik ve dayanım gibi özellikleri depremden önceki durumunu büyük ölçüde korumuş haldedir. Kat ötelemeleri ve elemanlardaki çatlamlar ihmal edilebilecek değerlerdedir. Meydana gelen hasarlar onarılabilecek düzeydedir. Yapının herhangi bir katındaki kirişlerin en fazla %10 ‘u belirgin hasar bölgesinde bulunmakta, diğer tüm taşıyıcı elemanlar minimum hasar bölgesinde kalmaktadır.
- **Can Güvenliği Seviyesi:** Bazı yapısal elemanlarda hasarlar görünmektedir. Ancak hasar gören bu elemanların yatay ve düşey dayanımlarında depremden önceki duruma göre önemli bir değişiklik yoktur. Yapıda doğrusal olmayan davranış çok az da olsa görünmeye başlanmıştır. Bazı kiriş ve kolonlarda kılcal çatlaklar oluşmuştur. Dolgu duvarların hasar görme ve yıkılma durumu söz konusu değildir. Kat ötelenmesi ve elemanlardaki şekil değiştirmeler küçük değerlerdedir. Bir yapının Can Güvenliği Performans Seviyesine sahip olabilmesi için aşağıda verilen şartları sağlaması gerekmektedir.
 - a) Uygulanan her bir deprem doğrultusu için herhangi bir kattaki kirişlerin en fazla %30’u ileri hasar bölgesine geçmelidir.
 - b) Herhangi bir katta İleri Hasar Bölgesi’ne geçmiş kolonların karşıladığı kesme kuvvetinin aynı kattaki kolonlar tarafından karşılanan toplam kesme kuvvetine oranı %20’den az olmalıdır. En üst kat kolonları için bu oran %40 olabilir.
 - c) Diğer taşıyıcı sistem elemanların tamamı Minimum Hasar Bölgesi’nde veya Belirgin Hasar Bölgesi’nde bulunmalıdır. Ancak, herhangi bir katta hem alt

hem de üst kesitlerinde Minimum Hasar Sınırı aşılmış olan kolonların karşıladığı kesme kuvvetleri, o kattaki tüm kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetinin %30'undan az olması koşulu vardır.

Bu özellikleri taşıyan yapıların, gevrek güç tükenmesi gösteren elemanlarının güçlendirilmesi şartıyla Can Güvenliği Performans Seviyesi'nde bulunduğu söylenebilir.

- **Göçme Öncesi Seviyesi:** Birçok taşıyıcı sistem elemanında belirgin hasarlar görülmeye başlar ve deprem öncesinde sahip oldukları yatay doğrultudaki dayanım ve rijitliklerinin çoğunu kaybederler. Bir kısım kolon ve kiriş eksenel yük taşıma kapasitesine ulaşmıştır. Düşey yüklerin karşılanabilmesi azalsa da devam etmektedir. Yapının doğrusal olmayan davranışı belirgin hale gelmiştir. Bazı kolon - kiriş birleşim bölgelerinde düşük seviyeli plastik mafsalları oluşumları görülür. Yapısal olmayan çoğu eleman hasar görmüş haldedir. Dolgu duvarlarda büyük hasarlar vardır ve bazıları göçmüş durumdadır. Kat ötelenmeleri geri dönüşü olmayan seviyelerdedir. Bu performans seviyesinde taşıyıcı olmayan elemanlar göçme bölgesi özelliği gösterebilir. Bir yapının Göçme Öncesi Performans Seviyesine sahip olabilmesi için aşağıda verilen şartları sağlaması gerekmektedir.

- a) Uygulanan her bir deprem doğrultusu için herhangi bir kattaki kirişlerin en fazla %20'si göçme bölgesine geçmelidir.
- b) Geriye kalan tüm taşıyıcı elemanlar minimum, belirgin ve ileri hasar bölgesi özelliği göstermelidir. Ancak, herhangi bir katta hem alt hem de üst kesitlerinde Minimum Hasar Sınırı aşılmış olan kolonların karşıladığı kesme kuvvetleri, o kattaki tüm kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetinin %30'undan az olması koşulu vardır.
- c) Yapının depremden sonra kullanılması can güvenliği açısından tehlikelidir. Maliyet hesaplarına göre yapının onarılması veya tamamen yıkılarak yeniden yapılması durumları karşılaştırılarak en elverişli seçeneğin uygulanması gerekir.

Bu özellikleri taşıyan ve tüm gevrek güç tükenmesi gösteren elemanlarının göçme bölgesinde olduğu kabul edilen bir yapının Göçme Öncesi Performans Seviyesi'ne sahip olduğu söylenebilir.

- **Göçme Seviyesi:** Taşıyıcı elemanlarının çoğunun Göçme Öncesi Performans Seviyesini aşmış olduğu ve yapının göçme durumuna geldiği performans seviyesidir. Yapı yıkılmanın eşiğindedir. Düşey taşıyıcı elemanların bir kısmı göçmüştür. Kalan elemanlar ise yatay yüklemelere karşı dayanım ve rijitliklerini kaybetmiş olup, sadece düşey yükleri taşıyabilir hale gelmiştir. Kalıcı şekil ve yer değiştirmeler mevcuttur. Birçok kolon-kiriş birleşim bölgesinde dönme limitlerine ulaşmış ve moment iletim yeteneğini kaybetmiş plastik mafsalları görülebilir. Yapısal olmayan elemanların hemen hemen hepsinin göçtüğü kabul edilir. Yapıda statik olarak kararlı bir durumdan söz edilemeyeceği için depremde sonra kullanılması can güvenliği bakımından çok tehlikelidir. Muhtemel bir artçı sarsıntıda yıkılma gerçekleşebilir. Bu performans seviyesinde taşıyıcı elemanların hasar durumları ve görece kat ötelemeleri gibi özelliklerin kontrolü yapılmaz.

Mevcut veya güçlendirilecek binaların deprem performanslarının belirlenmesinde esas alınacak deprem düzeyleri ve bu deprem düzeylerinde binalar için öngörülen minimum performans hedefleri Çizelge 3.24.'de verilmiştir. Çizelge 3.18.'de HK hemen kullanım performans seviyesini, CG can güvenliği performans seviyesini, GÖ göçme öncesi performans seviyesini göstermektedir.

3.16. FEMA-356'ya Göre Performans Seviyeleri

FEMA-356 yönetmeliğinde yapıların sahip oldukları performans seviyeleri *yapısal* ve *yapısal olmayan* olmak üzere iki grupta ele alınmıştır. Bu yönetmelikte performans seviyelerinin kısaca belirtilebilmesi amacıyla kodlama kullanılmıştır.

Çizelge 3.24. Farklı deprem düzeyleri için öngörülen minimum performans hedefleri

Binanın Kullanım Amacı ve Türü	<i>Deprem Aşılma Olasılığı</i>		
	50 yılıda %50	50 yılıda %10	50 yılıda %2
Deprem Sonrası Kullanımı Gereken Binalar: Hastaneler, sağlık tesisleri, itfaiye binaları, haberleşme ve enerji tesisleri, ulaşım istasyonları, vilayet, kaymakamlık ve belediye yönetim binaları, afet yönetim merkezleri, vb.	–	HK⁽¹⁾	CG⁽²⁾
İnsanların Uzun Sureli ve Yoğun Olarak Bulunduğu Binalar: Okullar, yatakhaneler, yurtlar, pansiyonlar, askeri kışlalar, cezaevleri, müzeler, vb.	–	HK	CG
İnsanların Kısa Sureli ve Yoğun Olarak Bulunduğu Binalar: Sinema, tiyatro, konser salonları, kültür merkezleri, spor tesisleri.	HK	CG	–
Tehlikeli Madde İçeren Binalar: Zehirli, parlayıcı ve patlayıcı özellikleri olan maddelerin bulunduğu ve depolandığı binalar.	–	HK	GÖ⁽³⁾
<i>Diğer Binalar: Yukarıdaki tanımlara girmeyen diğer binalar (konutlar, işyerleri, oteller, turistik tesisler, endüstri yapıları, vb.).</i>	–	CG	–

⁽¹⁾: Hemen Kullanım, ⁽²⁾: Can Güvenliği, ⁽³⁾: Göçme Öncesi

3.16.1. Yapısal Performans Seviyeleri

FEMA-356 yönetmeliğinde yapıların kolon, kiriş, perde ve döşeme gibi taşıyıcı elemanlarında deprem etkisiyle oluşacak hasar durumlarını açıklamakta kullanılacak performans seviyeleri S-n kısaltması ile gösterilmektedir (Çizelge 3.25.). Bölüm 3.15.2..'de verilmiş olan kesit hasar bölgeleri esas alınarak türetilmişlerdir.

Çizelge 3.25. Yapısal performans seviyeleri ve kodları

Performans Seviyesi	Kod
Hemen Kullanım	S-1
Can Güvenliği	S-3
Göçmenin Önlenmesi	S-5
<i>Performansın Dikkate Alınmadığı Seviye</i>	S-6

Bu performans seviyelerinin dışında S-1, S-3, S-5 seviyelerinin arasında kalan ve bu aralıktaki hasar durumlarını belirten performans aralıkları mevcuttur (Çizelge 3.26.).

Çizelge 3.26. Yapısal performans aralıkları ve kodları

Performans Aralığı	Kod
Hasar Kontrol	S-2
Sınırlı Güvenlik	S-4

Bu performans aralıkları, yapının önemli bir hasar görmeden sahip olması istenen performans seviyelerini detaylandırabilmek için tasarlanmıştır. Dayanım – Maliyet dengesinin daha sağlıklı belirlenmesi için iki ayrı performans seviyesinin güvenlik ve hasar özellikleri bir arada kullanılmıştır.

- **Hemen Kullanım Yapısal Performans Seviyesi (S-1)**

Deprem sonrasında yapının taşıyıcı sisteminde çok sınırlı yapısal hasarların olduğu durumdur. Sistem elemanlarının depremden önceki düşey ve yatay kuvvet kapasiteleri büyük ölçüde korunmuş haldedir. Çok düşük seviyede yapısal hasar meydana geldiğinden can güvenliğini tehlikeye atacak bir durum görünme ihtimali yok denecek kadar azdır. Oluşacak muhtemel hasarlar kolayca onarılabilecek seviyededir. Bu nedenle yapı depremden sonra da güvenle kullanılabilir.

- **Hasar Kontrolü Yapısal Performans Aralığı (S-2)**

Hemen Kullanım Performans Seviyesi ile Can Güvenliği Performans Seviyesi arasında bulunan hasar durumlarının olduğu yapısal performans aralığıdır. Can güvenliği hedefi sağlanabilmiş ancak (S-3) seviyesinde oluşacak hasarlar sınırlandırılmıştır. Yönetmeliklerin “50 yılda aşılma olasılığı %10 olan deprem” olarak tanımladığı yer hareketi etkisinde yapının sahip olması istenen performans seviyesi bu aralığa düşmektedir.

- **Can Güvenliği Yapısal Performans Seviyesi (S-3)**

Deprem sonrası yapıda hasarların meydana geldiği ancak kısmi veya topluca göçme durumunun meydana gelmediği performans seviyesi olarak tanımlanır. Bu performans seviyesi yapıyı oluşturan elemanların süneklik özelliklerine bağlı olarak oluşmaktadır. Yapısal elemanlarda düşük seviyede doğrusal olmayan hareketler görülmesine rağmen can güvenliğini tehlikeye atacak biçimde şekil değiştirme söz konusu olmaz. Bina içinde taşıyıcı elemanların deformasyonundan kaynaklanan bir yaralanma görülmez. Depremden sonra yapının tekrar kullanılması için kapsamlı bir onarım sürecinden geçmesi gerekir. Ancak bu

ekonomik nedenlerden dolayı pratik olmayan bir seçenektir. Onun yerine tasarım aşamasında can güvenliğini tehlikeye atmayacak şekilde yapının daha fazla deplasman yapmasına izin verilebilmektedir.

- **Sınırlı Güvenlik Yapısal Performans Aralığı (S-4)**

Can Güvenliği Performans Seviyesi ile Göçmenin Önlenmesi Performans Seviyesi arasında bulunan hasar durumlarının olduğu yapısal performans aralığıdır. Binadaki elemanların çoğu can güvenliği performansını geçmiş ama göçmenin önlenmesi performansına da erişememiştir. Onarım çalışmalarının tüm elemanlarda uygulanmasına gerek yoktur. Diğer hasarlı elemanlarda ise Can Güvenliği Performans Seviyesinde önerilenden daha fazla onarım yapılması gerekir.

- **Göçmenin Önlenmesi (Stabilitenin Korunumu) Yapısal Performans Seviyesi (S-5)**

Deprem sonrasında yapının güç tükenmesi durumuna ulaştığı, kısmi veya tamamen göçme sınırına geldiği ağır hasar durumudur. Büyük miktarda ve kalıcı kat ötelenmeleri meydana gelmiştir. Taşıyıcı elemanları düşey yük kapasitelerinin sınırlarına gelmiştir ve yapı ancak ayakta durabilmektedir. Artçı sarsıntılar sebebiyle binanın çökme tehlikesi bulunmaktadır. Ayrıca bazı elemanlar binadan koparak yaralanmalara neden olabilir. Bu nedenle depremden sonra yapının kullanılması güvenli değildir. Yapının onarılması hem teknik sorunlar çıkabileceğinden hem de yüksek maliyetli olacağından önerilmez. Yeni binaların tasarımında Stabilitenin Korunumu Performans Seviyesinin muhtemel en büyük deprem etkisi altında sağlanması gerekmektedir. Daha düşük bir deprem etkisinde bu performans seviyesine ulaşılması, daha büyük bir deprem etkisi meydana geldiğinde yapının güç tükenmesi sınırını aşması ve yıkılarak can ve mal kaybına yol açması anlamına gelir. Böyle bir durum performansa dayalı tasarım mantığına aykırıdır.

- **Performansın Dikkate Alınmadığı Seviye (S-6)**

Bu tam olarak tanımlanabilmiş bir performans seviyesi değildir. Ancak yapısal elemanlarla beraber dolgu duvarlar, özel bölmeler, asma tavanlar, eşyalar gibi yapısal olmayan elemanların da sismik açıdan değerlendirilmesini ve güçlendirilmesini amaçlayan bir performans seviyesini belirtir. İçerisinde kültürel,

sanatsal veya manevi açıdan değeri yüksek olan eşyaların bulunduğu bir binanın (müzeler, sergiler, galeriler, vb.) göçmesi halinde bile içerisindeki eşyaların zarar görmemesinin istendiği haller bu seviyeyle ifade edilebilir.

3.16.2. Yapısal Olmayan Performans Seviyeleri

FEMA-356 yönetmeliğinde yapıların dolgu duvarlar, merdivenler, asansör ve tesisat sistemleri gibi taşıyıcı olmayan elemanlarında deprem etkisiyle oluşacak hasar durumlarını açıklamakta kullanılır. Bu performans seviyeleri N-n kısaltması ile gösterilmektedir (Çizelge 3.27.). Yapısal performans seviyelerine benzer şekilde deprem performans seviyeleri esas alınarak türetilmişlerdir.

- **Kullanıma Devam Yapısal Olmayan Performans Seviyesi (N-A)**

Yapıdaki taşıyıcı olmayan elemanların ve elektrik, su, iletişim, bilgisayar, ısıtma, doğalgaz, kanalizasyon, yangın önleme sistemleri gibi donanımların, meydana gelen bir depremin ardından yerlerinin ve fonksiyonlarının değişmediği veya ihmal edilebilecek kadar az etkilendiği hasar durumudur. Küçük ölçekte onarım

Çizelge 3.27. Yapısal olmayan performans seviyeleri ve kodları

Performans Seviyesi	Kod
Kullanıma Devam	N-A
Hemen Kullanım	N-B
Can Güvenliği	N-C
Azaltılmış Hasar	N-D
<i>Performansın Dikkate Alınmadığı Seviye</i>	<i>N-E</i>

gerektiren haller dışında tüm sistemler çalışır vaziyettedir. Bu performans düzeyi özellikle hastaneler, okullar, sinemalar, gökdelenler, büyük iş ve alış-veriş merkezleri, bilgi işlem merkezleri, hükümet binaları gibi yoğun insan trafiğine ve iş hacmine sahip yapılarda dikkatle ele alınması gereken bir konudur. Binadaki mevcut donanımların doğru monte edilmesi, güvenlik ve dayanım testlerinden geçirilmesi ve acil durumlar için gerekli düzenlemelerin yapılması söz konusudur. FEMA-356'da bu performans seviyesinin önemi belirtilmiş ancak donanımların deprem anındaki performansları için üretici firmalara ve ilgili yönetmeliklere başvurulması önerilmiştir.

- **Hemen Kullanım Yapısal Olmayan Performans Seviyesi (N-B)**

Bu performans seviyesinde depremin ardından yapısal olmayan elemanlar ve donanımlar yerlerini korumuş fakat küçük hasarlar almış durumdadırlar. Binadaki kapılar, merdivenler, elektrik, asansör ve yangın önleme sistemleri hâlâ kullanılabilir haldedir. Pencereelerde hasarlar olabilir. Su, doğalgaz, iletişim ve diğer bazı tesisatlar hasar alarak bozulabilir ve onarımdan geçmesi gerekebilir. Yine de can güvenliğini tehdit edebilecek bir hasar oluşma ihtimali düşüktür.

- **Can Güvenliğı Yapısal Olmayan Performans Seviyesi (N-C)**

Yapısal olmayan elemanlarda gözle görünen ama can güvenliğini tehdit etmeyen hasarlar oluşur. Ağır makinelerin devrilmesi, elemanların yerinden çıkması ya da kopması durumu görülmez. Yine de bazı yaralanmalar meydana gelebilir. Yapıdaki tesisatlarda önemli miktarda tamir ve yenileme masrafı çıkartabilecek hasarlar bulunur.

- **Azaltılmış Hasar Yapısal Olmayan Performans Seviyesi (N-D)**

Bu performans seviyesinde deprem etkileri sonucunda yapısal olmayan elemanlarda ve tesisatlarda önemli hasarlar oluşur. Buna karşın korkulukların, giydirme panellerin, cephe kaplamalarının, dış yığma duvarların, depolama raflarının ve ağır asma tavanların hasar alarak insanların toplu halde yaralanmalarına neden olacak şekilde düşmesi veya devrilmesi söz konusu değildir. Hafif, küçük veya zemine yakın yapısal olmayan elemanlarda büyük çatlama, kopmalar veya moloz dökülmesi olabilir fakat bunlar yaralanmalara neden olmayacak şekildedir. Yine de bazı küçük kazalar görülebilir. Azaltılmış hasar performans seviyesindeki amaç yapıdaki yapısal olmayan elemanların tümünün onarımını gerektirmeyecek şekilde kısmi hasarların oluşmasını kabul etmektir.

- **Performansın Dikkate Alınmadığı Seviye (N-E)**

Bu seviye tam ve belirgin bir performans seviyesi değildir. Yapısal olmayan elemanların performansının ihmal edilebileceğı; onarım masraflarının ve sürecinin, yapının kullanım amacını ve işlevliğini olumsuz etkileyeceğı durumlarda uygulanabilir. Fakat bu kabul gerçekçi bir yaklaşım değildir. Zira dolgu duvarların, yapısal olmayan bir eleman olarak alınmalarına rağmen

buldukları çerçevenin rijitliğine katkı sağladığı ve yatay yüklemelerin belli bir kısmını taşıyabildiğine dair ciddi görüşler bulunmaktadır.

3.16.3. Yapı Performans Seviyeleri

Bir yapının hedef performansı meydana gelecek hasarların, güvenlikle ilgili sınırlandırmaların, ekonomik kayıpların ve yapının işletilmesindeki aksamaların bir arada düşünülmesi ile belirlenebilir. FEMA-356'ya göre bu kavramlar yapısal ve yapısal olmayan performanslar ile temsil edilmiştir. Yapının asıl performans hedefi ise yapısal ve yapısal olmayan performansların bir bileşkesi olarak kabul edilir. Performans hedefinin kodlama türü gösteriminde yapısal performans kodunun sayısal kısmı ile yapısal olmayan performans kodunun ikinci harfi kullanılmaktadır. Örneğin Hasar Kontrolü Yapısal Performans Aralığı (S-2) ve Can Güvenliği Yapısal Olmayan Performans Seviyesi (N-C) özelliği öngörülen bir yapı kısaca 2-C kodlaması ile ifade edilebilir. Yapı performans seviyeleri ve aralıklarının olası tüm kombinasyonları Çizelge 3.28.'de gösterilmiştir. Bu kombinasyonlar arasında yapı tasarımında en yaygın şekilde kullanılanlar 1-A, 1B, 3-C, 3-D ve 5-E performans seviyeleridir.

Çizelge 3.28. FEMA-356'ya göre yapı performans seviyeleri

Yapısal Olmayan Performans Seviyeleri	Yapısal Performans Seviye ve Aralıkları					
	S-1 Hemen Kullanım	S-2 Hasar Kontrol	S-3 Can Güvenliği	S-4 Sınırlı Güvenlik	S-5 Göçmenin Önlenmesi	S-6 Performansın Dikkate Alınmadığı Seviye
N-A Kullanıma Devam	1-A Kullanıma Devam	2-A	Kullanımı Önerilmez	Kullanımı Önerilmez	Kullanımı Önerilmez	<i>Kullanımı Önerilmez</i>
N-B Hemen Kullanım	1-B Hemen Kullanım	2-B	3-B	Kullanımı Önerilmez	Kullanımı Önerilmez	<i>Kullanımı Önerilmez</i>
N-C Can Güvenliği	1-C	2-C	3-C Can Güvenliği	4-C	5-C	6-C
N-D Azaltılmış Hasar	Kullanımı Önerilmez	2-D	3-D Bina Performansı	4-D	5-D	6-D

- **Kullanıma Devam Performans Seviyesi (1-A)**

Yapıdaki yapısal ve yapısal olmayan elemanlarda hasar oluşmadığı veya ihmal edilebilecek düzeyde olduğu seviyedir. Yapı sisteminin depremden önceki dayanımı, sünekliği ve rijitlikleri deprem etkisinden sonra da aynı değerdedir. Can güvenliğini tehdit edecek hasar meydana gelmediği için herhangi bir onarım işleminden geçmeden yapı kullanımına devam edilebilir. Küçük ölçekli yer sarsıntıları karşısında bütün yapıların bu performans seviyesine uygun hareket etmesi beklenir.

- **Hemen Kullanım Performans Seviyesi (1-B veya IO)**

Yapısal elemanlarda hasarın oluşmadığı veya ihmal edilebilecek düzeyde olduğu; yapısal olmayan elemanlarda ise düşük mertebelerde hasarların meydana geldiği performans seviyesi olup önemli binalar için hedeflenen bir durumdur. Bu seviye, kodlama yönteminde 1-B olarak ifade edilmekte, ancak genel gösterimde IO (Immediate Occupancy) ile temsil edilmektedir. Yapısal olmayan elemanlarda küçük onarımlar gerekebilir. Yine de yapı depremden sonra güvenle kullanılabilir haldedir. Depremden sonraki dayanım, rijitlik ve süneklik değerleri, deprem öncesindeki değerlere oldukça yakındır. Deprem esnasında yaralanma tehlikesi çok azdır. Orta şiddetteki depremlerde birçok binanın bu performans seviyesine uygun hareket etmesi istenir.

- **Can Güvenliği Performans Seviyesi (3-C veya LS)**

Bu seviye, kodlama yönteminde 3-C olarak ifade edilmekte, ancak genel gösterimde LS (Life Safety) ile temsil edilmektedir. Deprem etkisi sonucunda taşıyıcı sistemde hasar oluşmuştur. Ancak kapasitelerinin büyük bir kısmı kullanılmamış haldedir. Yapısal olmayan elemanlarda ise hasar düzeyi kontrol altındadır. Yapının depremden önceki süneklik, dayanım ve rijitlik gibi özelliklerinde kayıplar vardır. Can güvenliğini tehdit edecek bir durum görülmez fakat bazı yaralanmalar gerçekleşebilir. Sarsıntı esnasında yapıya monte edilmemiş dolarlar, raflar ve tesisatlar hareket edebilir. Sarsıntı sonrası yangın tehlikesi olabilir. Yeniden kullanıma açılmadan önce yapının onarım sürecinden geçmesi gerekir. Yeni yapıların şiddetli depremler karşısında sahip olması istenen performans seviyesinden biraz daha düşük olarak tanımlanırlar. Yapım maliyeti

ve çıkabilecek onarım masrafları da düşünülduğünde, bazı yapılar bu performans seviyesinin biraz üstünde deplasman yapacak şekilde tasarlanabilirler.

- **Yapı Performansı Seviyesi (3-D)**

Yapıdaki taşıyıcı elemanlarda can güvenliği, taşıyıcı olmayan elemanlarda ise azaltılmış hasar performans seviyesinin öngörüldüğü performans seviyesidir. Yönetmeliklerde 50 yıl içinde aşılma olasılığı %10'un üstü olarak tanımlanan bir deprem etkisinin yaklaşık %75'ini karşılayabilecek bir güçlendirme işleminin, yapı performansı seviyesini sağladığı kabul edilebilir.

- **Göçmenin Önlenmesi Performans Seviyesi (5-E veya CP)**

Bu performans seviyesinde deprem etkisine maruz kalmış yapı, yatay yük kapasitesinin sınırına ulaşmış durumdadır. Düşey yüklemeler altındaki stabilitesini ancak koruyabilmektedir. Bu seviye, kodlama yönteminde 5-E olarak ifade edilmekte, ancak genel gösterimde CP (Collapse Prevention) ile temsil edilmektedir. Olası bir artçı sarsıntıda yıkılma tehlikesi bulunduğu için depremin hemen ardından yapının boşaltılması gerekir. Yapının onarılması, çok büyük bir maliyete ve iş gücüne mal olacağından söz konusu değildir. Yapıların önemli bir kısmının bu performans seviyesine sahip olması istenmez. Ancak yeniden yapılmasının onarım işlemine oranla daha elverişli olduğu, geçici bir süre kullanma amacıyla yapılan, yıkılması halinde can ve mal kaybına yol açmayacak depo, baraka, kulübe ve benzeri yapıların tasarlanmasında öngörülen bir performans seviyesidir.

FEMA-356'da performans seviyelerine karşılık gelen hasar durumları birim yer değiştirme cinsinden Çizelge 3.29.'da gösterildiği gibi ifade edilebilir.

Çizelge 3.29. FEMA-356'ya göre hasar durumları

Hemen Kullanım (IO)	Can Güvenliği (LS)	Göçme Öncesi (CP)
0.0025	0.0075	0.0150

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

4.1. İncelenen Binaların Özellikleri

Betonarme konut tipi yapıların sismik performanslarının bulunması hakkında sayısal örnek olarak Antakya bölgesinde seçilen ve şehrin genel betonarme yapı stoğunu temsil edebilen 7 adet bina Etabs analiz programı ile modellenmiş ve hasar görülebilirlik durumları hesaplanmıştır. İncelenen 7 binanın yapısal özellikleri Çizelge 4.1.'de, sismik özellikleri Çizelge 4.2.'de ve modellemede esas alınan düşey yüklemeleri Çizelge 4.3.'da verilmiştir. Tez kapsamında ele alınan tüm binalar Çizelge 4.1.'te sıralanmıştır.

Test edilen binalar Antakya merkezdeki farklı bina tiplerini temsil etmektedir. Seçilen binalar, kat sayısı 2 ile 10, ruhsat tarihi 1970-1990 yılları arasında değişen betonarme çerçevesiz yapı sistemlerine sahip binalardır.

Çizelge 4.1. Modellenen binaların yapısal özellikleri

	NA	EA	SA	KOA	DA	VYL	SAV
Yapım tarihi	1970	1988	1971	1987	1973	1970	1990
Beton cinsi	C16	C14	C16	C16	C16	C16	C16
Donatı cinsi	S220	S220	S220	S220	S220	S220	S220
Bina yüksekliği (m)	12.0	15.00	22.0	20.5	21.9	14.9	6.0
Kat sayısı	Z+3	Z+4	Z+5	B+Z+	Z+6	B+Z+	Z+1
Kısa doğrultu uzunluğu (m)	11.8 0	11.4	12.0	12.65	16.5	10.50	11.7
Uzun doğrultu uzunluğu (m)	24.2	20.00	16.7	20.80	17.0	23.00	12.0
Kat alanı (m ²)	285. 6	228.0	200	263.1	280	241.5	140
Kat ağırlığı (ton)	125. 7	87.25	61.2	80.16	70.2	164.5 6	105
Kat Alanı/K&P Alanı ¹⁾	1.83	2.13	2.55	3.34	2.2	1.77	1.71
Düzgün çerçeve sayısı	X:2 Y:3	X:1 Y:2	X:2 Y:1	X:0 Y:1	X:1 Y:4	X:3 Y:2	X:4 Y:4
Simetriklik	Yok	Var	Yok	Yok	Var	Var	Var

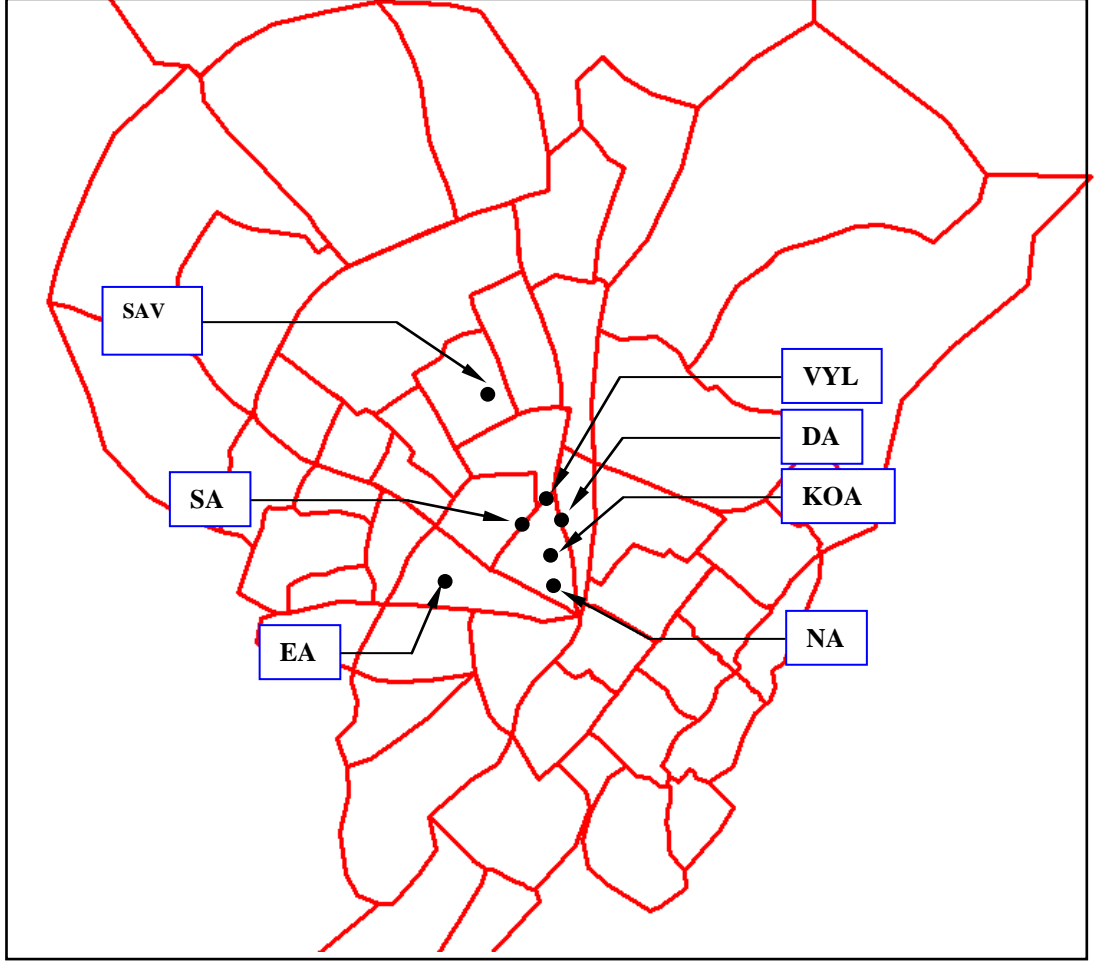
Çizelge 4.2. Modellenen binaların sismik özellikleri

Sismik Özellikler	Değeri
Deprem bölgesi	1. Bölge
Etkin yer ivmesi	0.40
Hesaplarda göz önüne alınacak deprem türü	Tasarım depremi
Deprem yükü dış merkezliği	0.05
Hareketli yük katılım katsayısı	0.30
Bina önem katsayısı	1.0
Taşıyıcı sistem davranış katsayısı	4
Yerel zemin sınıfı	S _D
C _A	0.2419
C _V	0.5632
Yapı davranış türü	C

Çizelge 4.3. Modellemelerde esas alınan düşey yüklemeler

Düşey Yüklemeler	Değeri
Betonarme	24.52 kN/m ³
Mermer	20 kN/m ³
Dolgu duvar	12.75 kN/m ³
Harç	27 kN/m ³
Hareketli	2 kN/m ²

Binaların Antakya bölgesindeki yerleşimleri Şekil 4.1.'de verildiği gibidir. Seçilen 7 binanın tamamı konut tipi betonarme çerçeve sisteme sahip yapılardan meydana gelmiştir. Toplam yapı yüksekliği bakımından 20 metreden kısa 4 bina, 20 – 25 metre arasında 3 bina vardır. 4 binanın projesinde en az bir doğrultuda simetriklik bulunmakta; diğer 3 binada bulunmaktadır. Binaların tamamı 1975 tarihli Türk Deprem Yönetmeliğine göre inşa edildiğinden modelleme sürecinde C16 beton sınıfı ve S220 donatı sınıfı kullanılmıştır. Bu özelliklere sahip binalar, Antakya bölgesindeki konut tipi betonarme yapıların genel karakteristiklerini temsil edebilmektedir. Etabs analiz programı ile yapılan hesaplamalar sonucunda binalardaki hâkim periyotlar genel olarak burulma tipinde mod şekli vermektedir. Bu durumun Statik İtme analizine yansıtılabilmesi amacıyla yatay deprem yüklemeleri, binaların kütle merkezine %5 dışmerkezlik oluşturacak şekilde etki ettirilmiştir.



Şekil 4.1. Modellenen binaların Antakya bölgesindeki yerleşimleri

4.2. Titreşim Üretici Cihazlarla Deneyler Yapılması

Yapılan detaylı sınıflandırmaya göre Antakya'daki betonarme bina envanteri dikkate alınarak seçilmiş olan 7 bina üzerinde zorlanmış titreşim deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bu binalara ait test verileri kullanılarak dinamik davranış parametreleri tespit edilmiştir. Bu davranış parametreleri kullanılarak gerçeğe daha yakın modeller elde etmek için bina modelleri kalibrelenmiştir. Bina modelleri genellikle Antakya Belediyesi, İmar İşleri Müdürlüğü'nün arşivinden temin edilmiş olan projeler kullanılarak oluşturulmuştur. Kalibre edilen modellere Bölüm 3'te detaylı olarak anlatılan statik itme analizi uygulanarak performans seviyeleri belirlenmiştir. Bu performans seviyeleri, Antakya'da gerçekleşebilecek olası depremler için senaryolar

üretmek, senaryolara göre meydana gelecek olan hasar dağılımlarına göre Master Planı hazırlanması çalışmalarına veri tabanı teşkil edecektir.

4.3. Test Sonucu Elde Edilen Dinamik Parametrelere Göre Binaların Model Kalibrasyonu

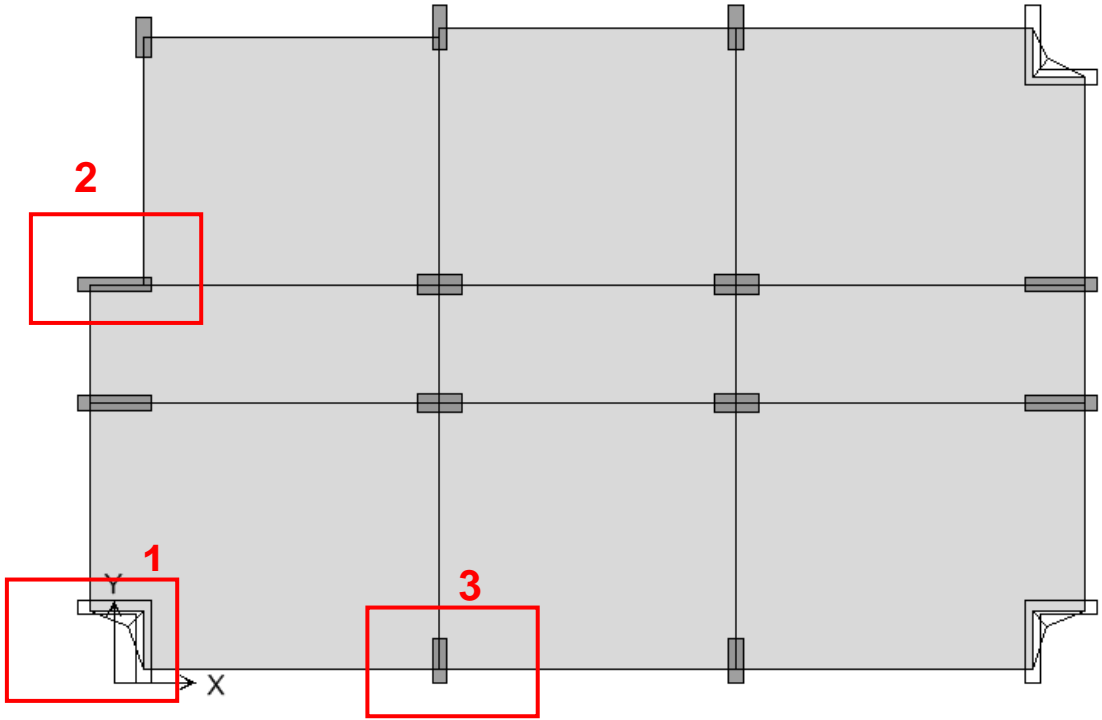
Performans analizi sonucu güvenilir sonuçlar elde edebilmek için analiz uygulanacak olan analitik modellerin mümkün olduğu kadar gerçeğe yakın davranış göstermesi gerekir. Bu amaçla modellerden elde edilen sonuçlar gerçek deney kayıtlarından bulunan sonuçlarla karşılaştırılarak gerekmesi durumunda analitik modeller iyileştirilmiştir. Modellerde genel olarak uygulanan belli başlı kalibrasyonlar aşağıda maddeler halinde sunulmuştur.

1. Duvarların bina davranışına ve dayanımına katkısını görmek için dolgu duvarlar eşdeğer basınç çubuğu olarak modellenmiştir. (Bkz.Bölüm 3.)

2. Test edilen binaların çoğunun çok eski olmasından dolayı bu tür binalarda genel olarak gözlemlenen mevcut beton dayanımının tasarım beton dayanımından düşük olması ve kesitlerin çatlaması nedeniyle TDY2007' e göre kolon ve kirişlere çatlamış kesit rijitliği atanmıştır.

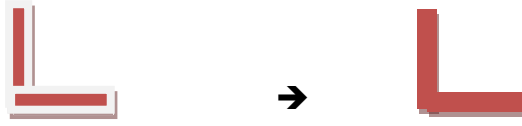
3. Yine binaların çok eski olmasından dolayı sahip oldukları beton sınıfına denk gelen Elastisite Modülü değerlerinde yaklaşık olarak %10'luk bir azaltma uygulanmıştır.

4. Çerçeve sistemde birbiriyle çakışmayan kolon kiriş akslarında (Şekil 4.3), L şeklindeki kolonlarda (Şekil 4.4) ve projeye göre aynı aks üzerinde ama uygulamada merkezi değiştirilmiş kolonlar (Şekil 4.5) Şekil 4.2.' de belirtildiği gibi farklı modelleme teknikleri kullanılmıştır:



Şekil 4.2. Kalibrasyon uygulanan durum örnekleri

1. Dikdörtgen köşe kolonlarının tek parça L tipi kesitlere çevrilmesi



Şekil 4.3. Köşe kolon kalibrasyonu

2. Kirişlerin farklı akslarda geniş kolonlara oturması durumundaki kolonların shell elemanlar ile modellenmesi



Şekil 4.4. Kiriş kalibrasyonu

3. Kiriş merkezleri ile merkezi çakışmayan kenar kolonlarının merkezlerinin kaydırılması



Şekil 4.5. Aynı aks üzerindeki kiriş kolon merkezleri

4.4. Çok Katlı Betonarme Binaların Dinamik Davranış Parametrelerinin Ve Sismik Performanslarının Belirlenmesi


Tezin bu bölümünde Antakya bölgesinde belirlenmiş olan 7 adet betonarme konut tipi yapının karakteristik özellikleri 3. bölümde açıklanan Zorlanmış Titreşim Deney verilerinden binalara ait hasar görülebilirliği Kapasite Spektrum Yöntemi'nden ve Performans Dayalı Tasarım ilkelerinden faydalanılarak tespit edilmeye çalışılmıştır. Burada, iki bina için elde edilen veriler detaylı olarak, diğer binalar için özet olarak sunulacaktır.

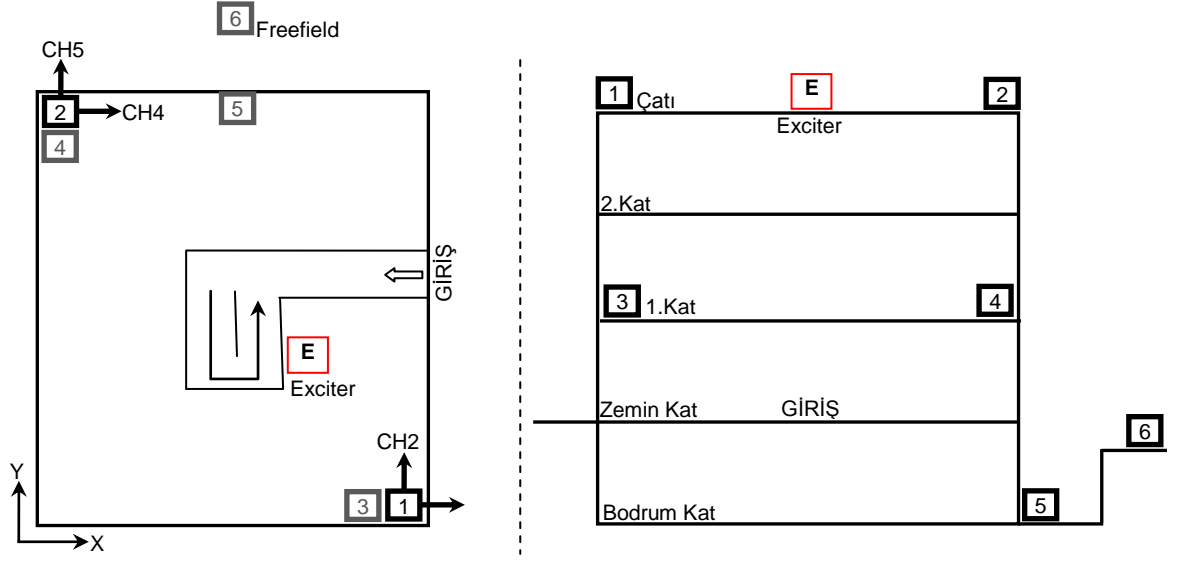
4.4.1. NA Binası

4.4.1.1. NA Binası Dinamik Davranış Parametreleri

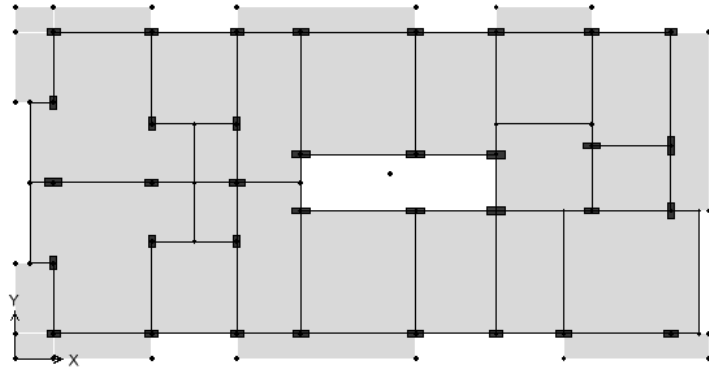
NA binası için genel bilgiler Çizelge 4.4.' te ve sensör yerleşim planı Şekil 3.41'de verilmektedir. Elde edilen titreşim periyotları Tablo 3.18'de ve hakim modları Şekil 3.42'de sunulmuştur. Planı Şekil 4.7.'de, 3 boyutlu Etabs modeli Şekil 4.8.'de verilmiştir.

Çizelge 4.4. NA binası için genel bilgiler

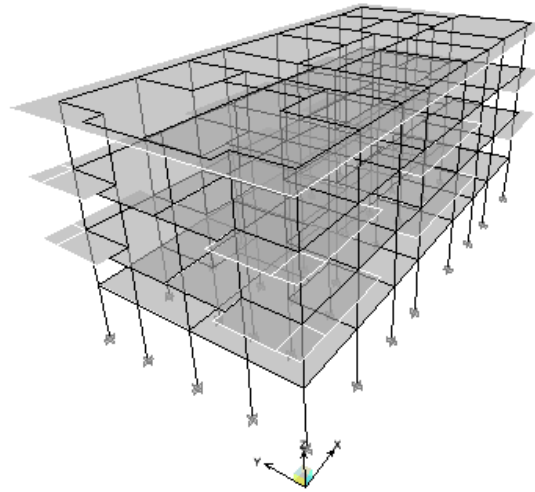
Bina Adı	Index	Tarih	Fotograf
NA Binası	NA	07.10.2009	
Koordinatlar	Enlem	Boylam	
	36°11'28.26"N	36° 9'16.95"E	
<p>Açıklamalar: Bu bina, Antakya'daki betonarme binalardan yaklaşık olarak 771 binayı temsil edebilecek karakteristik özelliklere sahiptir. Binanın her katında iki daire bulunmaktadır. X-yönünde simetrik değildir. Binaya ait sensör yerleştirme planı Şekil 4.6.'da verilmiştir.</p>			



Şekil 4.6.. NA binasının hızölçer sensörlerinin ve sarsma cihazının yerleştirilme planı



Şekil 4.7. NA binasının planı



Şekil 4.8. NA binasının 3 boyutlu Etabs modeli

Modelleme yapılırken kullanılan eleman kesit boyutları, projede verilmiş olan 25x70 ve 25x60 olarak alınmıştır. Binada 35 adet kolon ile taşınan düşey yükler için, kesitler katlarda değişmemesine rağmen donatı oranları üst katlara çıkıldıkça azaltılmıştır. Bu binanın modellenmesinde C16 betonu ve St-I donatı çeliği özellikleri kullanılmıştır. Tablo 3.18'den de görüldüğü gibi analitik model ile elde edilen hakim titreşim periyodu ile deneysel olarak elde edilen hakim titreşim periyodu arasında bir fark ortaya çıkmıştır. Analitik modelin hakim titreşim periyodu ve mod şeklinin deneysel olarak elde edilene yaklaştırılması, malzeme ve dolgu duvarların dikkate alınması ile ancak %15 oranında sağlanabilmiştir. Analitik model ile elde edilen nihai titreşim periyoduna sahip modele statik itme analizi uygulanarak perforans seviyesi belirlenmiştir.

Çizelge 4.5. NA binası için elde edilmiş olan hakim titreşim frekansları ve periyotlar

Bina Adı		X Yönü					Y Yönü					
NA Binası		Sensor 1 f, (Hz)	Sensor 2 f, (Hz)	Sensor 3 f, (Hz)	Ortalama f, (Hz)	Periyot t,(sn)	Sensor 1 f, (Hz)	Sensor 2 f, (Hz)	Sensor 3 f, (Hz)	Ortalama f, (Hz)	Periyot t,(sn)	
Zorlanmış Titreşim Deneyi	I. Mod	3.81	3.76	3.71	3.76	0.27	5.76	5.76	5.76	5.76	0.17	
	II. Mod	5.2	5.1	5.0	5.1	0.20	-	-	-	-	-	
Ortam Vibration	I. Mod	3.94	3.95	3.93	3.94	0.25	5.22	5.27	5.32	5.27	0.19	
	II. Mod	5.2	5.2	5.4	5.26	0.19	5.2	5.8	-	5.5	0.18	
Analitik analiz*	I. Mod						Y yönünde+Burulma Etkisi					0.46
	II. Mod						Y yönünde+Burulma Etkisi					0.43

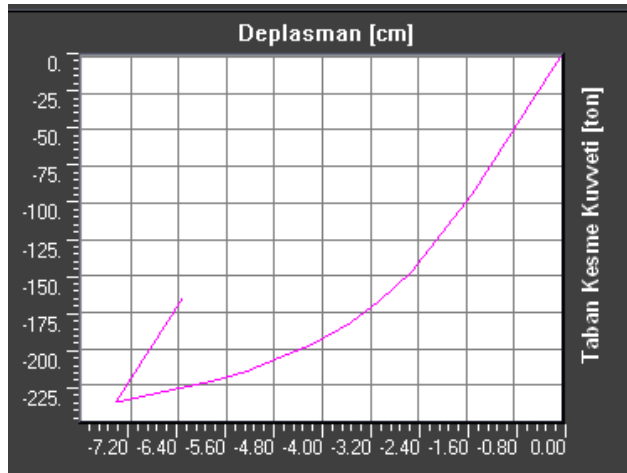
4.4.1.2. NA Binası Performans Analizi

Çizelge 4.6. NA binası performans nok. Değerleri

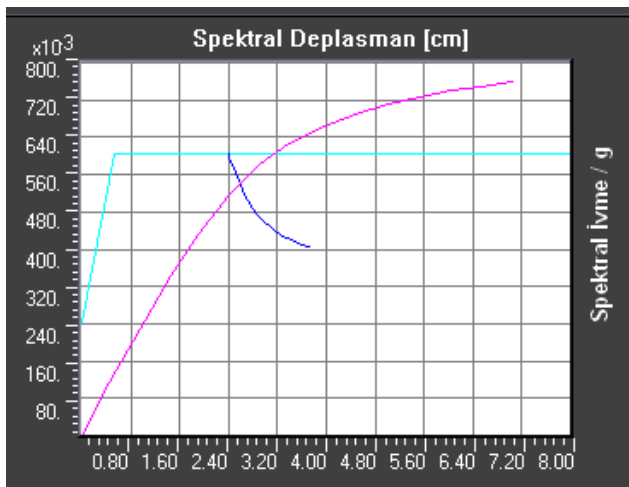
Komb.	Üçgen Dağılım			
	V (Ton)	d (cm)	S _a	S _d (cm)
EXPPUSH	156.291	1.741	0.604	1.409
EXNPUSH	163.257	1.766	0.494	1.456
EYPPUSH	153.930	2.640	0.549	2.669
EYNPUSH	154.861	2.714	0.543	2.579
09EXPPUSH	155.961	1.740	0.577	1.409
09EXNPUSH	159.087	1.730	0.588	1.425
09EYPPUSH	153.124	2.642	0.546	2.672
09EYNPUSH	154.471	2.722	0.540	2.589

Çizelge 4.6.' da NA binası modeline üçgen dağılım yüklemesi uygulanmış ve yapının performans noktası bulunmuştur. Üçgen dağılım için verilen $V-d$ ve $Sa-Sd$ değerleri, söz konusu yükleme kombinasyonunda elde edilen performans noktalarına karşılık gelmektedir. Burada V ton cinsinden taban kesme kuvvetini, d cm cinsinden deplasman değerini, Sa birimsiz spektral ivme katsayısını, Sd ise cm cinsinden spektral deplasman değerini göstermektedir.

Çizelge 4.6.' da görüldüğü gibi en kritik yükleme durumuna 09EYNPUSH kombinasyonunda ulaşılmıştır. NA binasının 09EYNPUSH yüklemesi için statik itme analizi ile elde edilen kapasite eğrisi Şekil 4.9.' da gösterilmiştir. Şekil 4.10.' da ise yapının kapasite ve talep spektrumları ADRS formatına dönüştürülmüş ve spektral ivme katsayısı-spektral deplasman grafiğinde gösterilmiştir.



Şekil.4.9. NA binası 09EYNPUSH yüklemesi için kapasite eğrisi



Şekil 4.10. NA binası 09EYNPUSH yüklemesi için kapasite ve talep spektrumu eğrileri

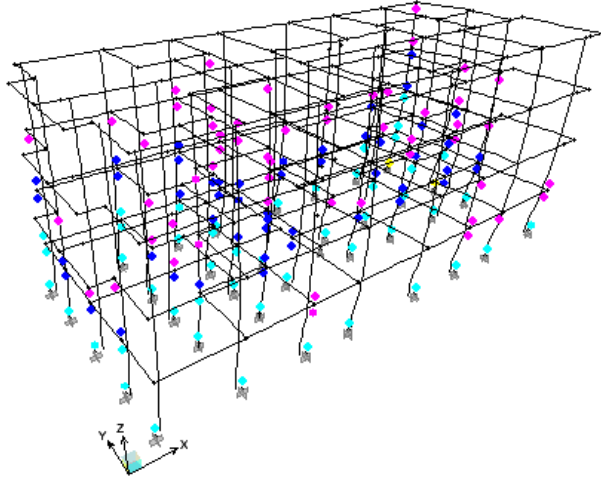
NA binasında 09EYNPUSH yüklemesi ile oluşan nihai plastik mafsalların yerleri Şekil 4.11.' de model üstünde, Şekil 4.12.'de kesit görünüşü olarak verilmiştir. Plastik mafsalların hasar seviyeleri temsil edildikleri renge karşılık gelen hasar aralığı ile de gösterilebilir. Bu aralıklar,

- A-B: Doğrusal elastik davranış bölgesi (gösterilmez)
- B-IO: Elastik ötesi-hemen kullanım seviyesi aralığı (minimum hasar, pembe)
- IO-LS: Hemen kullanım-can güvenliği seviyesi aralığı (belirgin hasar, mavi)
- LS-CP: Can güvenliği-göçmenin önlenmesi seviyesi aralığı (ileri hasar, turkuaz)
- CP-C: Göçmenin önlenmesi-göçme sınırı aralığı (göçme öncesi hasar, yeşil)
- C-D: Gerilmenin boşalıp kırılmaların başladığı aralık (sarı)
- D-E: Göçme bölgesi (turuncu)
- E: Tamamen göçme noktası (kırmızı)

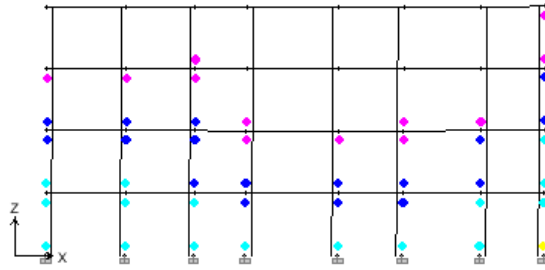
şeklinde ifade edilebilir.

Mafsalların dağılımına bakarak kolonların kirişlerden daha fazla mafsallaşmaya uğradığı görülebilir. Çizelge 2.de NA binasında 09EYNPUSH yüklemesine göre oluşan plastik mafsallar toplam 15 adımda gösterilmiştir. Binada sadece düşey yüklerin bulunduğu 0. adımda, söz konusu yüklerden dolayı meydana gelen 0.0143 cm'lik bir yatay deplasman görülmekteyken, göçme durumuna ulaşılan 15. adımda bina uzun doğrultuda 236.3374 ton yatay yük etkisinde 7.4518 cm yer değiştirme yapmıştır. Bu adımda binadaki toplam 782 adet plastik mafsallı potansiyeli taşıyan noktadan (kiriş ve kolon uç bölgeleri) 54' ü B-IO (minimum hasar), 49' u IO-LS (belirgin hasar), 49' u LS-CP (ileri hasar), 2' si C-D (göçme öncesi) aralığında olmak üzere 154 adedi plastik mafsallı davranışı göstermeye başlamıştır.

Çizelge 1.e göre binanın performans noktasının bulunduğu 154.471ton taban kesme kuvveti – 2.722cm çatı yer değiştirmesi değerine karşılık gelen plastik mafsallı miktarları, Etabs programının ara değerleri doğrudan vermemesinden dolayı tam olarak bulunamaz. Bu nedenle en yakın ve kritik değerlere sahip olan 167.3487 ton- 3.0467 cm durumu esas alınmıştır. Söz konusu durumda yapı genelinde 58 adet B-IO (minimum hasar), 14 adet IO-LS (belirgin hasar) özelliği gösteren plastik mafsallı vardır.



Şekil 4.11. NA binası 09EYNPUSH yüklemesi plastik mafsalları (3 Boyutlu görünüş)



Şekil 4.12. NA binası 09EYNPUSH yüklemesi plastik mafsalları (kesit görünüş)

Çizelge 4.7. NA binası 09EYNPUSH yüklemesindeki plastik mafsallaşma

Adım	Deplasman (cm)	Tab.Kes.Kuv. (Ton)	A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	>E	Toplam
0	-0.0143	0	782	0	0	0	0	0	0	0	782
1	-0.4943	-30.235	781	1	0	0	0	0	0	0	
2	-0.8939	-55.4038	776	6	0	0	0	0	0	0	
3	-1.5237	-94.523	768	14	0	0	0	0	0	0	
4	-2.0089	-121.3344	752	29	1	0	0	0	0	0	
5	-2.5312	-146.9258	727	50	5	0	0	0	0	0	
6	-3.0467	-167.3487	710	58	14	0	0	0	0	0	
7	-3.5317	-182.5344	691	56	35	0	0	0	0	0	
8	-4.1769	-196.6906	681	50	50	1	0	0	0	0	
9	-4.7238	-206.5881	672	47	59	4	0	0	0	0	
10	-5.2706	-214.9451	657	47	58	20	0	0	0	0	
11	-5.84	-221.9088	647	47	57	31	0	0	0	0	
12	-6.3698	-227.3767	637	49	52	44	0	0	0	0	
13	-6.895	-231.963	631	51	49	51	0	0	0	0	
14	-7.3754	-235.7766	628	54	49	49	0	2	0	0	
15	-7.4518	-236.3374	628	54	49	49	0	2	0	0	

Yapılan Statik İtme analizi sonucu NA binasında en kritik plastik mafsalların Zemin kattaki kiriş ve kolon uçlarında olduğu görülebilir (Şekil 4.12.). Yapının hasar görülebilirliğini bulmak amacıyla bu kat esas alınmıştır. Bu katta 60 adet kiriş ve 35 adet kolon bulunmaktadır. NA binasının performans noktası için Zemin katın taşıyıcı elemanları ile ilgili plastik mafsallık değerleri Çizelge 4.8.' de, kesme kuvvetiyle ilgili değerleri Çizelge 4.9.' da verildiği gibidir.

Çizelge 4.8. NA binası zemin kattaki taşıyıcı elemanların mafsallık özellikleri

	A-B	B-IO (minimum)	IO-LS (belirgin)	LS-CP (ileri)	Toplam
Kiriş	37	23	0	0	60
Kolon	3	19	13	0	35

Çizelge 4.9. NA binası zemin kat kesme kuvveti özellikleri

Kata gelen toplam kesme kuvveti (ton): A	167.35
İleri hasarlı kolonların taşıdığı kesme kuvveti (ton): B	0
İki ucunda da minimum hasar seviyesinin üstünde mafsallık bulunan kolonların taşıdığı kesme kuvveti (ton): C	68.64
% B / A (< %20 olmalı)	% 0.0
% C / A (< %30 olmalı)	% 41.02


Çizelge 4.8. ve Çizelge 4.9.' a göre her üç performans şartını da sağlamayan NA binası **Göçme Durumu** performans seviyesine sahip olduğu kabul edilebilir.

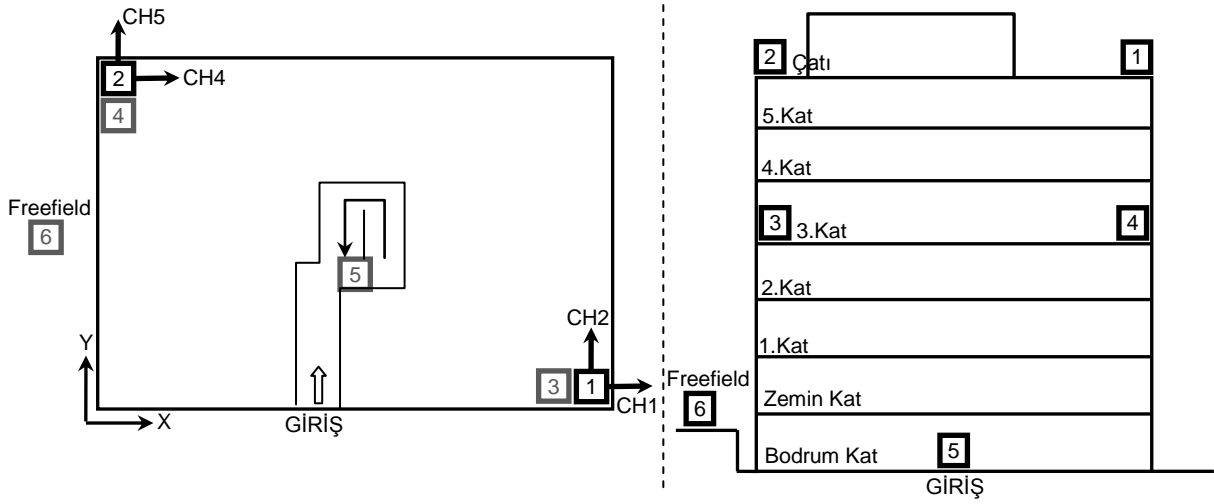
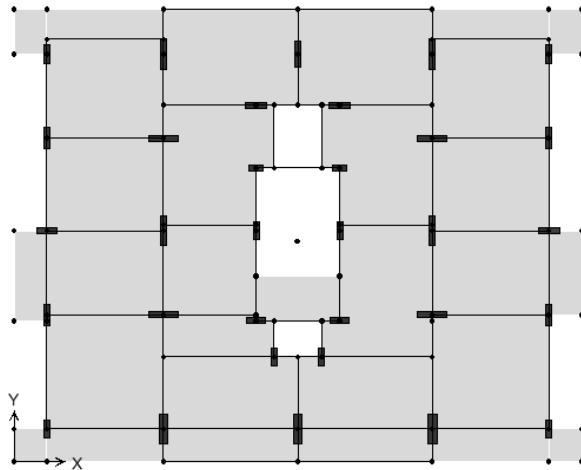
4.4.2. DA Binası

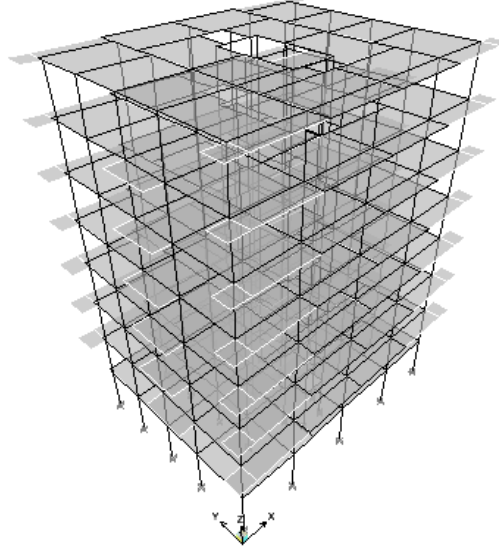
4.4.2.1. DA Binası Dinamik Davranış Parametreleri

DA binası için genel bilgiler Çizelge 4.10., sensör yerleşim planı Şekil 4.13.'te verilmektedir. Elde edilen titreşim periyotları Çizelge 4.11.'de sunulmuştur. Planı Şekil 4.14.'te, 3 boyutlu Etabs modeli Şekil 4.15.'te verilmiştir.

Çizelge 4.10. DA binası için genel bilgiler

Bina Adı	Index	Tarih	Fotograf
DA binası	DA	09.10.2009	
Koordinatlar	Enlem	Boylam	
	36°12'36.43"N	36° 9'35.17"E	
<p>Açıklamalar: Bu konut 1973 yılında inşaa edilmiş olup, sadece ortam titreşimi kaydı alınmıştır. Antakya'daki betonarme binalardan yaklaşık olarak 71 binayı temsil edebilecek karakteristik özelliklere sahiptir. Binanın her katında 2 daire bulunmaktadır. X eksenine göre simetrik değildir.</p>			

**Şekil 4.13.** DA için hızölçer sensörlerinin yerleştirilme planı**Şekil 4.14.** DA binasının planı



Şekil 4.15. DA binasının 3 boyutlu Etabs modeli

Modelleme yapılırken kullanılan kolon eleman kesit boyutları, projede verilmiş olan 20x70 ve 20x80 olarak alınmıştır. Bir kaç kolonun boyutu ise 25x100'dür. Binada hiç bir deprem perdesi veya betonarme asansör kovası bulunmamaktadır. Binada 17 adet kolon bulunmakta ve bu kolonların kesitleri ve donatı oranları katlarda değişmektedir. Bu binanın modellenmesinde C16 betonu ve St-I donatı çeliği özellikleri kullanılmıştır. Çizelge 4.11'den de görüldüğü gibi analitik model ile elde edilen hakim titreşim periyodu ile deneysel olarak elde edilen hakim titreşim periyodu arasında bir fark ortaya çıkmıştır. Analitik modelin hakim titreşim periyodu ve mod şeklinin deneysel olarak elde edilene yaklaştırılması, malzeme ve dolgu duvarların dikkate alınması ile ancak %13 oranında sağlanabilmektedir. Analitik model ile elde edilen nihai titreşim periyoduna sahip modele statik itme analizi uygulanmış ve perforans seviyesi belirlenmiştir.

Çizelge 4.11. DA binasından elde edilmiş olan hakim titreşim frekansları ve periyotlar

Bina Adı		X Yönü					Y Yönü				
DA Binası		Sensor 1 f _s (Hz)	Sensor 2 f _s (Hz)	Sensor 3 f _s (Hz)	Ortalama f _s (Hz)	Periyot t _s (sn)	Sensor 1 f _s (Hz)	Sensor 2 f _s (Hz)	Sensor 3 f _s (Hz)	Ortalama f _s (Hz)	Periyot t _s (sn)
Ortam Titreşimi	I. Mod	2.2	2.2	2.4	2.26	0.44	2.2	2.2	2.2	2.2	0.45
Analitik Analiz*	I. Mod	Burulma Etkisi+x yönünde				1.13					
	II. Mod						y yönünde				

4.4.2.2. DA Binası Performans Analizi

Çizelge 4.12.'de DA binası modeline üçgen dağılım yüklemesi uygulanmış ve yapının performans noktası bulunmuştur. Üçgen dağılım için verilen $V-d$ ve S_a-S_d değerleri, söz konusu yükleme kombinasyonunda elde edilen performans noktalarına karşılık gelmektedir. Burada V ton cinsinden taban kesme kuvvetini, d cm cinsinden deplasman değerini, S_a birimsiz spektral ivme katsayısını, S_d ise cm cinsinden spektral deplasman değerini göstermektedir.

Çizelge 4.12. DA binası. performans noktası Değerleri

Komb.	Üçgen Dağılım			
	V (Ton)	d (cm)	S_a	S_d (cm)
EXPPUSH	204.871	11.230	0.494	8.993
EXNPUSH	201.961	10.94	0.494	8.778
EYPPUSH	209.104	6.203	0.510	5.939
EYNPUSH	215.919	6.494	0.497	6.092
09EXPPUSH	203.453	11.293	0.49	9.072
09EXNPUSH	200.601	11.003	0.492	8.850
09EYPPUSH	206.845	6.228	0.506	5.990
09EYNPUSH	213.430	6.541	0.492	6.156

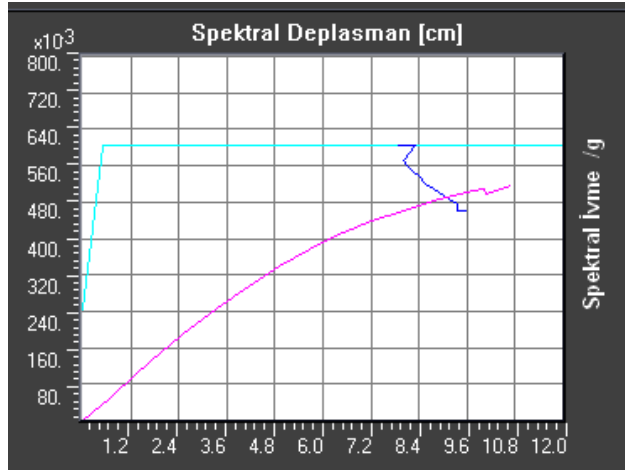
Çizelge 4.12.'de görüldüğü gibi en kritik yükleme durumuna 09EXPPUSH kombinasyonunda ulaşılmıştır. DA binası 09EXPPUSH yüklemesi için Statik İtme analizi ile elde edilen kapasite eğrisi Şekil 4.16.'da gösterilmiştir. Şekil 4.17.'de ise yapının kapasite ve talep spektrumları ADRS formatına dönüştürülmüş ve spektral ivme katsayısı-spektral deplasman grafiğinde gösterilmiştir.



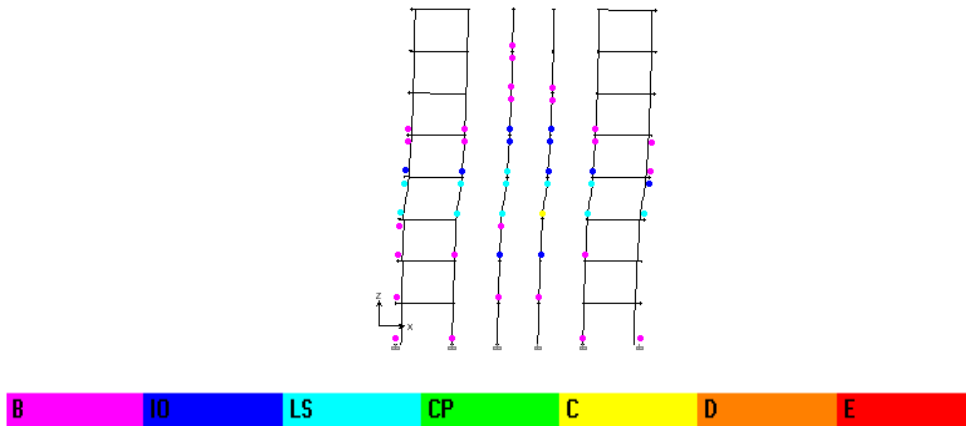
Şekil.4.16. DA binası 09EXPPUSH yüklemesi için kapasite eğrisi

DA binası 09EXPPUSH yüklemesi ile oluşan nihai plastik mafsalların yerleri Şekil 4.18.' de model üstünde, Şekil 4.19.'da kesit görünüşü olarak verilmiştir. Mafsalların dağılımına bakarak kolonların kirişlerden daha fazla mafsallaşmaya uğradığı görülebilir.

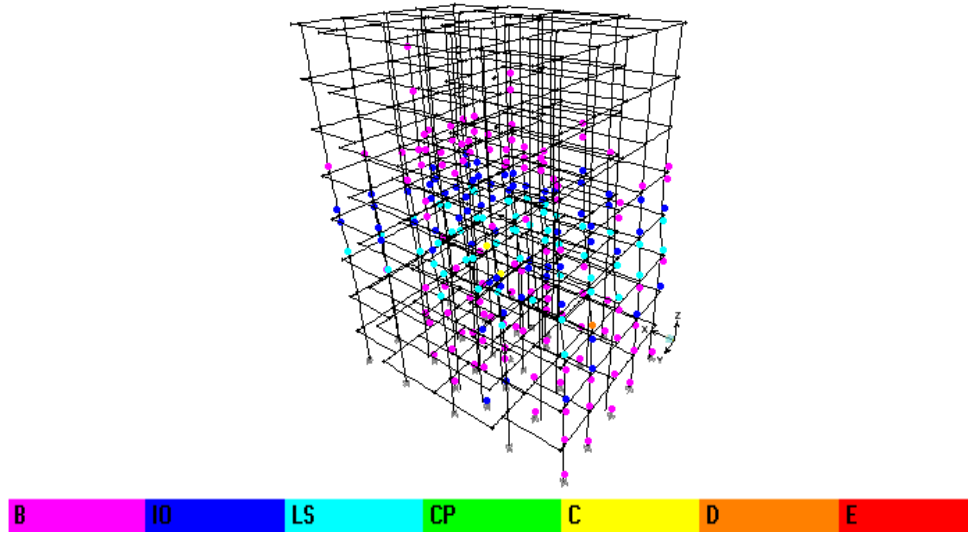
Çizelge 4.13.'te DA binası 09EXPPUSH yüklemesine göre oluşan plastik mafsallar toplam 16 adımda gösterilmiştir. Binada sadece düşey yüklerin bulunduğu 0. adımda, söz konusu yüklerden dolayı meydana gelen 0.0005 cm'lik bir yatay deplasman görülmektedirken, göçme durumuna ulaşılan 16. adımda bina uzun doğrultuda 144.74 ton yatay yük etkisinde 10.54 cm yer değiştirme yapmıştır.



Şekil 4.17. DA binası 09EXPPUSH yüklemesi için kapasite ve talep spektrumu eğrileri



Şekil 4.18. DA binası 09EXPPUSH yüklemesi plastik mafsalları (kesit görünüşü)



Şekil 4.19. DA binası 09EXPPUSH yüklemesi plastik mafsalları (3 Boyutlu görünüş)

Bu adımda binadaki toplam 1768 adet plastik mafsalları taşıyan noktadan (kiriş ve kolon uç bölgeleri) 119'u B-IO (minimum hasar), 68'i IO-LS (belirgin hasar), 52'si LS-CP (ileri hasar), 2'si C-D (göçme öncesi) ve 1'si D-E (göçme bölgesi) aralığında olmak üzere 242 adedi plastik mafsalları davranışını göstermeye başlamıştır.

Çizelge 4.13.'e göre binanın performans noktasının bulunduğu 203.45 ton taban kesme kuvveti – 11.29 cm çatı yer değiştirmesi değerine karşılık gelen plastik mafsalları miktarları, Etabs programının ara değerleri doğrudan vermemesinden dolayı tam olarak bulunamamaktadır. Bu nedenle en yakın ve kritik değerlere sahip olan 208.79 ton-12.09 cm durumu esas alınmıştır. Söz konusu durumda yapı genelinde 117 adet B-IO (minimum hasar), 67 adet IO-LS (belirgin hasar), 47 adet LS-CP (ileri hasar) ve 1 adet C-D (göçme öncesi) özelliği gösteren plastik mafsalları vardır

Yapılan statik itme analizi sonucu DA binasının en kritik plastik mafsalların 4. kattaki kiriş ve kolon uçlarında olduğu görülebilir. (Şekil 4.19) Yapının hasar görülebilirliğini bulmak amacıyla bu kat esas alınmıştır. Bu katta 79 adet kiriş ve 32 adet kolon bulunmaktadır. DA binasının performans noktası için 4. katın taşıyıcı elemanları ile ilgili plastik mafsalları değerleri Çizelge 4.14.'te, kesme kuvvetiyle ilgili değerleri Çizelge 4.15.'te verildiği gibidir.

Çizelge 4.13. DA binası 09EYNPUSH yüklemesindeki plastik mafsallaşma durumu

Adım	Deplasman (cm)	Tab.Kes.Kuv. (Ton)	Mafsallaşma Durumu								Toplam
			A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	>E	
0	0.0005	0	1768	0	0	0	0	0	0	0	1768
1	0.8765	21.95	1768	0	0	0	0	0	0	0	
2	1.7525	43.9	1766	2	0	0	0	0	0	0	
3	2.5887	64.8517	1751	17	0	0	0	0	0	0	
4	3.5087	86.5351	1738	30	0	0	0	0	0	0	
5	4.4773	107.6668	1718	50	0	0	0	0	0	0	
6	5.3698	126.1582	1691	76	1	0	0	0	0	0	
7	6.3108	143.7866	1662	98	8	0	0	0	0	0	
8	7.2575	159.6918	1627	117	24	0	0	0	0	0	
9	8.2555	174.0249	1605	113	50	0	0	0	0	0	
10	9.1387	184.5576	1585	118	61	4	0	0	0	0	
11	10.0557	193.7892	1563	122	62	21	0	0	0	0	
12	11.0813	202.0336	1540	119	65	44	0	0	0	0	
13	12.092	208.7988	1536	117	67	47	0	1	0	0	
14	12.3705	210.4935	1536	115	66	50	0	0	1	0	
15	12.3713	204.0074	1526	119	68	52	0	2	1	0	
16	13.1684	210.4885	1526	119	68	52	0	2	1	0	

Çizelge 4.14. DA binası 4. kattaki taşıyıcı elemanların mafsal özellikleri

	A-B	B-IO (minimum)	IO-LS (belirgin)	LS-CP (ileri)	Toplam
Kiriş	0	79	0	0	79
Kolon	0	0	0	32	32

Çizelge 4.15. DA binası 4. kat kesme kuvveti özellikleri

Kata gelen toplam kesme kuvveti (ton): A	174.0
İleri hasarlı kolonların taşıdığı kesme kuvveti (ton): B	174.0
İki ucunda da minimum hasar seviyesinin üstünde mafsal bulunan kolonların taşıdığı kesme kuvveti (ton): C	174.0
% B / A (< %20 olmalı)	% 100
% C / A (< %30 olmalı)	% 100


Çizelge 4.14. ve Çizelge 4.15.' e göre DA binası 4.katında ileri seviyede hasarlı kolonlar oluştuğu ve bu kata gelen kesme kuvvetlerinin tamamı hasarlı kolonlar tarafından taşındığı için **Göçme Durumu** performans seviyesine sahiptir.

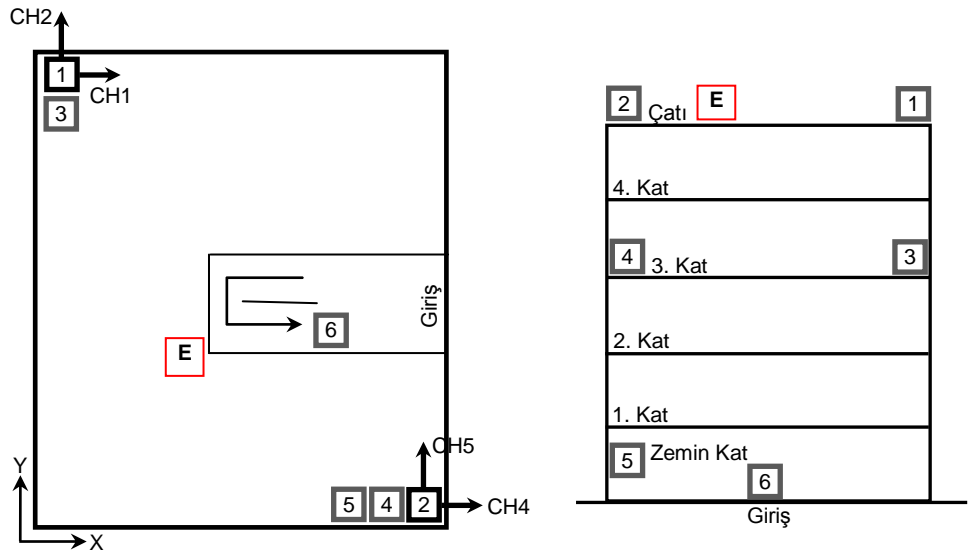
4.4.3. EA Binası

4.4.3.1. EA Binası Dinamik Davranış Parametreleri

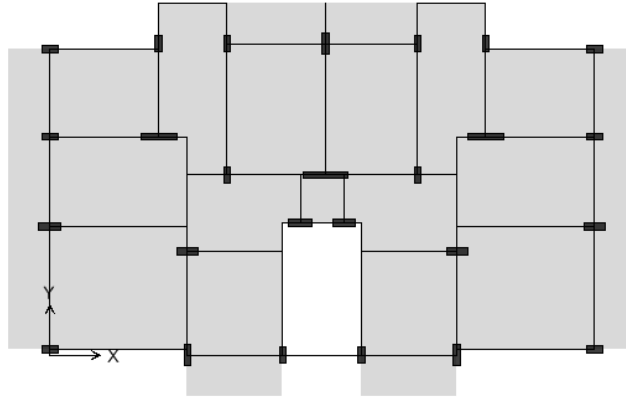
EA binası için genel bilgiler Çizelge 4.16., sensör yerleşim planı Şekil 4.20.'de verilmektedir. Elde edilen titreşim periyotları Çizelge 4.17.'de sunulmuştur. Planı Şekil 4.21.'de, 3 boyutlu Etabs modeli Şekil 4.22.'de verilmiştir.

Çizelge 4.16. EA binası için genel bilgiler

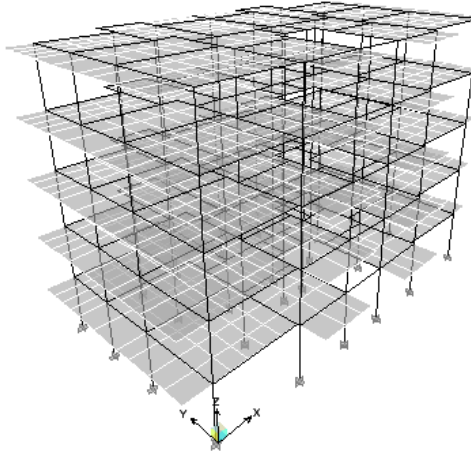
Bina Adı	Index	Tarih	Fotograf
EA Binası	EA	12.10.2009	
Koordinatlar	Enlem	Boylam	
	36°12'17.78"N	36° 8'39.67"E	
<p>Açıklamalar: Bu konut 1988 yılında inşa edilmiş olup, zorlanmış titreşime tabi tutulmuştur. Antakya'daki betonarme binalardan yaklaşık olarak 556 binayı temsil edebilecek karakteristik özelliklere sahiptir. Binanın her katında 2 daire bulunmaktadır. Y eksenine göre simetrik değildir..</p>			



Şekil 4.20. EA binası hızölçer sensörlerinin ve sarsma cihazının yerleştirilme planı



Şekil 4.21. EA binasının planı



Şekil 4.22. EA binasının 3 boyutlu Etabs modeli

Modelleme yapılırken kullanılan kolon eleman kesit boyutları, projede verilmiş olup genellikle kolonlar 25x60 ve 25x80 ebatlarındadır. Sadece bir kolon 20x160 ve iki kolon 20x130 ebatlarındadır. Binada bu elemanlar 1975 deprem yönetmeliğine göre deprem perdesi olarak nitelendirilmekte olduğundan bu elemanlar perde olarak modellenmiştir. Binada 23 adet kolon ve 3 adet perde bulunmakta ve bu elemanların kesitleri ve donatı oranları katlarda değişmektedir. Bu binanın ilk modellenmesinde C16 betonu ve St-I donatı çeliği özellikleri kullanılmıştır. Çizelge 4.17.'den görüldüğü gibi analitik model ile elde edilen hakim titreşim periyodu ile deneysel olarak elde edilen hakim titreşim periyodu arasında küçümsenmeyecek bir fark ortaya çıkmıştır. Analitik modelin hakim titreşim periyodu ve mod şeklinin deneysel olarak elde edilenlere yaklaştırılması, malzeme ve dolgu duvarların dikkate alınması ile gerçekleştirilmeye çalışılmış ve bu oran %30 oranında olmuştur. Analitik model ile elde edilen nihai

titreşim periyoduna sahip modele Statik itme analizi uygulanmış ve performans seviyesi belirlenmiştir.

Çizelge 4.17. EA binası için elde edilmiş olan hakim titreşim frekansları ve periyotlar

Bina Adı		X Yönü					Y Yönü				
EA Binası		Sensor 1 f, (Hz)	Sensor 2 f, (Hz)	Sensor 3 f, (Hz)	Ortalama f, (Hz)	Periyot t, (sn)	Sensor 1 f, (Hz)	Sensor 2 f, (Hz)	Sensor 3 f, (Hz)	Ortalama f, (Hz)	Periyot t, (sn)
Zorlanmış Titreşim	I. Mod	4.2	4.2	-	4.2	0.24	3.8	3.4	-	3.6	0.28
	II. Mod	-	-	-	-	-	4.8	4.6	-	4.7	0.21
Analitik analiz*	I. Mod	X yönünde+Burulma etkisi				0.58					
	II. Mod										0.53

4.4.3.2. EA Binası Performans Analizi

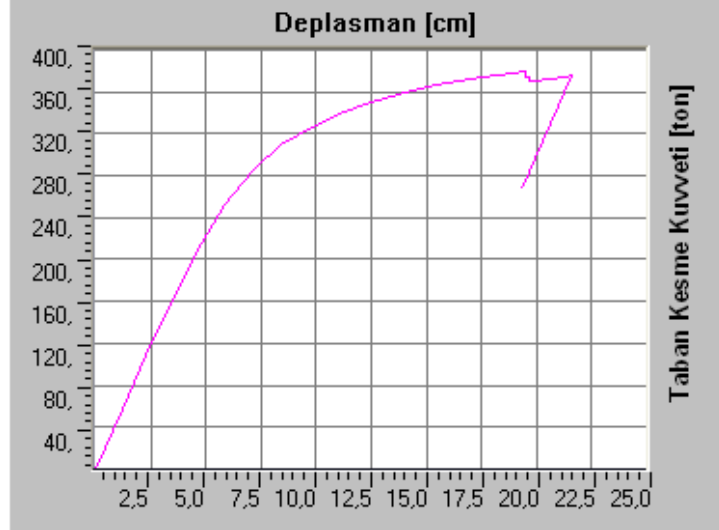
Çizelge 4.18. EA binasının performans noktası değerleri

Komb.	Üçgen Dağılım			
	V (kN)	d (cm)	S_a	S_d (cm)
EXPPUSH	3731.08	20.588	0.261	14.835
EXNPUSH	3766.35	18.76	0.281	13.851
EYPPUSH	-	-	-	-
EYNPUSH	-	-	-	-
09EXPPUSH	-	-	-	-
09EXNPUSH	3770.42	18.794	0.281	13.915
09EYPPUSH	-	-	-	-
09EYNPUSH	-	-	-	-

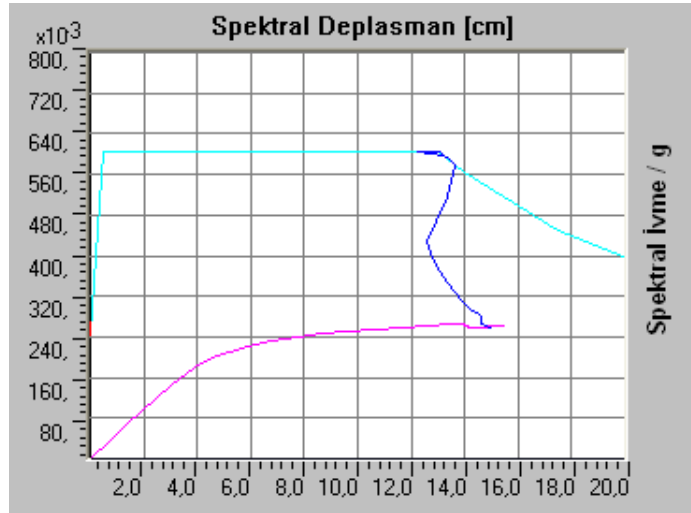
Çizelge 4.18.' de EA binası modeline üçgen dağılım yüklemesi uygulanmış ve yapının performans noktası bulunmuştur. Üçgen dağılım için verilen $V-d$ ve S_a-S_d değerleri, söz konusu yükleme kombinasyonunda elde edilen performans noktalarına karşılık gelmektedir. Burada V kN cinsinden taban kesme kuvvetini, d cm cinsinden deplasman değerini, S_a birimsiz spektral ivme katsayısını, S_d ise cm cinsinden spektral deplasman değerini göstermektedir.

Çizelge 4.18.'de görüldüğü gibi en kritik yükleme durumuna EXPPUSH kombinasyonunda ulaşılmıştır. EA binasının EXPPUSH yüklemesi için Statik İtme analizi ile elde edilen kapasite eğrisi Şekil 4.23'te gösterilmiştir. Şekil 4.24'te ise

yapının kapasite ve talep spektrumları ADRS formatına dönüştürülmüş ve spektral ivme katsayısı-spektral deplasman grafiğinde gösterilmiştir. Talep eğrisinin iteratif işlemler sonucu sönümlenmesi, bu grafikte talep eğrisinden başlayan ve kapasite spektrum eğrisini kesen mavi bir eğri ile temsil edilmiştir. Bu eğrinin kapasite spektrumu eğrisini kestiği nokta yapının performans noktasını vermektedir.

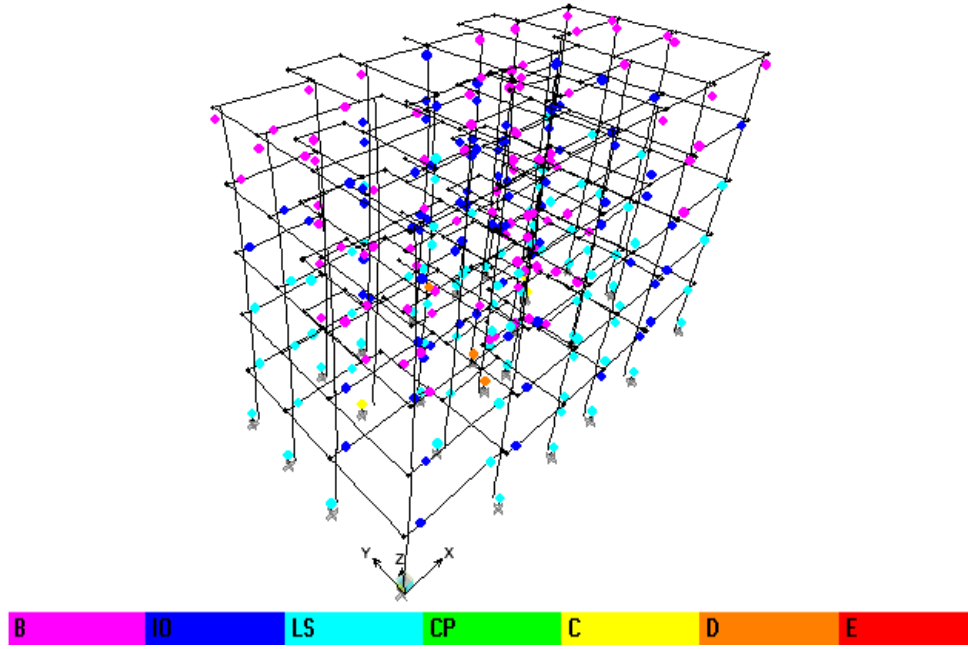


Şekil 4.23. EA binasının EXPPUSH yüklemesi için kapasite eğrisi



Şekil 4.24. EA binasının EXPPUSH yüklemesi için kapasite ve talep spektrumu eğrileri

EA binasında EXPPUSH yüklemesi ile oluşan nihai plastik mafsalların yerleri Şekil 4.25' te model üstünde verilmiştir.



Şekil 4.25. EA binasının EXPPUSH yüklemesi plastik mafsalları

Yapılan Statik İtme analizi sonucunda EA binasının en kritik plastik mafsalların zemin kattaki kiriş ve kolon uçlarında olduğu görülmektedir (Şekil 4.25). Yapının hasar görülebilirliğini bulmak amacıyla bu kat esas alınmıştır. Bu katta 58 adet kiriş ve 26 adet kolon bulunmaktadır. EA binasının performans noktası için zemin katın taşıyıcı elemanları ile ilgili plastik mafsallık değerleri Çizelge 4.19.'da, kesme kuvvetiyle ilgili değerleri Çizelge 4.20.'de verildiği gibidir.

Çizelge 4.19. EA binasının zemin kattaki taşıyıcı elemanların mafsallık özellikleri

	A-B	B-IO (minimum)	IO-LS (belirgin)	LS-CP (ileri)	Toplam
Kiriş	43	15	0	3(%5.1)	58
Kolon	0	0	2	21	26

Çizelge 4.20. EA binasının zemin kat kesme kuvveti özellikleri

Kata gelen toplam kesme kuvveti (kN): A	3755
İleri hasarlı kolonların taşıdığı kesme kuvveti (kN): B	3195.3
İki ucunda da minimum hasar seviyesinin üstünde mafsallık bulunan kolonların taşıdığı kesme kuvveti (kN): C	1313.6
% B / A (< %20 olmalı)	% 85
% C / A (< %30 olmalı)	% 35


Çizelge 4.19. ve Çizelge 4.20.' ye göre EA binası Göçme Durumu performans seviyesine sahiptir.

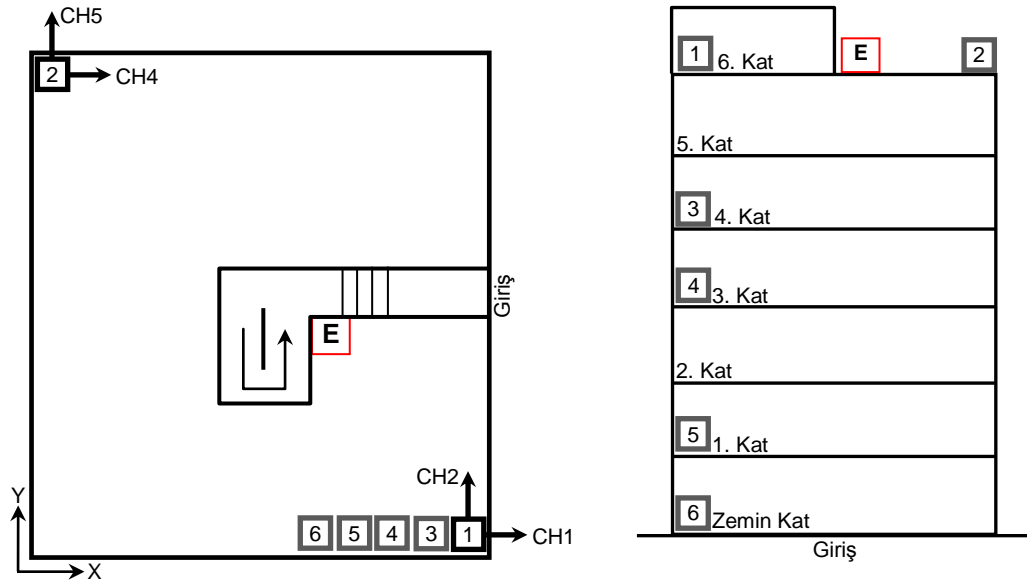
4.4.4. SA Binası

4.4.4.1. SA Binası Dinamik Davranış Parametreleri

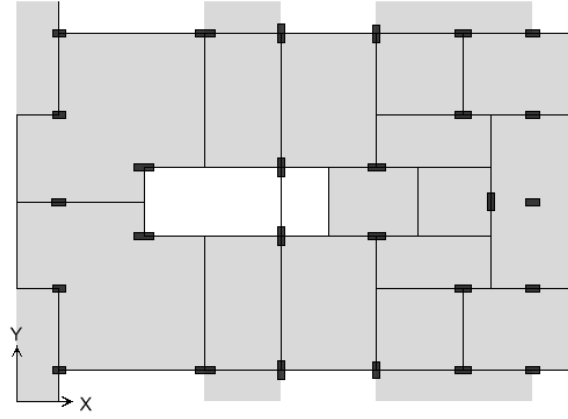
SA binası için genel bilgiler Çizelge 4.21., sensör yerleşim planı Şekil 4.26'da verilmektedir. Elde edilen titreşim periyotları Çizelge 4.22.' de sunulmuştur. Planı Şekil 4.27.'de, 3 boyutlu Etabs modeli Şekil 4.28.'de verilmiştir.

Çizelge 4.21. SA Binası için genel bilgiler

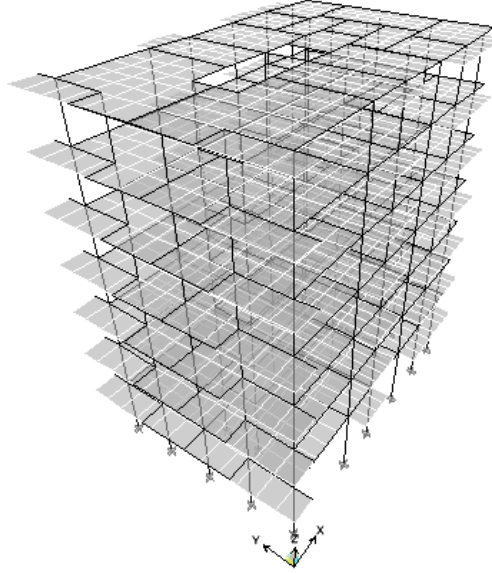
Bina Adı	Index	Tarih	Fotograf
SA Binası	SA	13.10.2009	
Koordinatlar	Enlem	Boylam	
	36°12'58.44"N	36° 9'38.54"E	
Açıklamalar: Bu konut 1971 yılında inşaa edilmiş olup, zorlanmış titreşim deneyine tabi tutulmuştur. Antakya'daki betonarme binalardan yaklaşık olarak 72 binayı temsil edebilecek karakteristik özelliklere sahiptir. Bina'nın her katında 2 daire bulunmaktadır. X eksenine göre simetrik değildir.			



Şekil 4.26. SA binası için hızölçer sensörlerinin ve sarsma cihazının yerleştirilme planı



Şekil 4.27. SA binasının planı



Şekil 4.28. SA binasının 3 boyutlu Etabs modeli

Modelleme yapılırken kullanılan kolon eleman kesit boyutları, projede verilmiş olan boyutlar olarak alınmış, her katta kolon kesit alanları ve donatı oranları değiştiği için burada sunulmamıştır. Binada deprem perdesi veya betonarme asansör kovası bulunmamaktadır. Binada 25 adet kolon bulunmakta olup bu kolonlar birbirine kiriş elemanları ile düzgün çerçeve oluşturacak şekilde bağlanmadığı için binada ciddi bir yatay rijitlik ve stabilite problemi görülmektedir. Bu binanın modellenmesinde C16 betonu ve St-I donatı çeliği özellikleri kullanılmıştır. Tablo 3.38'den de görüldüğü gibi analitik model ile elde edilen hakim titreşim periyodu ile deneysel olarak elde edilen hakim titreşim periyodu arasında bir fark ortaya çıkmıştır. Analitik modelin hakim titreşim periyodu ve mod şeklinin deneysel olarak elde edilen davranış parametrelerine

yaklaştırılması, malzeme ve dolgu duvarların dikkate alınması ile ancak %23 oranında gerçekleştirilebilmiştir. Analitik model ile elde edilen nihai titreşim periyoduna sahip modele statik itme analizi uygulanmış ve performans seviyesi belirlenmiştir.

Çizelge 4.22.SA binası için elde edilmiş olan hakim titreşim frekansları ve periyotlar

Bina Adı		X Yönü					Y Yönü					
SA Binası		Sensor 1 f_s (Hz)	Sensor 2 f_s (Hz)	Sensor 3 f_s (Hz)	Ortalama f_s (Hz)	Periyot t_s (sn)	Sensor 1 f_s (Hz)	Sensor 2 f_s (Hz)	Sensor 3 f_s (Hz)	Ortalama f_s (Hz)	Periyot t_s (sn)	
Zorlanmış Titreşim	I. Mod	2.4	3.0	-	2.7	0.37	3.0	2.8	-	2.9	0.34	
	II. Mod	7.6	9.0	-	8.3	0.12	7.6	7.6	-	7.6	0.13	
Analitik analiz*	I. Mod						Y yönünde+Burulma Etkisi					1.29
	II. Mod						Y yönünde+Burulma Etkisi					1.22

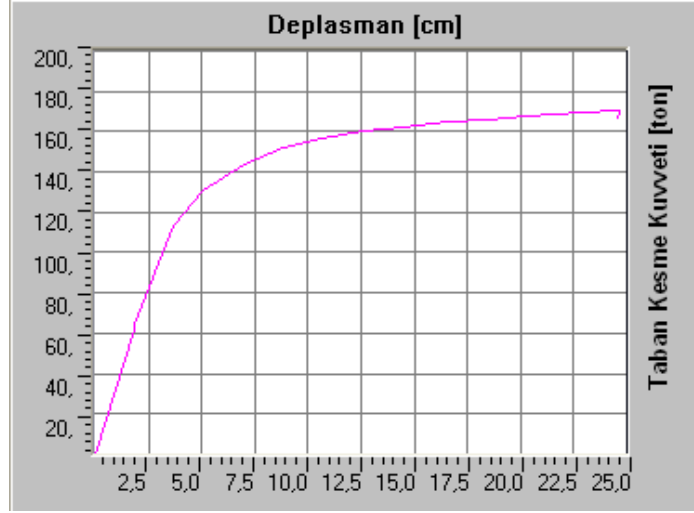
4.4.4.2. SA Binası Performans Analizi

Çizelge 4.23.SA binasının performans noktası değerleri

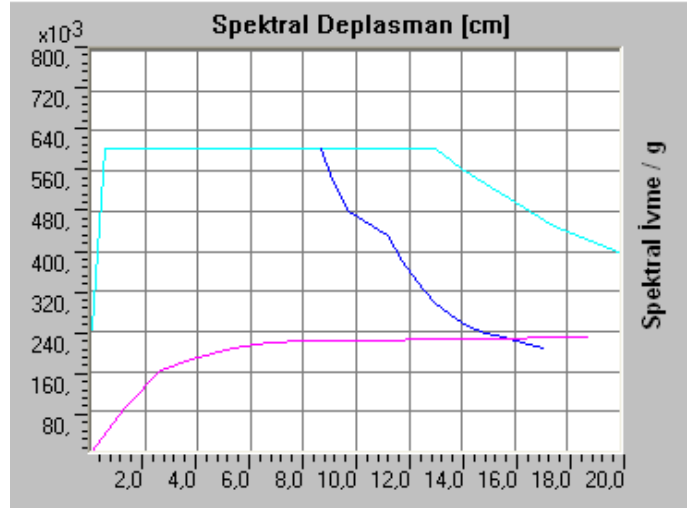
Komb.	Üçgen Dağılım			
	V (kN)	d (cm)	S_a	S_d (cm)
EXPPUSH	-	-	-	-
EXNPUSH	-	-	-	-
EYPPUSH	-	-	-	-
EYNPUSH	-	-	-	-
09EXPPUSH	1460.31	22.404	0.191	19.254
09EXNPUSH	1678.79	20.466	0.226	15.635
09EYPPUSH	1708.49	19.896	0.232	15.254

Çizelge 4.23.'te SA binası modeline üçgen dağılım yüklemesi uygulanmış ve yapının performans noktası bulunmuştur. Üçgen dağılım için verilen $V-d$ ve S_a-S_d değerleri, söz konusu yükleme kombinasyonunda elde edilen performans noktalarına karşılık gelmektedir. Burada V kN cinsinden taban kesme kuvvetini, d cm cinsinden deplasman değerini, S_a birimsiz spektral ivme katsayısını, S_d ise cm cinsinden spektral deplasman değerini göstermektedir.

Çizelge 4.23.'ten görüldüğü gibi en kritik yükleme durumuna 09EXPPUSH kombinasyonunda ulaşılmıştır. SA binasının 09EXPPUSH yüklemesi için statik itme analizi ile elde edilen kapasite eğrisi Şekil 4.29'de gösterilmiştir. Şekil 4.30'da ise yapının kapasite ve talep spektrumları ADRS formatına dönüştürülmüş ve spektral ivme katsayısı-spektral deplasman grafiğinde gösterilmiştir.



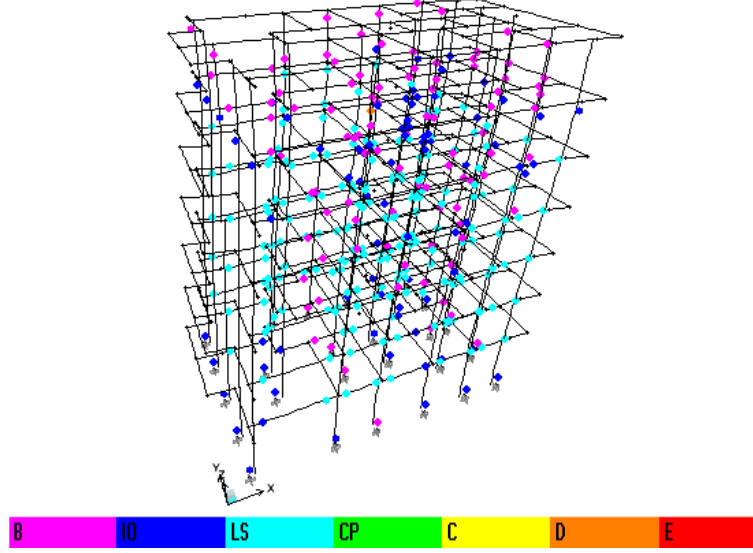
Şekil 4.29. SA binası 09EXPPUSH yüklemesi için kapasite eğrisi



Şekil 4.30. SA binası 09EXPPUSH yüklemesi için kapasite ve talep spektrumu eğrileri

SA binasında 09EXPPUSH yüklemesi ile oluşan nihai plastik mafsalların yerleri Şekil 4.31' de model üstünde verilmiştir. Çizelge 4.23.'e göre binanın performans noktasının bulunduğu 1460.31 kN taban kesme kuvveti – 22.404 cm çatı yer değiştirmesi değerine karşılık gelen plastik mafsal miktarları, Etabs programının ara değerleri doğrudan vermemesinden dolayı en yakın ve kritik değerlere sahip olan

1661.73 kN- 22.9136 cm durumu esas alınmıştır. Söz konusu durumda yapı genelinde 966 adet B-IO (minimum hasar), 80 adet IO-LS (belirgin hasar), 183 adet LS-CP (ileri hasar) özelliği gösteren plastik mafsalları bulunmaktadır.



Şekil 4.31. SA binasının 09EXPPUSH yüklemesi plastik mafsalları

Yapılan statik itme analizi sonucu SA binasının en kritik plastik mafsallarının 4. kattaki kiriş ve kolon uçlarında olduğu Şekil 4.31’de görülebilmektedir. Yapının hasar görebilirliğini bulmak amacıyla bu kat esas alınmıştır. Bu katta 66 adet kiriş ve 27 adet kolon bulunmaktadır. SA binasının performans noktası için 4. katın taşıyıcı elemanları ile ilgili plastik mafsalları değerleri Çizelge 4.24.’te, kesme kuvvetiyle ilgili değerleri ise Çizelge 4.25.’te verildiği gibidir.

Çizelge 4.24.. SA binası 4. kattaki taşıyıcı elemanların mafsalları özellikleri

	A-B	B-IO (minimum)	IO-LS (belirgin)	LS-CP (ileri)	Toplam
Kiriş	29	2	0	35(%53.03)	66
Kolon	21	4	2	0	27

Çizelge 4.25. SA binası 4. kat kesme kuvveti özellikleri

Kata gelen toplam kesme kuvveti (kN): A	1337.3
İleri hasarlı kolonların taşıdığı kesme kuvveti (kN): B	0
İki ucunda da minimum hasar seviyesinin üstünde mafsalları bulunan kolonların taşıdığı kesme kuvveti (kN): C	267.4
% B / A (< %20 olmalı)	% 20.1
% C / A (< %30 olmalı)	% 0.0


Çizelge 4.24 ve Çizelge 4.25' e göre SA binası *Göçme Öncesi* performans seviyesine sahiptir.

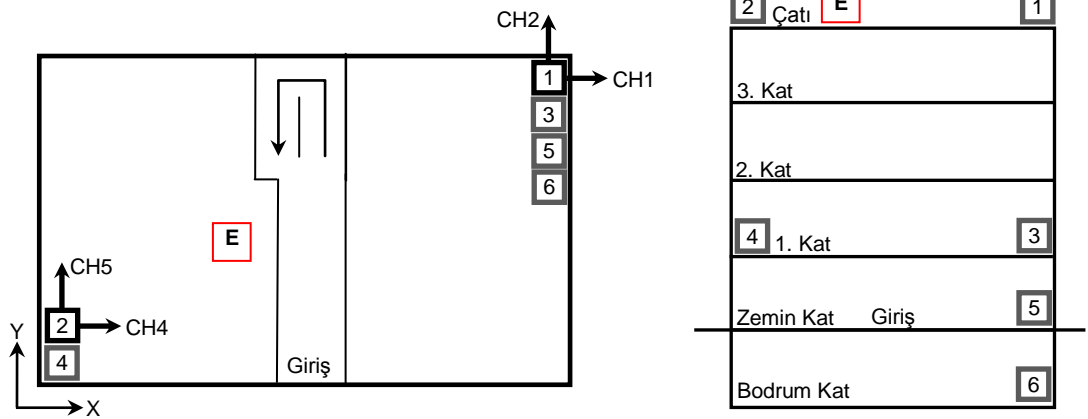
4.4.5. VYL Binası

4.4.5.1. VYL Binası Dinamik Davranış Parametreleri

Binada sensörlerin yerleştirilme planı Şekil 4.32'de verilmektedir. Binanın konumu, genel görünüşü, teste tabi tutulduğu gün ve genel bilgiler Çizelge 4.26.'da, elde edilen titreşim periyotları Çizelge 4.27.'de sunulmuştur. Planı Şekil 4.33.'te, 3 boyutlu Etabs modeli Şekil 4.34.'te verilmiştir.

Çizelge 4.26. VYL Binası için genel bilgiler

Bina Adı	Index	Tarih	Fotograf
VYL Binası	VYL	12.10.2009	
Koordinatlar	Enlem	Boylam	
	36°12'36.79"N	36° 9'25.11"E	
Açıklamalar: Bu lojman (konut) 1970'li yıllarda inşaa edilmiş olup, zorlanmış titreşim deneyine tabi tutulmuştur. Antakya'daki betonarme binalardan yaklaşık olarak 133 binayı temsil edebilecek karakteristik özelliklere sahiptir. Binanın her katında 2 daire bulunmaktadır. X eksenine göre simetrik değildir.			



Şekil 4.32. VYL Binası hızölçer sensörlerinin ve sarsma cihazının yerleştirilme planı

Çizelge 4.27. VYL binası için elde edilmiş olan hakim titreşim frekansları ve periyotlar

Bina Adı		X Yönü					Y Yönü				
Vali Lojmanları Apartmanı		Sensor 1 f, (Hz)	Sensor 2 f, (Hz)	Sensor 3 f, (Hz)	Ortalama f, (Hz)	Periyot t, (sn)	Sensor 1 f, (Hz)	Sensor 2 f, (Hz)	Sensor 3 f, (Hz)	Ortalama f, (Hz)	Periyot t, (sn)
Zorlanmış Titreşim	I. Mod	3.4	3.4	-	3.4	0.29	3.4	3.4	-	3.4	0.29
Analitik analiz	I. Mod	0.72									
	II. Mod						y-önünde+burulma etkisi 0.57				

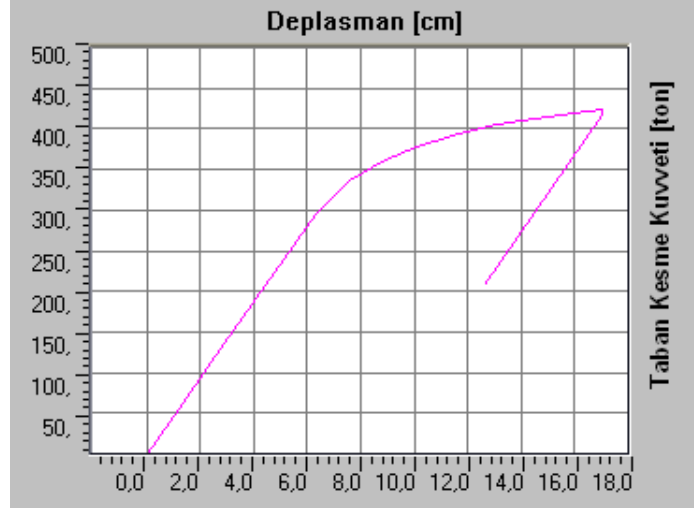
4.4.5.2. VYL Binası Performans Analizi

Çizelge 4.28. VYL binasının performans noktası değerleri

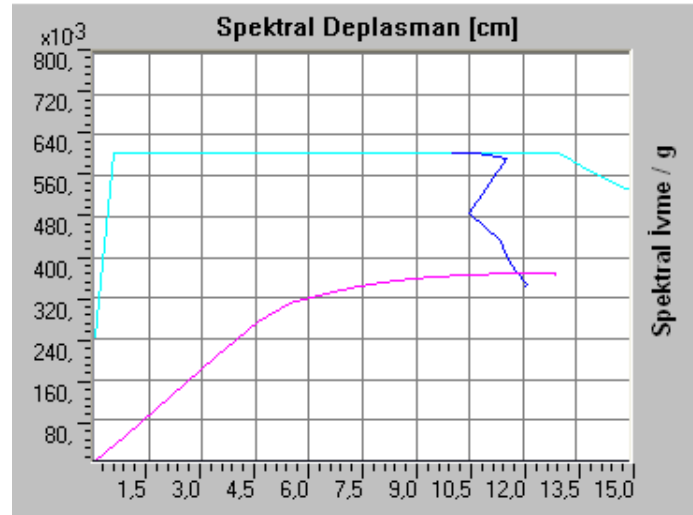
Komb.	Üçgen Dağılım			
	V (kN)	d (cm)	S_a	S_d (cm)
EXPPUSH	4180.71	15.749	0.368	11.853
EXNPUSH	4152.25	15.234	0.379	11.621
EYPPUSH	4875.12	5.318	0.435	6.058
EYNPUSH	5004.77	5.204	0.441	6.247
09EXPPUSH	4175.10	15.746	0.366	11.848
09EXNPUSH	4149.48	15.250	0.377	11.633
09EYPPUSH	-	-	-	-
EXPPUSH	4995.31	5.242	0.439	2.262

Çizelge 4.28.'de VYL binası modeline üçgen dağılım yüklemesi uygulanmış ve yapının performans noktası bulunmuştur. Üçgen dağılım için verilen $V-d$ ve S_a-S_d değerleri, söz konusu yükleme kombinasyonunda elde edilen performans noktalarına karşılık gelmektedir.

Çizelge 4.28.'den görüldüğü gibi en kritik yükleme durumuna EXPPUSH kombinasyonunda ulaşılmıştır. VYL binasının EXPPUSH yüklemesi için statik itme analizi ile elde edilen kapasite eğrisi Şekil 4.35'de verilmiştir. Şekil 4.36'da ise yapının kapasite ve talep spektrumları ADRS formatına dönüştürülmüş ve spektral ivme katsayısı-spektral deplasman grafiğinde gösterilmiştir.



Şekil 4.35. VYL binası EXPPUSH yüklemesi için kapasite eğrisi

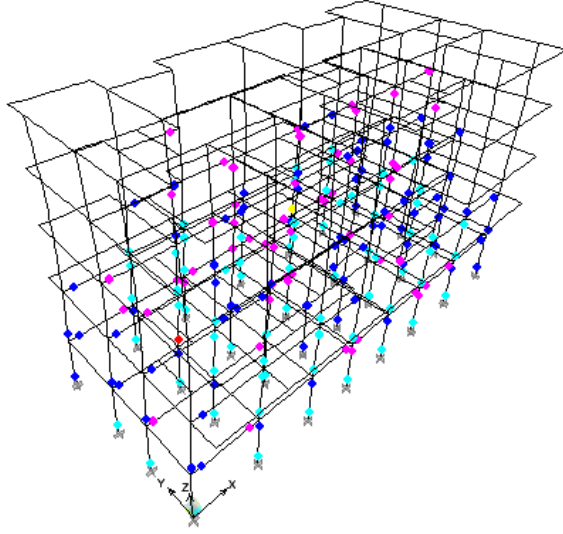


Şekil 4.36. VYL binası EXPPUSH yüklemesi için kapasite ve talep spektrumu

VYL binasında EXPPUSH yüklemesi ile oluşan nihai plastik mafsalların yerleri Şekil 3.70’te model üstünde verilmiştir. Mafsalların dağılımına bakıldığında, kolonların kirişlerden daha fazla mafsallaştığı görülmektedir.

Çizelge 4.28.’e göre binanın performans noktasının bulunduğu 4180.71 kN taban kesme kuvveti – 15.749 cm çatı yer değiştirmesi değerine karşılık gelen plastik mafsallar miktarları, Etabs programının ara değerleri doğrudan vermemesinden dolayı en yakın ve kritik değerlere sahip olan 4235.45 kN- 17.0491 cm durumu esas alınmıştır. Söz konusu durumda yapı genelinde 55 adet B-IO (minimum hasar), 79 adet IO-LS (belirgin hasar), 70’ i LS-CP (ileri hasar) , 1’ i C-D (göçme öncesi), 1’ i D-E (göçme durumu) özelliği gösteren plastik mafsallar bulunmaktadır.

Yapılan statik itme analizi sonucu VYL binasında en kritik plastik mafsalların 2. kattaki kiriş ve kolon uçlarında olduğu görülebilir (Şekil 4.37.) Yapının hasar görülebilirliğini bulmak amacıyla bu kat esas alınmıştır. Bu katta 60 adet kiriş ve 35 adet kolon bulunmaktadır. VYL binasının performans noktası için zemin katın taşıyıcı elemanları ile ilgili plastik mafsal değerleri Çizelge 4.29.' da, kesme kuvvetiyle ilgili değerleri Çizelge 4.30.'da verildiği gibidir.



Şekil 4.37. VYL binası EXPPUSH yüklemesi plastik mafsalları

Çizelge 4.29. VYL binası Zemin kattaki taşıyıcı elemanların mafsal özellikleri

	A-B	B-IO (minimum)	IO-LS (belirgin)	LS-CP (ileri)	Toplam
Kiriş	67	5	10	5	87
Kolon	0	0	12	16	30

Çizelge 4.30. VYL binası Zemin kat kesme kuvveti özellikleri

Kata gelen toplam kesme kuvveti (kN): A	3953.3
İleri hasarlı kolonların taşıdığı kesme kuvveti (kN): B	2358.2
İki ucunda da minimum hasar seviyesinin üstünde mafsal bulunan kolonların taşıdığı kesme kuvveti (kN): C	1581.4
% B / A (< %20 olmalı)	% 59.65
% C / A (< %30 olmalı)	% 40.0


Çizelge 4.29. ve Çizelge 4.30.' a göre her iki performans şartını da sağlamayan VYL binası **Göçme Durumu** performans seviyesine sahip olduğu kabul edilmiştir.

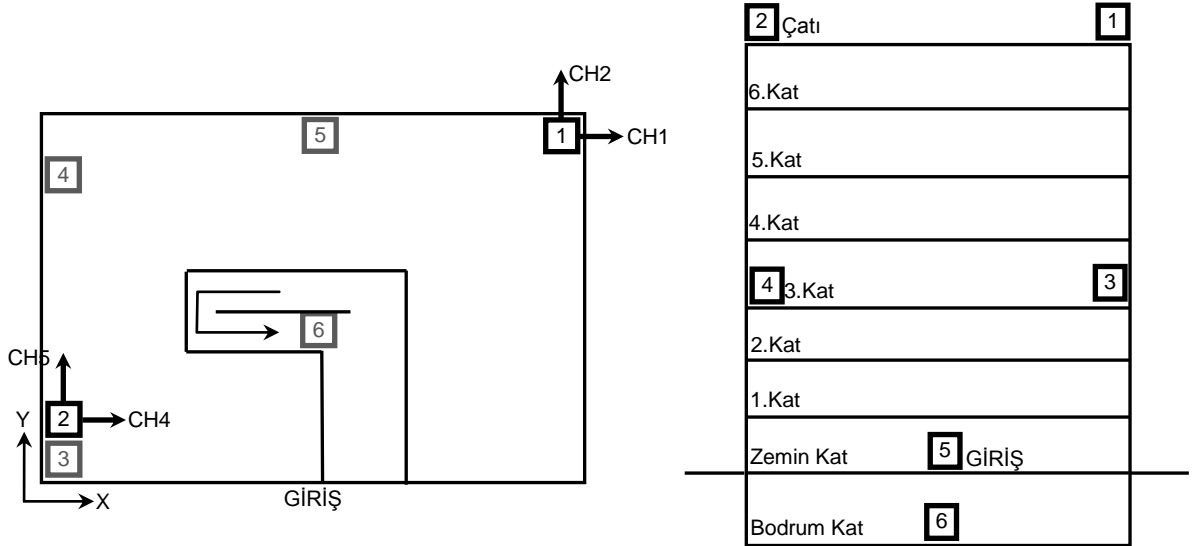
4.4.6. KOA Binası

4.4.6.1. KOA Binası Dinamik Davranış Parametreleri

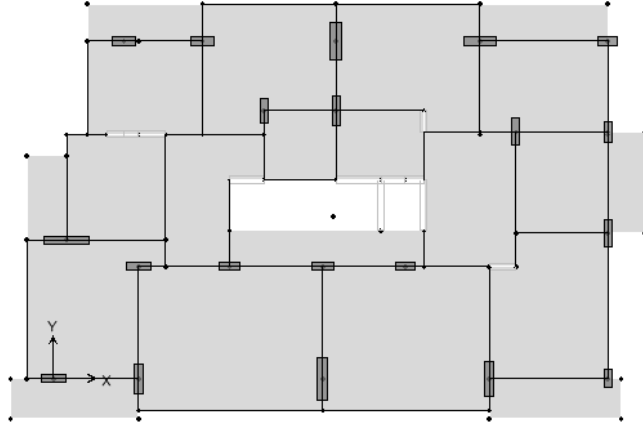
Binada sensörlerin yerleştirilme planı Şekil 4.38’de verilmektedir. Binanın konumu, genel görünüşü, teste tabi tutulduğu gün ve genel bilgiler Çizelge 4.31.’de, elde edilen titreşim periyotları Çizelge 4.32.’ de sunulmuştur. Planı Şekil 4.39.’da, 3 boyutlu Etabs modeli Şekil 4.40.’ta verilmiştir.

Çizelge 4.31. KOA binası için genel bilgiler

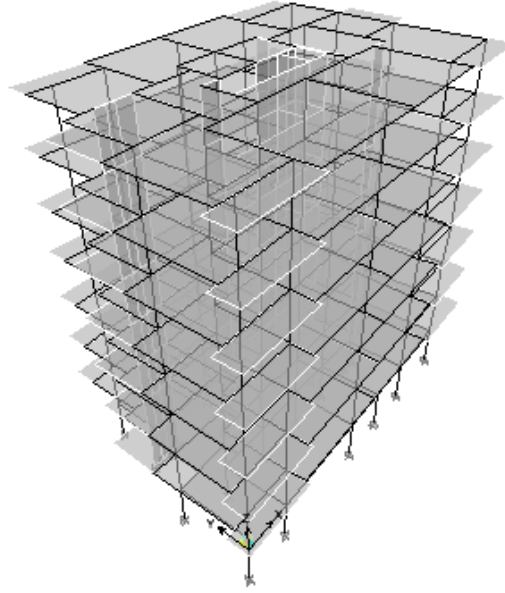
Bina Adı	Index	Tarih	Fotograf
KOA Binası	KOA	13.10.2009	
Koordinatlar	Enlem	Boylam	
	36°12'38.02"N	36° 9'35.55"E	
<p>Açıklamalar: Bu konut 1987 yılında inşaa edilmiş olup, sadece ortam titreşimi kaydı alınmıştır. Antakya’daki betonarme binalardan yaklaşık olarak 71 binayı temsil edebilecek karakteristik özelliklere sahiptir. Binanın her katında 2 daire bulunmaktadır. X eksenine göre simetrik değildir.</p>			



Şekil 4.38. KOA binası için hızölçer sensörlerinin yerleştirilme planı



Şekil 4.39. KOA binasının planı



Şekil 4.40. KOA binasının 3 boyutlu Etabs modeli

Bu binanın ilk modellenmesinde C16 betonu ve St-I donatı çeliği özellikleri kullanılmıştır. Tablo 3.48'den de görüldüğü gibi analitik model ile elde edilen hakim titreşim periyodu ile deneysel olarak elde edilen hakim titreşim periyodu arasında bir fark çıkmıştır. Ancak, bu fark dolgu duvar etkisini diyagonal çarpaz eleman olarak dikkate alındığında, aradaki fark %25 oranında azaltılmıştır. Analitik model ile elde edilen nihai titreşim periyoduna sahip modele statik itme analizi uygulanmış ve performans seviyesi belirlenmiştir.

Çizelge 4.32. KOA binası için elde edilmiş olan hakim titreşim frekansları ve periyotlar

Bina Adı		X Yönü					Y Yönü					
Kimyonoğlu Apartmanı		Sensor 1 f, (Hz)	Sensor 2 f, (Hz)	Sensor 3 f, (Hz)	Ortalama f, (Hz)	Periyot t, (sn)	Sensor 1 f, (Hz)	Sensor 2 f, (Hz)	Sensor 3 f, (Hz)	Ortalama f, (Hz)	Periyot t, (sn)	
Ortam Titreşim	I. Mod	2.8	2.4	2.8	2.66	0.38	2.2	2.2	2.8	2.4	0.42	
	II. Mod	-	-	-	-	-	2.8	2.8	-	2.8	0.36	
Analitik analiz*	I. Mod						Y yönünde+Burulma Etkisi					0.67
	II. Mod											0.50

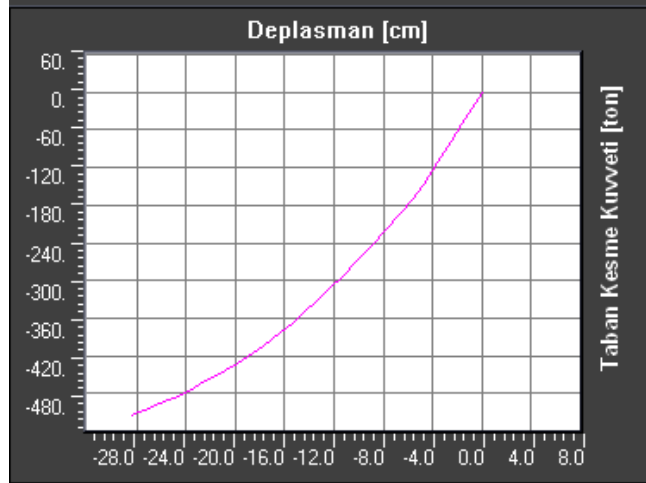
4.4.6.2. KOA Binası Performans Analizi

Çizelge 4.33. KOA binasının performans noktası değerleri

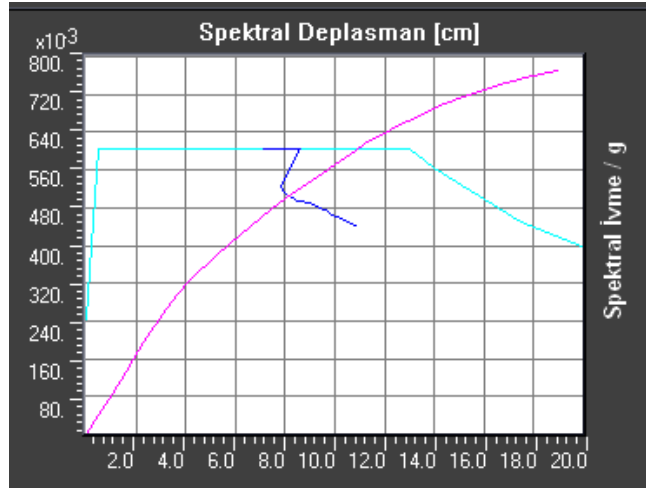
Komb.	Üçgen Dağılım			
	V (Ton)	d (cm)	S_a	S_d (cm)
EXPPUSH	310.861	10.422	0.518	7.427
EXNPUSH	339.332	10.608	0.530	7.268
EYPPUSH	256.559	11.521	0.507	7.716
EYNPUSH	314.030	12.311	0.507	8.111
09EXPPUSH	311.141	10.514	0.518	7.489
09EXNPUSH	339.507	10.668	0.528	7.298
09EYPPUSH	297.448	11.591	0.508	7.770
09EYNPUSH	313.493	12.338	0.505	8.132

Çizelge 4.33.'te KOA Binası modeline üçgen dağılım yüklemesi uygulanmış ve yapının performans noktası bulunmuştur. Üçgen dağılım için verilen $V-d$ ve S_a-S_d değerleri, söz konusu yükleme kombinasyonunda elde edilen performans noktalarına karşılık gelmektedir.

Çizelge 4.33.'te görüldüğü gibi en kritik yükleme durumuna 09EYNPUSH kombinasyonunda ulaşılmıştır. KOA Binasının 09EYNPUSH yüklemesi için Statik İtme analizi ile elde edilen kapasite eğrisi Şekil 4.41.'de gösterilmiştir. Şekil 4.42.'de ise yapının kapasite ve talep spektrumları ADRS formatına dönüştürülmüş ve spektral ivme katsayısı-spektral deplasman grafiğinde gösterilmiştir.

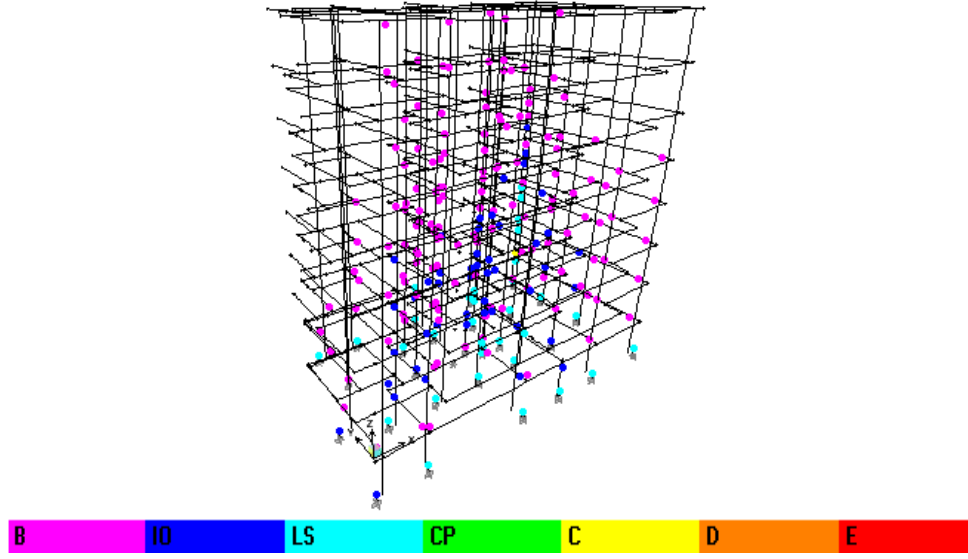


Şekil.4.41. KOA binası 09EYNPUSH yüklemesi için kapasite eğrisi



Şekil 4.42. KOA binası 09EYNPUSH yüklemesi için kapasite ve talep spektrumu eğrileri

KOA binasında 09EYNPUSH yüklemesi ile oluşan nihai plastik mafsalların yerleri Şekil 4.43.'te model üstünde gösterilmiştir. Çizelge 4.33.'e göre binanın performans noktasının bulunduğu 313.493 ton taban kesme kuvveti – 12.338 cm çatı yer değiştirmesi değerine karşılık gelen plastik mafsal miktarları, Etabs programının ara değerleri doğrudan vermemesinden dolayı tam olarak bulunamaz. Bu nedenle en yakın ve kritik değerlere sahip olan 333.0584 ton- 13.4119 cm durumu esas alınmıştır. Söz konusu durumda yapı genelinde 41 adet B-IO (minimum hasar), 26 adet IO-LS (belirgin hasar) özelliği gösteren plastik mafsal vardır.



Şekil 4.43. KOA binası 09EYNPUSH yüklemesi plastik mafsalları (3 Boyutlu görünüş)

Yapılan statik itme analizi sonucu KOA binasının en kritik plastik mafsalların zemin kattaki kiriş ve kolon uçlarında olduğu görülebilmektedir (Şekil 4.43). Yapının hasar görebilirliğini bulmak amacıyla bu kat esas alınmıştır. Bu katta 71 adet kiriş ve 29 adet kolon bulunmaktadır. KOA binasının performans noktası için zemin katın taşıyıcı elemanları ile ilgili plastik mafsallık değerleri Çizelge 4.34.'te, kesme kuvvetiyle ilgili değerleri Çizelge 4.35.'te verildiği gibidir.

Çizelge 4.34. KOA binası zemin kattaki taşıyıcı elemanların mafsallık özellikleri

	A-B	B-IO (minimum)	IO-LS (belirgin)	LS-CP (ileri)	Toplam
Kiriş	70	1	0	0(%0.0)	71
Kolon	0	120	9	0	29

Çizelge 4.35. KOA binası zemin kat kesme kuvveti özellikleri

Kata gelen toplam kesme kuvveti (ton): A	333.06
İleri hasarlı kolonların taşıdığı kesme kuvveti (ton): B	0.0
İki ucunda da minimum hasar seviyesinin üstünde mafsallık bulunan kolonların taşıdığı kesme kuvveti (ton): C	92.75
% B / A (< %20 olmalı)	% 0.0
% C / A (< %30 olmalı)	% 27.84


Çizelge 4.34. ve Çizelge 4.35.'e göre KOA binası zemin kata gelen kesme kuvveti %30'dan az olduğu ve ileri hasarlı kirişler olmadığı için **Göçme Öncesi** durumu performans seviyesine sahiptir.

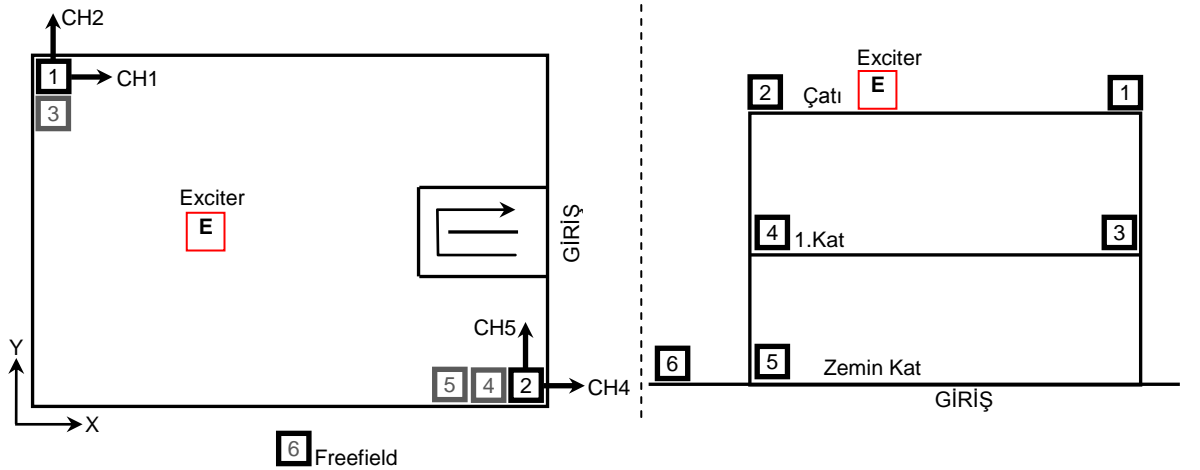
4.4.7. SAV Binası

4.4.7.1. SAV Binası Dinamik Davranış Parametreleri

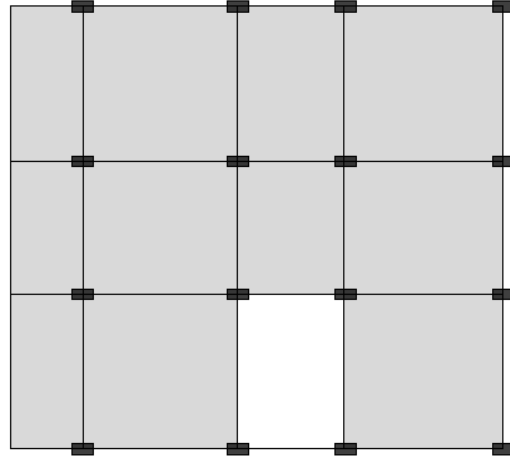
Binada sensörlerin yerleştirilme planı Şekil 4.44'te verilmektedir. Binanın konumu, genel görünüşü, teste tabi tutulduğu gün ve genel bilgiler Çizelge 4.36.'da, elde edilmiş olan hakim titreşim frekansları ve periyotları Çizelge 4.37.'de verilmektedir.

Çizelge 4.36. SAV Binası için genel bilgiler

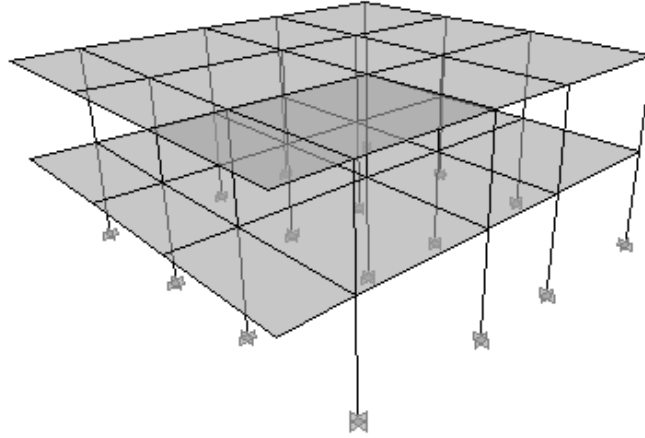
Bina Adı	Index	Tarih	Fotograf
Selim-Alev Binası	SAV	10.10.2009	
Koordinatlar	Enlem	Boylam	
	36°13'20.07"N	36° 9'36.21"E	
<p>Açıklamalar: Bu bina, Antakya yapı stoğundan yaklaşık olarak 3745 adet binayı temsil etmektedir. Binada düzgün bir çerçeve sistemi oluşturulmuştur. Binanın her katında bir daire bulunmaktadır. Bu bina mühendislik hizmeti görmemiştir.</p>			



Şekil 4.44. SAV binası için hız ölçer sensörlerinin yerleştirilme planı



Şekil 4.45. SAV binasının planı



Şekil 4.46. SAV binasının 3 boyutlu Etabs modeli

Bina mühendislik hizmeti görmediği için betonarme projesi bulunmamaktadır. Modelleme yapılırken röleve ile elde edilen eleman kesit özellikleri kullanılmıştır. Bu binanın ilk modellenmesinde C16 betonu ve St-I donatı çeliği özellikleri kullanılmıştır. Tablo 3.50'den de görüldüğü gibi analitik model ile elde edilen hakim titreşim periyodu ile deneysel olarak elde edilen hakim titreşim periyodu arasında fark ortaya çıkmıştır. Analitik modelin hakim titreşim periyodu ve mod şeklinin deneysel olarak elde edilenlere yaklaştırılması, malzeme ve dolgu duvarların dikkate alınması ile %15 oranında sağlanabilmektedir. Analitik model ile elde edilen nihai titreşim periyoduna sahip modele statik itme analizi uygulanmış ve performans seviyesi belirlenmiştir.

Çizelge 4.37. SAV binası için elde edilmiş olan hakim titreşim frekansları ve periyotlar

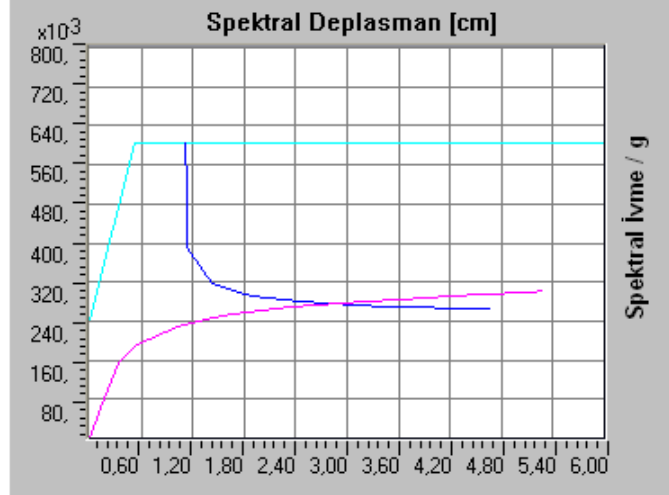
Bina Adı		X Yönü					Y Yönü				
SAV Binası		Sensor 1 f_s (Hz)	Sensor 2 f_s (Hz)	Sensor 3 f_s (Hz)	Ortalama f_s (Hz)	Periyot t_s (sn)	Sensor 1 f_s (Hz)	Sensor 2 f_s (Hz)	Sensor 3 f_s (Hz)	Ortalama f_s (Hz)	Periyot t_s (sn)
Zorlanmış Titreşim	I. Mod	12	11	-	11.5	0.09	9	10		9.5	0.11
Analitik analiz	I. Mod						0.36				
	II. Mod	0.24									

4.4.7.2. SAV Binası Performans Analizi

Çizelge 4.38. SAV binası için 09EXNPUSH yüklemesindeki plastik mafsallaşma durumu

Komb.	Üçgen Dağılım			
	V (kN)	d (cm)	S_a	S_d (cm)
EXPPUSH	1662.83	1.773	0.29	1.81
EXNPUSH	1534.7	2.68	0.279	2.39
EYPPUSH	-	-	-	-
EYNPUSH	-	-	-	-
09EXPPUSH	1588.84	2.178	0.272	2.168
09EXNPUSH	1488.46	3.12	0.274	2.775
09EYPPUSH	-	-	-	-
09EYNPUSH	-	-	-	-

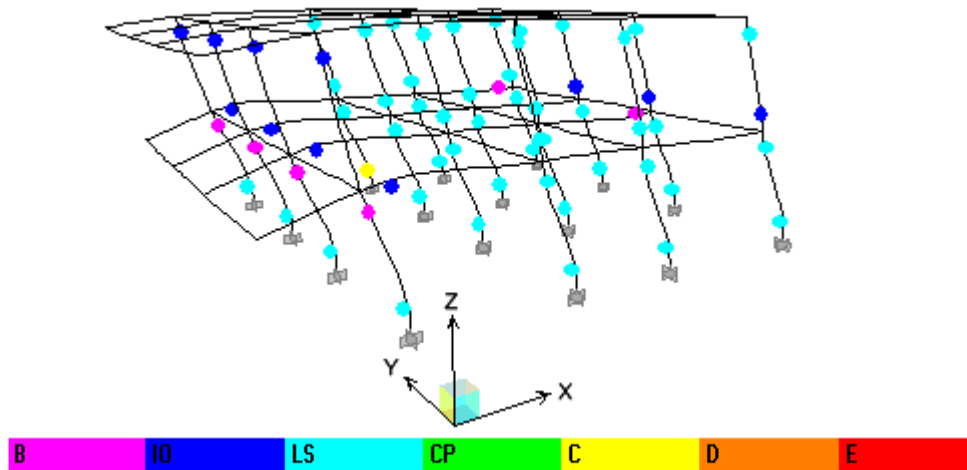
Çizelge 4.38.'de SAV binası modeline üçgen dağılım yüklemesi uygulanmış ve yapının performans noktası bulunmuştur. Şekil 4.47'de yapının kapasite ve talep spektrumları ADRS formatına dönüştürülmüş ve spektral ivme katsayısı-spektral deplasman grafiğinde gösterilmiştir.



Şekil 4.47. SAV binasının 09EXNPUSH yüklemesi için kapasite ve talep spektrumu eğrileri

SAV binasında 09EXNPUSH yüklemesi ile oluşan nihai plastik mafsalların yerleri Şekil 4.48’de model üstünde verilmiştir. Mafsalların dağılımına bakarak kolonların kirişlerden daha fazla mafsallaşmaya uğradığı görülebilir.

Çizelge 4.38.’e göre binanın performans noktasının bulunduğu 1488.46 kN taban kesme kuvveti – 3.12 cm çatı yer değiştirmesi değerine karşılık gelen plastik mafsalların miktarları, Etabs programının ara değerleri doğrudan vermemesinden dolayı en yakın ve kritik değerlere sahip olan 1513.1 kN- 3.5942 cm durumu esas alınmıştır. Söz konusu durumda yapı genelinde 7 adet B-IO (minimum hasar), 35 adet IO-LS (belirgin hasar), 18 adet LS-CP özelliği gösteren plastik mafsallar bulunmaktadır.



Şekil 4.48. SAV binası 09EXNPUSH yüklemesi plastik mafsallarını

Yapılan Statik İtme analizi sonucu SAV binasının en kritik plastik mafsalların zemin kattaki kiriş ve kolon uçlarında olduğu görülebilir (Şekil 4.48.) Yapının hasar görebilirliğini bulmak amacıyla bu kat esas alınmıştır. Bu katta 31 adet kiriş ve 16 adet kolon bulunmaktadır. SAV binasının performans noktası için zemin katın taşıyıcı elemanları ile ilgili plastik mafsal değerleri Çizelge 4.39.'da, kesme kuvvetiyle ilgili değerleri Çizelge 4.40.'ta verildiği gibidir.

Çizelge 4.39. SAV binası zemin kattaki taşıyıcı elemanların mafsal özellikleri

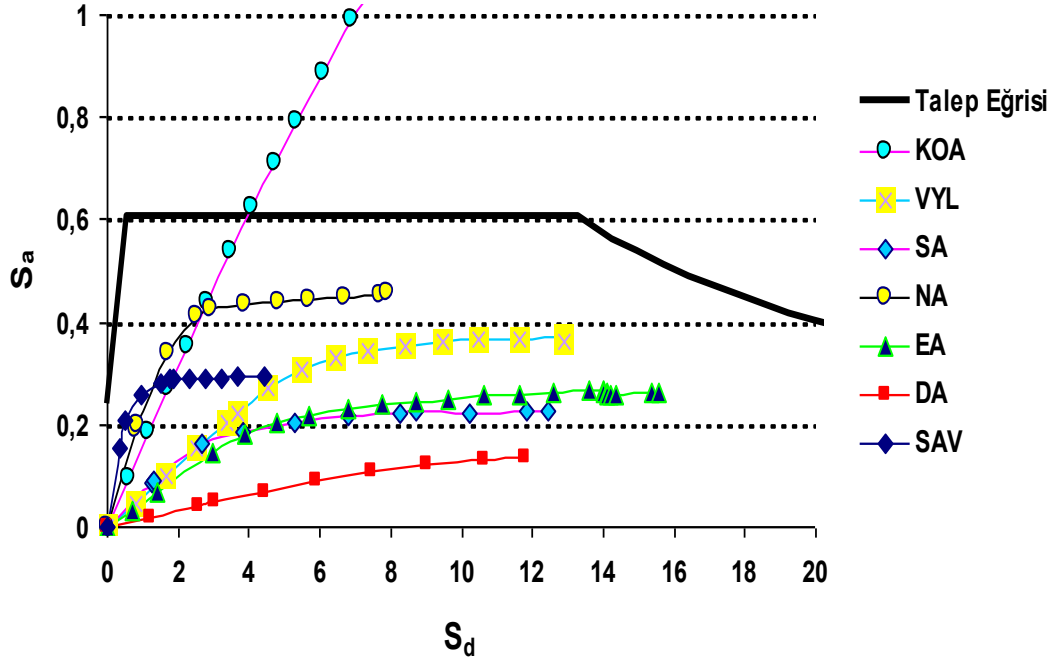
	A-B	B-IO (minimum)	IO-LS (belirgin)	LS-CP (ileri)	Toplam
Kiriş	27	4	0	0	31
Kolon	0	12	1	3	16

Çizelge 4.40. SAV binası zemin kat kesme kuvveti özellikleri

Kata gelen toplam kesme kuvveti (kN): A	1512.65
İleri hasarlı kolonların taşıdığı kesme kuvveti (kN): B	268.9
İki ucunda da minimum hasar seviyesinin üstünde mafsal bulunan kolonların taşıdığı kesme kuvveti (kN): C	347.9
% B / A (< %20 olmalı)	% 17.77
% C / A (< %30 olmalı)	% 22.99

Çizelge 4.39. ve Çizelge 4.40.'a göre her SAV binası **Can Güvenliği** performans seviyesine sahip olduğu kabul edilebilmektedir.

İncelenen bütün binaların spektrum eğrileri tek bir grafikte Şekil 4.49.'da karşılaştırılmıştır.



Şekil 4.49. İncelenen bütün binaların spektrum eğrilerinin karşılaştırılması

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışması ile Antakya kent merkezinin deprem açısından detaylı olarak incelenmesi amacıyla, aletsel ve sayısal dataların birleştirilmesi karma yaklaşımına dayanan betonarme çerçeveli yapıların hasar ve sismik karakteristiklerinin incelenmesi çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

Titreşim deneyleri 7 binada gerçekleştirilebilmiş ve bu binaların dinamik davranış parametreleri tespit edilerek, analitik modellerinin kalibrasyonu yapılmıştır. Genellikle deneysel hakim titreşim periyotları, projeye göre hazırlanmış olan modellere ait periyotlardan küçük çıkmıştır. Model düzeltmeleri için, kiriş-geniş kolon bağlantılarının modellenmesi, dolgu duvarların çarpaz basınç çubuğu şeklinde modellenmesi, malzeme özelliklerinin değiştirilmesi şeklinde uygulamalar ile hakim titreşim periyotları birbirine yakınlaştırılmaya çalışılmıştır.

Bu proje çalışmasında test edilen binaların hemen hemen tamamı 1997 deprem yönetmeliğinden önce inşa edilmiş yapılar olarak seçilmiştir. Bu yapıların genel karakteristiği olarak, deprem perdesi özelliği taşıyan düşey taşıyıcı elemanlarının hiç olmaması veya bazılarında sınırlı sayıda olmasıdır. Bundan dolayı test edilen binaların performans seviyeleri 4 binada **göçme durumunda** 1 binada **can güvenliği** ve 2 binada **göçme öncesi** olarak elde edilmiş ve hesaplanan performans değerlerine ait bilgiler Çizelge 5.1.'de özetlenmiştir.

Binaların yapısal özellikleri de dikkate alınarak, elde edilen performans seviyeleri hakkında çeşitli yorumlar yapılmıştır.

Tüm binalarda en kritik kesit hasarları, genelde yapının asal doğrultusu üzerinde görülen en büyük periyodun doğrultusundaki yüklemelerde meydana gelmiştir. Binaların performans seviyelerinin bulunmasında 50 yıllık zaman aralığı içinde aşılma olasılığı %10 olan (tekrarlama süresi yaklaşık 500 yıl) tasarım depreminin etkileri esas alınmıştır. 1975 Türk Deprem Yönetmeliği'ne göre tasarlanmış olan binalarda genel olarak günümüzde kullanılması önerilmeyen BS16 cinsi beton malzemenin ve $\Phi 8$ - $\Phi 10$ cinsi donatıların mevcut olması, zayıf kolon-güçlü kiriş tasarımı yapılmış olması ve zemin katlarda dolgu duvarların ortadan kaldırılmasıyla ortaya çıkan yumuşak kat düzensizlikleri gibi sorunlar söz konusudur. Bu nedenle esas alınan deprem seviyesinde binaların ciddi hasarlar alabileceği öngörülmüştür.

Şekil 5.1. İncelenen bütün binaların spektrum eğrilerinin karşılaştırılması

NA, EA, DA ve VYL binaları esas alınan deprem etkisi altında göçme durumu performans seviyesine ulaşmaktadır. Büyük yatay kuvvetler etki etmemesine rağmen her iki binada da fazla sayıda eleman kesitinde belirgin ve ileri hasar durumu gözlenmektedir. NA binasında ileri hasar durumu gözlenmemesine rağmen belirgin hasar durumundaki kolonlar o kata gelen kesme kuvvetinin %30'undan fazlasını karşıladığı için kritik performans seviyesindedir. Bu duruma NA binasının simetrik olmaması, kolon boyutlarının küçük olması ve az sayıda donatı kullanılması sebep olabilir. DA binasının her iki yönde simetrik ve kolon dağılımlarının eşit olmasına karşın kolon boyutlarının küçük ve donatının yetersiz olmasından dolayı 32 kolonda ileri hasar durumu gözlenmiştir.

SA ve KOA binaları göçme öncesi performans seviyesine sahip oldukları görülmektedir. KOA binasında 9 adet ileri hasarlı ve 20 adet belirgin hasarlı kesit meydana gelmiştir. Ancak yapıda kısa ve uzun doğrultuda büyük perde elemanlarının mevcut olması binanın daha kritik bir performans seviyesine sahip olmasını önlemektedir.

Çizelge 5.1. İncelenen binaların performans seviyesi bilgileri

Bina İsimleri	A*	B*	C*	B/A (%)*	C/A (%)*	Performans Seviyesi
NA	167.35	0	68.64	% 0.0	41.02	göçme durumu
EA	375.5	319.5	131.36	85	35	göçme durumu
SA	133.73	0	26.74	20.01	0.0	göçme öncesi
KOA	333.06	0.0	195.78	0.0	58.78	göçme öncesi
DA	170.69	170.69	170.69	100	100	göçme durumu
VYL	395.33	235.82	158.14	59.65	40.0	göçme durumu
SAV	151.265	26.89	34.79	17.77	22.99	can güvenliği

A* : Kata gelen toplam kesme kuvveti (ton)

B* : İleri hasarlı kolonların taşıdığı kesme kuvveti (ton)

C* : İki ucunda da minimum hasar seviyesinin üstünde mafsal bulunan kolonların taşıdığı kesme kuvveti

B/A (%)* : < %20 olmalı

C/A (%)* : < %30 olmalı

Bu performans değerlerinden yola çıkararak Antakya bölgesinde 1975 Türk deprem yönetmeliği esas alınarak yapılan binaların, projelerine uygun Şekilde inşa edilmeleri durumunda bile günümüzde kabul edilen sismik performans anlayıŐına göre güvenli bir seviyeye ulaŐamadıęı belirlenmiştir. Ancak perde ve geniş kolon gibi elemanlarının taşıyıcı sistemde etkin bir Şekilde kullanıldığı binalarda göçme durumu performans seviyesi oluŐmamıŐtır.

nemli ve aktif fay hatlarının bulunduğu Antakya bölgesinde konut tipi betonarme binaların genel olarak 1975 Türk Deprem Yönetmeliğine göre yapılmış olduğu dikkate alındığında 50 yıl içinde aşılma olasılığı %10 olan bir deprem etkisi altında bu yapıların büyük bir kısmının orta ve ileri derecede hasarlar alacağı söylenebilir.

Bu tez çalışması sonuçları, elde edilen performans değerlerine bağlı olarak farklı sınıflarda değerlendirilen betonarme tipleri için hasargörebilirlik eğrileri üretilmesi ve üretilecek olan bu eğriler dikkate alınarak senaryo depremleri altında Şehirdeki hasar dağılım haritaları oluşturulmasına yönelik yapılan projeye alt yapı oluşturmuştur. Bu tez çalışması sonuçlarına göre, Antakya'nın betonarme yapı stoğunu temsil edebilecek yeterli sayıda bina incelenmiŐ ve Master Planı hazırlanabilmesi için ilk veriler elde edilmiştir. Elde edilen veriler 30 Eylül-2 Ekim 2010 tarihleri arasında düzenlenen Workshop ile Yerel Yönetimler (Belediyeler ve Valilik), sivil toplum örgütleri ve halk ile paylaŐılmıŐtır.

KAYNAKLAR

- Abrahamczyk, L., Schwarz, J., Lang, D.H., Leipold, M., Golbs, Ch., Genes, M.C., Bikçe, M., Kaçin, S. and Gülkan, P., (2008). Building monitoring for seismic risk assessment (I): Instrumentation of RC frame structures as a part of the SERAMAR Project, **14th World Conference on Earthquake Engineering (WCEE)**, Beijing- China.
- Alıcıoğlu, B., (2004). **Ambient Vibration Signature Analysis with Subspace Methods**, Case Studies, Master Thesis, Middle East Technical University, Ankara.
- Alsinajı, S.A., (1988), The historical Sismicity of the Arab Countries, in Proc., **The Third Arab Symposium on Earthquake Seismology**, King Saud University, Riyadh.
- Ambraseys, N.N., (1989). Temporary Seismic Quiescence in SE Turkey, **Geophysical Journal International**, 90, pp:311-331.
- Ambraseys, N., and Melville, C., (1995). "**Historical evidence of faulting in eastern Anatolia and northern Syria**", *Annali di Geofis.*, vol.38, pp.337-343
- Aydinoglu, M.N., 2003. An incremental response spectrum analysis procedure based on inelastic spectral deformation for multi-mode seismic evaluation. **Bulletin of Earthquake Engineering**, 1 (1): 3-36.
- Barbata, H., Moya, F.Y., Canas, J.A., (1996). Damage scenarios simulation for seismic risk assessment in urban zones. **Earthquake Spectra**, 12, 3, 371-94.
- Bard P-Y, Bour, M., Duval, A.M., Godefroy, P., Martin, Ch., Meneroud, J.P., Mouroux, P., Terrier, M., Thibault, Ch., Velkov, P., Vidal, S., (1995). Seismic zonation methodology for the city of Nice, progress report, **Proc Fifth Int Conf on Seismic Zonation**, Nice-France, pp: 1749-84.
- Benedetti, D. and Gentile, C., (1994). Identification of modal quantities from two earthquake responses. **Earthquake Engineering and Structural Dynamics** 23:4, 447-462.
- Borcherdt, RD., (1997). Spatial ground motion amplification analyses, **Proc Geoinstitute of the American Soc of Civil Engineers**.

- John, A., Martin & Associates, (2005). California Department of Conservation, CSMIP-3DV, Instrumented Building Response Analysis and 3-D Visualization System, **California Geological Survey Inc.**, CD ROM, Edition.
- Celebi, M., (2001). Current Practice and Guidelines for USGS Instrumentation of Buildings including Federal Buildings, **Prepared for COSMOS Workshop on Structural Instrumentation**, Emeryville, November, pp: 14-15. , California.
- Celebi, M., (2000). Seismic Instrumentation of Buildings, USGS Open-File Report 00-157, <http://geopubs.wr.usgs.gov/open-file/of00-157/of00-157.pdf>.
- Celep, Z., Kumbasar, N., (2004). **Deprem mühendisliğine giriş ve depreme dayanıklı yapı tasarımı**, Beta Dağıtım, 700 s, İstanbul.
- Chopra, A.K. and Goel, R.K., (1999). Capacity – Demand Diagram Methods for Estimating Seismic Deformation of Inelastic Structures: **SDOF Systems, PEER Report 1999/02**, Pacific Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley.
- Demir, A., (1996). **Çağlar içinde Antakya**, Akbank Kültür Yayınları, İstanbul.
- Erdik, M., (1993). Developing a comprehensive earthquake disaster masterplan for Istanbul, **Issues in Urban Earthquake Risk.**, ed: Tucker B, Kluwer Academic, pp: 125-66. Netherlands.
- Esteva, L., (1997). An overview of seismic hazard, seismic risk and earthquake engineering in Mexico City., **Proc First Int Earthquake and Megacities Workshop**, September 1-4, pp: 385-92.
- Faeh, D., Ruettener, E., Noack, T., Kruspan, P., (1997). **Microzonation of the city of Basel, Journal of Seismology**, 1, 87-102.
- Faccioli, E., (1999). guest editor. The Catania project: studies for an earthquake damage scenario. **Special issue of the Journal of Seismology** 3(3).
- Fajfar, P. and Fischinger, M., 1988. N2--a method for non-linear seismic analysis of regular buildings. **Ninth World Conference on Earthquake Engineering. Proceedings Book: 7-3-2**, Tokyo-Kyoto, Japan.
- Fajfar, P., Dolsek, M., Zarnic, R. and Gostic, S., (2001). Development of Numerical Methodologies for Infilled Frames., **Towards European Integration in**

Seismic Design Upgrading of Building Structures, Euroquake-project, Final Report.

- Fernandez, J., Valverde, H., Yepes, H., Tucker, B., Bustamente, G., Chatelain, J-L., Kaneko, F., Villacis, C., Yamada, T. The Quito, Ecuador, (1994). **Earthquake risk management project, an overview.**, Paolo Alto: Geohazards International. California.
- Federal Emergency Management Agency FEMA 306, (1998). **Evaluation of Earthquake Damaged Concrete and Masonry wall Buildings**, Basic Procedures Manual, Washington -D.C-USA.
- Federal Emergency Management Agency FEMA 440, (2005). **Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures**, Washington D.C- USA.
- Fema 273, (1997). NEHRP Guidelines for the seismic rehabilitation of buildings. Federal Emergency management Agency, October.
- Freeman, S.A., 2005. Performance based earthquake engineering during the last 40 years, earthquake engineering: Essentials and applications workshops. EERC METU, July, Ankara.
- Gupta, B. and Kunnath S.K., 2000. Adaptive spectra-based Statik İtme procedure for seismic evaluation of structures. **Earthquake Spectra** 16(2), 367–392.
- Kırıkkaya, A., (2010). **Comparative vulnerability of RC frames (with masonry infill) – Case study for residential building with 7 and more stories in Antakya** (Turkey), Bauhaus Universitat-Weimar, EDAC, Germany.
- Lermo, J., Chavez-Garcia, F.J., (1994). Are Microtremors Useful in Site Response Evaluation, **Bulletin of the Seismological Society of America**, 84, 5, pp: 1350-1364.
- Lus, H., Betti, R. and Longman, R.W., (1999). Identification of linear structural systems using earthquake-induced vibration data. **Earthquake Engineering and Structural Dynamics** 28, 1449–1467.
- Mahaney, J.A., Paret, T.F., Kehoe, B.E. and Freeman, S.A., 1993. The capacity spectrum method for evaluating structural response during the loma prieta earthquake. National Earthquake Conference, Earthquake Hazard Reduction in the Central and Eastern United States: **A Time for Examination and Action**, 2: 501-509, Memphis, Tennessee

- Mainstone, R.J., (1971). On the stiffness and strength of infilled frames. **Proceedings of The Institute of Civil Engineers**, 4: 57–90, London, England.
- Mainstone, R.J. and Weeks, G.A., (1970). The influence of bounding frame on the racking stiffness and strength of brick walls. **2nd International Brick Masonry Conference**, 165–171, Watford, England.
- Mwafy, A. M. and Elnashai, A. S., 2001. Static Static Itme versus dynamic collapse analysis of RC buildings. **Journal of Engineering Structures**, 23: 407–424.
- Naeim, F., Alimoradi, A., Mirando, E., (2006). Immediate and Automatic Post-Earthquake Damage Assessment of Buildings. **Proceedings of the 8th National Conference on Earthquake Engineering**, Paper No. 322. San Francisco-California-USA.
- Naeim, F., Lee, H., Bhatia, H., Houg, M., Shakal, A., (2006). A New Approach to Learning from Seismic Performance of Instrumented Buildings. **Proceedings of the 8th National Conference on Earthquake Engineering**. Paper No. 994. San Francisco-California-USA.
- Naeim, F., Hagie, S., Alimoradi, A., (2005). Automated Post-Earthquake Damage Assessment and Safety Evaluation of Instrumented Buildings, **Proceedings of CSMIP-2005 Seminar**, pp: 71-88.
- Naeim, F., Lee, H., Bhatia, H., Hagie, S., Skilros, K., (2004). CSMIP Instrumented Building Response Analysis and 3-D Visualization System (CSMIP-3DV), **Proceedings of SMIP-2004 Seminar**, pp: 83-102.
- Nakamura, Y., (1989). A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface. **Quarterly Report of Railway Technical Research Institute**. (RTRI), 30 (1).
- Negro, P. and Verzeletti, G., (1996). Effect of infills on the global behaviour of R/C frames: energy considerations from pseudo-synamic test., **Earthquake Engineering and Structural Dynamics**, 25 (7): 753–773.
- Paulay, T., and Priestley M.J.N., (1992). Seismic design of reinforced concrete and masonry buildings, New York, Wiley.
- Paret, T. F., Sasaki, K. K., Eilbeck, D. H. and Freeman, S. A., 1996. Approximate inelastic procedures to identify failure mechanisms from higher mode effects.

- In Proc. **11th World Conference Earthquake. Engineering**, 966, Acapulco, Mexico.
- Poirrier, J.P. and Taher M.A., (1980). **Historical Seismicity in the Near and Middle East, North Africa and Spain from Arabic documents**. Bull. Seism. Soc. Am. 70, pp:2185-2201.
- Polyakov, S.V., (1956). On the interaction between masonry filler walls and enclosing frame when loaded in the plane of the wall. Translations in Earthquake Engineering Research Institute, Cairns G. L., trans.
- Rea, D., Bouwkamp, J. G., and Clough, R. W., "Dynamic Properties of McKinley School Buildings," Report No. EERC 68-4, University of California, Berkeley, 1968. California.
- Saiidi, M. and Sözen, M.A., 1981. **Simple nonlinear seismic analysis of R/C structures**. *Journal of the Structural Div.* (ASCE), 107: 937-951.
- Saiidi, M. and Sözen, M.A., 1981. **Simple nonlinear seismic response of R/C structures**, *Journal of the Structural Div.* (ASCE), 107: 937-952.
- Saneinejad, A., and Hobbs, B., (1995). **Inelastic design of infilled frames**, *ASCE, Journal of Structural Engineering*, 121(4), 634-650.
- Schwarz, J., (2010). Building typologies for empirical and analytical risk assessment: Case Study Antakya. **Closing Workshop on SERAMAR Project**, Sept. 30 – Oct. 02, Antakya (Hatay), Turkey.
- Schwarz, J., Abrahamczyk, L., Langhammer, T., Leipold, M., Genes, M.C., Bikçe, M., Kaçin, S., (2009). Building typology for risk assessment: case study Antakya (Hatay), **Earthquake and Tsunami**, İstanbul-Turkey.
- Schwarz, J., Lang, D.H., Abrahamczyk, L., Bikce, M., Genes, M.C., Kacin, S., (2007). **Seismische Instrumentierung mehrgeschossiger Stahlbetonbauwerke - ein Beitrag zum SERAMAR projekt.**, D-A-CH Tagung 27-28 September, Wien-Austria.
- Schwarz, J, Raschke, M., Maiwald, H., (2002). Seismik risk studies for central Germany on the bases of the European Macroseismic Scale EMS-98, **12th European Conference on Earthquake Engineering**, Pp: 295. London-UK.

- Schwarz, J., Beinersdorf, S., Kaufmann, Ch., Langhammer, T., (2008). Damage scenarios for Central Europe – **Reinterpretation of Historical Earthquakes., Earthquakes in Northwestern Europe**, Liege.
- Schwarz, J., Abrahamczyk, L., Langhammer, T., (2009a). Interpretation of Seismic Response Characteristic of RC Frame Structures on the Basis of Instrumental Data., Internal Report. Bauhaus-Universitat Weimar, EDAC, Weimar-Germany.
- Stafford, S.B., and Carter, C., (1969). A method of analysis for infilled frames. **Proceedings of the Institution of Civil Engineers**, 44: 31-48.
- Stafford, S. B., (1966). Behavior of Square Infilled Frames, **Journal of Structural Division, ASCE**, 92(1), pp.381-403.
- Stafford, S. B., (1967). **Methods for Predicting the Lateral Stiffness and Strength of Multi-Storey Infilled Frames**, Building Science, 2, pp.247–257.
- Şafak, E., (2007). Yapı Titreşimlerinin İzlenmesi Nedir, Neden Yapılır, Nasıl Yapılır ve Ne Elde Edilir, **Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı**, İstanbul, 16-20 Ekim.
- Özer, E., 2006. Yapı sistemlerinin doğrusal olmayan analizi ders notları. (yayınlanmamış)
- Vamvatsikos, D. and Cornell, C. A., 2005. Direct estimation of seismic demand and capacity of multidegree-of-freedom systems through incremental dynamic analysis of single degree of freedom approximation, **Journal of the Structural Div. (ASCE)**, 131 (4): 589-599.

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamın her adımında bana araştırma olanağı sağlayan ve sağlıklı sonuçlara ulaşılmasında kıymetli zamanını benimle paylaşan, gerek maddi, gerekse manevi desteklerini esirgemeyen çok değerli danışman hocam, Sayın Yrd. Doç. Dr. Cemal GENEŞ'e sonsuz teşekkür ederim.

Ayrıca çalışmalarım sırasında yardımlarını esirgemeyen Sayın Yrd. Doç. Dr. Murat BİKÇE ve Sayın Yrd. Doç. Dr. Selçuk KAÇIN'a ve tüm inşaat mühendisliği bölümü öğretim üyelerine en içten teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez çalışmamda deneyimlerimden yaralandığım ve her türlü bilgisini benimle paylaşmaktan çekinmeyen sevgili arkadaşım Kazım TEKÖZ'e teşekkürü bir borç bilirim.

Bu çalışmaya 107M445 nolu ve “**ALETSEL VE SAYISAL DATALARIN BİRLEŞTİRİLMESİ KARMA YAKLAŞIMINA DAYANAN BETONARME ÇERÇEVELİ YAPILARIN HASAR VE SİSMİK KARAKTERİSTİKLERİNİN İNCELENMESİ**” adlı projeye destek olan TÜBİTAK'a yaptığı maddi ve manevi yardımlarından dolayı şükranlarımı sunarım.

Tezimin hazırlanması sırasındaki desteklerinden ve sabırlarından ötürü ve en önemlisi beni bugünlere getiren çok sevdiğim babam Edip DOĞANAY'a ve annem Zehra DOĞANAY'a sonsuz teşekkür ederim. Siz olmasaydınız bulunduğum yerde olamazdım.

ÖZGEÇMİŞ

9 Mart 1985'te Antakya'da doğdum. İlköğretimi Antakya'da Cengiz Topel İlkokulu'nda, ortaöğretimi Fatih Sultan Mehmet İlköğretim Okulu'nda, lise öğretimini ise Antakya Süper Lisesi'nde tamamladım. 2004 yılında Mustafa Kemal Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği bölümünü kazandım. Bu bölümden 2008 yılında mezun oldum ve aynı yıl M.K.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsüne bağlı İnşaat Mühendisliği Yapı Anabilim dalında yüksek lisans öğrenimi görmeye başladım. 2008 ve 2011 yıllarında Weimar-Bauhaus Üniversitesi'nde (Almanya) yaz okuluna katıldım.