

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DEPREM ETKİSİ ALTINDA DOLGU DUVARLARIN
BETONARME ÇERÇEVE YAPILAR ÜZERİNDEKİ
ETKİSİ**

İnşaat Müh. Mehmet Yüksel KIZILOĞLU

**FBE İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Mekanik Programında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Türkan KÖKSAL (YTÜ)
Dr. Ali KOÇAK (YTÜ)

İSTANBUL, 2006

1. İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ	iv
KISALTMA LİSTESİ	vii
ŞEKİL LİSTESİ	viii
ÇİZELGE LİSTESİ	ix
ÖNSÖZ	x
ÖZET	xi
ABSTRACT	xii
1 GİRİŞ	1
1.1 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	2
1.2 Konu İle İlgili Yapılan Çalışmalar	3
2 DOLGU DUVARLARIN ÇERÇEVEYE VE YAPIYA ETKİLERİ	7
2.1 Dolgu Duvarların Yapı Davranışına Etkisi	7
2.1.1 Dolgu Duvarlı Çerçevelerin Yük Taşıma Kapasitesi ve Dayanımı	7
2.1.2 Dolgu Duvarlı Çerçevelerin Yatay Rijitliği	9
2.1.3 Dolgu Duvarlı Çerçevelerin Sünekliği	10
2.1.4 Dolgu Duvarlı Çerçevelerin Enerji Yutma Özellikleri	12
2.2 Dolgu Duvarların ve Dolgu Duvarlı Çerçevelerin Hasar Biçimleri	13
2.3 Dolgu Duvarlı Çerçevelerin Modellenmesi	15
3 DOLGU DUVARLI YAPILARIN SERBEST TİTREŞİM PERİYOTLARI VE MODELLENMESİ	22
3.1 Dolgu Duvarların Yapı Periyotlarına Etkisi	22
3.2 Yapı Periyodu Üzerine Yapılan Araştırmalar	25
3.3 Binaların Serbest Titreşim Özelliklerinin Saptanması	29
3.4 Dolgu Duvar Etkilerinin Mekanik Modele Yansıtılması	32
3.4.1 Eşdeğer Çapraz Çubuğun Etkin Genişliği ve α Çarpanı	33
3.4.2 Dolgu Duvarlarının Elastisite Modülü-E	35
3.4.3 Dolgu Duvarlarının Modellenmesinde Duvar Boşluklarının Etkisi- β Çarpanı	36
3.4.4 Dolgu Duvarlarda Yer Alan Hasarların Modele Etkisi- γ Çarpanı	40
4 DOĞRUSAL OLMAYAN STATİK ÇÖZÜMLEME YÖNTEMİ (STATİK İTME ANALİZİ)	41
4.1 Yapı Kapasitesinin Statik İtme Çözümlemesi İle Belirlenmesi	41
4.2 Performans Noktasının Bulunması	44
4.3 Yer Değiştirme Katsayıları Yöntemi (FEMA-35)	44
4.4 Kapasite Spektrumu Yöntemi (ATC-40)	47
4.4.1 Yöntem A	49
4.5 Performans Değerlendirmesi	53
4.6 Performans Seviyeleri	55
4.6.1 Hemen Kullanım Performans Seviyesi	55
4.6.2 Hasar Kontrol Performans Aralığı	56
4.6.3 Can Güvenliği Performans Seviyesi	56
4.6.4 Sınırlı Güvenlik Performans Aralığı	56

4.6.5	Stabilitenin Korunması (Göçmenin Önlenmesi) Performans Seviyesi	56
4.7	Kabul Kriterleri (Performans Kontrolü)	57
4.8	Global Sınırlar	58
4.9	Yerel Sınırlar (Taşıyıcı Sistem Elemanlarına Ait Şekil Değiştirme Sınırları) ...	58
5	DOLGU DUVARLI YAPILARIN MODELLENMESİ VE ANALİZ ÖRNEĞİ	65
5.1	Taşıyıcı Sisteme Ait Mekanik Modelin Oluşturulması	65
5.2	Örnek Modelleme-İstanbul, Esenkent Toplu Konut Binaları.....	66
5.2.1	Yapının Serbest Titreşimlerinin Lineer Olarak Hesaplanması ve Deneysel Sonuçlarla Karşılaştırılması.....	67
5.2.1.1	Binaların 12 Katlı ve Çıplak Çerçevesi Olması Durumu.....	67
5.2.1.2	Binaların 12 Katlı ve Sıvasız Dolgu Duvarlı Olması Durumu.....	72
5.2.1.3	Binaların 12 Katlı ve Sıvalı Dolgu Duvarlı Olması Durumu	75
5.2.1.4	Binaların 4 Katlı ve Çıplak Çerçevesi Olması Durumu.....	78
5.2.1.5	Binaların 4 Katlı ve Sıvasız Dolgu Duvarlı ve Çerçevesi Olması Durumu.....	81
5.2.1.6	Binaların 4 Katlı ve Sıvalı Dolgu Duvarlı ve Çerçevesi Olması Durumu.....	84
5.2.2	Yapının Kapasitesinin Doğrusal Olmayan Statik İvme Çözümlemesi Belirlenmesi.....	84
6	SONUÇLAR.....	87
	KAYNAKLAR.....	90
	ÖZGEÇMİŞ.....	94

SİMGE LİSTESİ

α	Pandül çubukların etkin genişliğinin, pandül boyuna göre tanımlanmasını sağlayan katsayı
β_0	Histeritik sönüm yüzdesi (eşdeğer viskoz sönüm)
δ_i	Kat yer değiştirmesi
μ	Süneklik
Δ	Yer değiştirme (genelde tepe noktasında)
Δ_u	Ulaşılabilecek toplam yer değiştirme
Δ_y	Elastik sınırdaki yer değiştirme
Φ_1^{tepe}	Birinci mod vektörünün tepe noktası değeri
Γ_1	Birinci serbest titreşim moduna ait modal katılım çarpanı
κ	Kapasite diyagramının şekline bağlı olarak bulunan sönüm düzeltme katsayısı
A	Temel taban alanı (m^2)
A_p	Dolgu duvarın kesit alanını,
C_E	Dolgu duvarların çerçeveye katkısı
C	Çok serbestlik dereceli sistemin tepe noktası yer değiştirmesi ile eşdeğer tek serbestlik dereceli sistemin spektral yer değiştirmesi arasındaki ilişkiyi kuran katsayı
C_1	Yapının doğrusal ve doğrusal olmayan davranışları sırasında ortaya çıkan yer değiştirmeler arasında ilişki kuran katsayı
C_2	Histeritik çevrimdeki kuvvet artımsız yer değiştirme etkisini dikkate alan katsayı
C_3	P- Δ etkilerinden dolayı oluşan yer değiştirme artışlarını dikkate alan katsayı:
D	Titreşim istikametinde bina genişliği
F_i	Katlara etkiyen yatay kuvvet

g	Yerçekimi ivmesi
h	Kolonun yüksekliği
hp	Dolgu duvarın yüksekliği
Ec	Kolonun elastisite modülü
ED	Sönüm ile yutulan enerji
ESo	En büyük şekil değiştirme enerjisi
Ep	Dolgu duvarın Elastisite Modülü
G	Kayma modülü
H	Bina yüksekliği
hi	Duvar yüksekliği
hn	Binanın temel üst kodunda ölçülen yüksekliği
Hs	Dolgu duvarda büyük çatlaklar oluştuğu andaki dayanımı
Hu	Dolgu duvarlı çerçevenin kayma dayanımı
Ic	Kolonun atalet momenti
If	Temel atalet momenti
Ip	Dolgu duvar boyu
Ki	Dolgu duvarlı çerçevelerin başlangıç rijitliği
Ke	Dolgu duvarlı çerçevelerin efektif rijitliği
Kc	Dolgu duvarlı çerçevelerin kayma dayanımına ulaştığı andaki rijitliği
Kp	Dolgu duvarın kesme mukavemetinin taşıma gücünün %30' una ulaştığı zamandaki, etkili rijitliği
l	Kiriş uzunluğu
Ld	Dolgu duvarlarının diyagonal boyu
li	Duvar uzunluğu
Meff	Birinci serbest titreşim moduna ait etkili kütle;
N	Toplam katsayısı

R	Dayanım azaltma katsayısı	
Sa	Etkili periyoda karşılık gelen spektral ivme;	
Sd	Spektral yer değiştirme,	
T	Binanın doğal periyodu	
TB	Davranış spektrumunda, sabit ivme kısmından sabit hız kısmına geçiş noktasındaki karakteristik periyot	
Ti	Doğrusal dinamik çözümlemeden elde edilen serbest titreşim periyodu	
Te	Etkili periyot	
tp		Duvar kalınlığı
V	Taban kesme kuvveti	
Vy	İkili doğrusal kapasite eğrisinde akma kesme kuvveti	
W	Duvar genişliği	
wi	Kat ağırlığı	
y	Duvar oranı (duvar boyu (m) / kat alanı (m ²))	
Zj	Temel tabanı üzerindeki j noktasının kütle yüksekliği (m)	

KISALTMA LİSTESİ

ABYYHY Afet Bölgelerinde yapılacak Yapılar Hakkındaki Yönetmelik

ATC Applied Technology Council (Uygulamalı Teknoloji Konseyi)

FEMA Federal Emergency Management Agency (Federal Acil Durum Yönetim Merkezi)

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.2	Dolgu Duvarlı ve Basit Çerçeve Çevrimsel Yükler Sonucunda Rijitliğin Değişimi	9
Şekil 2.3	Sünek ve Sünek Olmayan Davranışa Ait Yük-Yer Değiştirme Eğrisi	10
Şekil 2.4	Tekrarlı ve Yön Değiştiren Yükleme Etkisinde Sünekliklerin Karşılaştırılması	11
Şekil 2.5	Yük Çevrimleri Sırasında Söndürülen Enerji Miktarı	12
Şekil 2.6	Yük Çevrimleri Sırasında Söndürülen Toplam Enerji Miktarı	12
Şekil 2.7	Dolgu Duvarlı Çerçevelerin Yatay Altındaki Davranışı	13
Şekil 2.8	Dolgu Duvarların Çapraz Diyagonal Çubuklarla Modellenmesi	14
Şekil 2.9	Dolgu Duvarlar Hasarları	14
Şekil 2.10	Dolgu Duvarların Modellenmesi	15
Şekil 2.11	Dolgu Duvarlı Çerçeve Rijitlik Değişimi	16
Şekil 2.12	Kayma Dayanımına Ulaşıldığı Anda Dolgu Duvarlı Çerçevenin Modellenmesi ve Eşdeğeri	18
Şekil 2.13	Bölme Duvarı, Eşdeğer Çapraz ve Eksenel Dijitliği Tüp Demeti	21
Şekil 3.1	Betonarme Çerçeve Yapılarda Dolgu Duvarlarının yapı periyotlarına etkisi	23
Şekil 3.2	Yapı Periyodu-Kat Sayısı İlişkisi (Bayülke, 1998)	25
Şekil 3.3	Küçük Titreşim Ölçümlerinin Kaydedilmesi ve Değerlendirilmesi	31
Şekil 3.4	β Katsayılarını Belirlemek için Kullanılan Bölme Duvar Tipleri	36
Şekil 3.5	β Katsayılarını Belirlemek için Bölme Duvarın Mekanik Modeli	37
Şekil 4.1	Tipik Yük Şekil Değiştirme Eğrisi	42
Şekil 4.2	Tipik Kapasite Eğrisi	42
Şekil 4.3	İkili Doğrusal Kapasite Eğrisi	44
Şekil 4.4	İkili Doğrusal Kapasite Diyagramı	45
Şekil 4.5	Kapasite Diyagramı ve İndirgenmiş Talep Spektrumu	51
Şekil 4.6	Kapasite Diyagramı ve İndirgenmiş Talep Spektrumu (Polat ve Diğerleri)	53
Şekil 4.7	Tasarım Depremi Sırasında Yapı Performansı	54
Şekil 4.8	Performans Seviyeleri ve Aralıkları	57
Şekil 4.9	İç Kuvvet Şekil Değiştirme Eğrisi	59
Şekil 5.1	Esenkent Toplu Konut Yapıları Normal Kat Kalıp Planı	66
Şekil 5.2	Binaların 12 Katlı Halde 3 Boyutlu Görünümü	69
Şekil 5.3	Binaların Kat Plan Görünümü	69
Şekil 5.4	Binaların 12 Katlı Halde Dolgu Duvarlı Haldeki 3 Boyutlu Görünümü	72
Şekil 5.5	Binaların 12 Katlı Halde Dolgu Duvarlı ve Sıvalı Haldeki 3 Boyutlu Görünümü	75
Şekil 5.6	Binaların 4 Katlı ve Yalın Çerçeve Haldeki 3 Boyutlu Görünümü	78
Şekil 5.7	Binaların 4 Katlı ve Sıvasız Dolgu Duvarlı Haldeki 3 Boyutlu Görünümü	81
Şekil 5.8	Binaların 4 Katlı Yalın Çerçeve Haldeki 3 Boyutlu Görünümü	84
Şekil 5.9	Binaların 4 Katlı Dolgu Duvarlı ve Çerçeve Haldeki 3 Boyutlu Görünümü	85
Şekil 5.10	4 Katlı Yapı İçin Taban Kesme Kuvveti-Tepeyer Değiştirmesi Diyagramı	86

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 3.1	Yapıların Ölçülen ve Denklem (3.1)'e Göre Hesaplanmış Değerleri	24
Çizelge 3.2	Duvar Uzunlukları İçin Hesaplanan α Değerleri	35
Çizelge 3.3	Dolgu Duvarının Üst Sol Uç Yer değiştirmesine Göre Hesaplanan β Sayıları	38
Çizelge 3.4	Dolgu Duvarının Üst sağ Uç Yer değiştirmesine Göre Hesaplanan β Sayıları	38
Çizelge 3.5	Dolgu Duvarının Ortalama Yer değiştirmesine Göre Hesaplanan β Sayıları	39
Çizelge 3.6	Dolgu Duvarlarının Mekanik Modele Yansıtılmasında Kullanılacak β Sayıları	39
Çizelge 4.1	Sönüm Düzeltme Katsayısı (κ) Değerleri (ATC-40)	49
Çizelge 4.2	Yapısal Davranış Tipleri (ATC-40)	50
Çizelge 4.3	SRA ve SRV'nin alabileceği minimum değerler (ATC-40)	52
Çizelge 4.4	Performans Seviyeleri ve Aralıkları	57
Çizelge 4.5	Global Yer değiştirme sınırları (ATC-40)	58
Çizelge 4.6	Betonarme kirişler için şekil değiştirme kabul kriterleri (FEMA-356)	61
Çizelge 4.7	Betonarme kolonlar için şekil değiştirme kabul kriterleri (FEMA-356)	62
Çizelge 4.8	Eğilme Etkisindeki Betonarme Perdeler ve Perde Bağ Kirişleri İçin Şekil Değiştirme Kabul Kriterleri (FEMA-356)	63
Çizelge 4.9	Kesme etkisindeki betonarme perdeler ve perde bağ kirişleri için şekil değiştirme kabul kriterleri (FEMA-356)	64
Çizelge 5.1	Esenkent Toplu Konut Binasında Basit Çerçevelerden Oluşan Sistem İçin Ölçülen ve Hesaplanan Periyot ve Mod Şekilleri	68
Çizelge 5.2	12 Katlı Binanın Uzun Doğrultudaki Mod Değerleri	70
Çizelge 5.3	12 Katlı Binanın Kısa Doğrultudaki Mod Değerleri	71
Çizelge 5.4	Esenkent Toplu Konut Binasında Sıvasız Dolgu Duvarlardan ve Çerçevelerden Oluşan 12 Katlı Sistem İçin Ölçülen ve Hesaplanan Periyot ve Mod Şekilleri	72
Çizelge 5.5	12 Katlı Binanın Sıvasız Dolgu Duvarlı Halde Uzun Doğrultuda Mod Değerleri	73
Çizelge 5.6	12 Katlı Binanın Sıvasız Dolgu Duvarlı Halde Kısa Doğrultuda Mod Değerleri	74
Çizelge 5.7	Esenkent Toplu Konut Binasında Sıvalı Dolgu Duvarlardan ve Çerçevelerden Oluşan 12 Katlı Sistem İçin Ölçülen ve Hesaplanan Periyot ve Mod Şekilleri	75
Çizelge 5.8	12 Katlı Binanın Sıvalı Dolgu Duvarlı Halde Uzun Doğrultudaki Mod Değerleri	76
Çizelge 5.9	12 Katlı Binanın Sıvalı Dolgu Duvarlı Halde Kısa Doğrultuda Mod Değerleri	77
Çizelge 5.10	Esenkent Toplu Konut Binasında Basit Çerçevelerden Oluşan 4 Katlı Sistem İçin Hesaplanan Periyot ve Mod şekilleri	78
Çizelge 5.11	4 Katlı Binanın Yalın Çerçeve Halde ve Uzun Doğrultudaki Mod Değerleri	79
Çizelge 5.12	4 Katlı Binanın Yalın Çerçeve Halde ve Kısa Doğrultudaki Mod Değerleri	80
Çizelge 5.13	Esenkent Toplu Konut Binasında Dolgu Duvarlardan ve Basit Çerçevelerden Oluşan 4 Katlı Sistem İçin Hesaplanan Periyot ve Mod Şekilleri	81
Çizelge 5.14	4 Katlı Binanın Sıvasız Dolgu Duvarlı ve Çerçeve Halde Uzun Doğrultuda Mod Değerleri	82
Çizelge 5.15	4 Katlı Binanın Sıvasız Dıgu Duvarlı ve Çerçeve Halde Kısa Doğrultuda Mod Değerleri	83
Çizelge 5.16	Esenkent Toplu Konut Binasında Sıvalı Dolgu Duvarlardan ve Basit Çerçevelerden Oluşan 4 Katlı Sistem İçin Hesaplanan Periyot ve Mod Şekilleri	84
Çizelge 6.1	12 Katlı ve 4 Katlı Yapılara Ait Belirlenen Periyot Değerleri	88
Çizelge 6.2	Esenkent Toplu Konut Binasında STA 4 Programı ile Yapılan Çözümlemelerde Elde Edilen Periyot Değerleri	89

ÖNSÖZ

Bina modellemelerinde ihmal edilen dolgu duvarlar bilindiği gibi deprem esnasında sisteme rijitlik kazandırmakta, kalıcı deformasyonları sayesinde de enerjinin bir bölümünü sönmölemektedir. Ancak bilinen ve geçerliliğini kanıtlamış bir modelleme olmadığından dolgu duvarlar sisteme dahil edilmemektedir. Bu çalışmada gerek modellemede ve gerekse bina güçlendirmelerinde dikkate alınması gereken dolgu duvarların modellenmesi üzerine çalışmalar irdelenmiş ve öneriler sunulmuştur.

Tezimin hazırlanması sırasında yardımlarını esirgemeyen başta tez danışmanlarım Prof. Dr. Sayın Türkan KÖKSAL'a, Öğr. Gör. Dr. Sayın Ali KOÇAK'a, tezimde kullandığım SAP 2000 hesaplamalarında büyük desteğini gördüğüm Yrd. Doç. Dr. Sayın Kutlu DARILMAZ'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Diğer yandan tezimin yazımı sırasında yardımlarını esirgemeyen Ar. Gör. Sayın Baykal HANCIOĞLU'na ve beni sabırla destekleyen aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Mehmet Yüksel KIZILOĞLU

Ocak, 2006

ÖZET

Yapı yüklerinin ve yapı dinamik karakteristik değerlerinin değişiminde en önemli etki dolgu duvarlardır. Yapı hesaplarında dolgu duvarlar yapısal eleman olarak göz önüne alınmayarak, yapıların deprem yüklerine göre hesabında ihmal edilmektedirler. Dolgu duvarların hesaplarda ihmal edilmesinin veya dikkate alınmamasının sebebi, dolgu duvar katlarının yatay rijitliğe etkisinin ispatlanmış, geçerli bir model olmaması ve önerilen modellerin hesap güçlüğüdür. Bununla birlikte bina hesaplarında yalnız çerçeveden oluşan yapının periyodunun mu, yoksa dolgu duvarlarla rijitlendirilmiş yapının periyodunun mu alınması gerektiği de önemli bir sorundur. Çünkü depremin başlangıcında dolgu duvarlarında etkin olduğu rijitlik oldukça yüksek, periyotlar ise son derece azdır. Deprem etkisi boyunca dolgu duvarların çatlaması ve devre dışı kalması sonucunda yapının periyodu çerçevelerden oluşan yapının periyoduna oluşacaktır. Dolayısıyla son durumdaki periyot klasik deprem hesaplarında bulunan periyotlara ulaşacaktır.

Bu çalışmada, dolgu duvarların yapıya etkisi, kütle ve rijitlik artışı ile periyot azalmasına katkısı irdelenecektir. Diğer yandan Deprem Yönetmeliği'nde verilen periyot hesapları ile dolgu duvarlarının da katkısı dikkate alınarak bulunan periyot hesapları örnekler üzerinde sınanacaktır.

Çalışmanın 1. Bölümü'nde, tezin amacı ve konu ile ilgili yapılan çalışmalardan, 2. bölümünde dolgu duvarların çerçeveye ve yapıya etkilerinden, 3. bölümünde dolgu duvarlı yapıların serbest titreşim periyotları ve modellenmesinden, 4. bölümünde doğrusal olmayan statik çözümleme yönteminden (statik itme çözümlemesi) 5. bölümünde dolgu duvarlı yapıların modellenmesi ve analiz örneklerinden, 6. bölümünde sonuçların değerlendirilmesinden bahsedilmiştir.

ABSTRACT

The most important effect on the variation of building loads and buildings dynamic characteristics are the filling walls. Building walls are neglected as a structural element in the building analysis. The reason of this is that the effect of vertical rigidity of filling walls has not proven and, valid model and also the analysis of building wall are difficult.

It's an important point that either the period of the building considering only the structural elements or the period of the structure with walls will be in use.

At the beginning of an earthquake, rigidity of structure with walls is high then. During the earthquake the walls will be stretched and will not be in use, because of damage. Thus the period of structure will equal to the structure consist of only structural elements. So the period will be equal to the period which will be obtained from conventional.

In this study, we will study the building structure and effect of walls the effect of walls on the structural response, rigidity and natural frequency. On the other hand due to the earthquake regulation in Turkey, in the effect of the filling walls will be considered in the calculations and depending on this, the period of the structure will be determined and compared with the obtained test results.

In the first part of this study the purpose of this thesis is explained and the research studies in the literature are reviewed. In the 2nd part the effect of the filling walls on the structural response is evaluated. Depending on this computer model considering the filling walls is prepared and then period of structure with walls is determined. The 4th part consists of static pushover analysis. In the 5th part samples for structures with walls are analyzed. In the 6th part the obtained results are summarized and discussed.

BÖLÜM 1

1.1. GİRİŞ

Yapı üretim süreci mimari tasarımla başlayıp, taşıyıcı sistem tasarımı, malzeme ve gereç seçimi ile devam ederek inşa kısmıyla tamamlanmaktadır. Depremde hasar gören yapılar incelendiğinde hasar nedenlerinin yetersiz rijitik ve dayanım, yetersiz işçilik ve donatı, yetersiz malzeme dayanımı, uygun olmayan mimari ve taşıyıcı sistem tasarımı ile yetersiz mühendislik hizmeti olarak sıralamak mümkündür (Koçak, 2000). Nitelikli ve dayanıklı yapı, üretim sürecinin her aşamasının nitelikli ve kontrollü olmasını gerektirmektedir. Üretimde şüphesiz her aşama çok önemlidir, ancak ‘taşıyıcı sistem tasarımı’ evresi yapının ekonomik önemi boyunca ayakta kalmasını sağlayacak, dış etkilere, özellikle depreme karşı koyabilecek en önemli aşamasıdır. Bu aşamada yapılan hatalar bir deprem durumunda telafisi mümkün olmamaktadır. Dolayısıyla bir yapının taşıyıcı sisteminin belirlenmesi, yapı sisteminin modellenmesi ve analizi çok büyük önem taşımaktadır.

Depreme dayanıklı yapı tasarımında yapısal geometri, yapı elemanlarının sürekliliği, yapısal rijitik ve dayanım, göçme modu ve yapısal süneklik gibi noktalara özellikle dikkat etmek gerekmektedir. Planda ve kesitte basit ve düzgün geometrik yapı tasarımı, gerek ekonomik kesitler oluşturacağı gibi, gerekse de deprem anında yapı davranışını zorlamayacaktır.

Bununla birlikte yapı elemanlarının veya yapısal sistem kesitleri ve donatıları sistemin ani göçmesini, planda ve kesitte ani rijitik değişimlerini oluşturmayacak şekilde planlanması ve seçilmesi gerekmektedir. Bunların yanı sıra yapının yeterli sünekliğe sahip olması, katlar arası yer değiştirmelerin sınırlandırılması, dolayısıyla yapının yeterli rijitlik ve dayanıma sahip olması, yapının olası bir depremi hasarsız atlması açısından çok önemlidir (Koçak, 1998).

Yapının rijitliğini arttırarak depremde meydana gelebilecek şekil ve yer değiştirmeleri azaltmak mümkündür. Bu suretle taşıyıcı sistemle ona bağlı bulunan taşıyıcı olmayan kısımlardaki hasar azaltılabilir. Ayrıca yapının içindeki alet ve teçhizatın fonksiyonunu devam ettirebilmesi için rijit yapı tercih edilir. Elastik yapılarda diğer istenmeyen bir durum yatay

yer değiştirmelerin büyümesi ile ikinci mertebe etkilerin artmasıdır. Donatısı iyi düzenlenmiş kolon ve kirişlerin meydana getirdiği betonarme çerçeve sistem elastik olarak kabul edilebilir. Orta şiddette bir depremde bile bu tür çerçevelerde katlar arasında büyük yer değiştirmeler meydana gelir ve dolgu duvarlarda geniş x çatlakları oluşur. Buna karşılık dolgu duvarlarının bulunması çerçeveye ek bir rijitlik kazandırarak çoğunlukla yapının periyodunu küçültür ve yapıdaki kuvvet dağılımında etkili olur. Dolgu duvarlarında meydana gelen hasar sayesinde deprem enerjisi bir miktar söndürölmüş olur (Celep, Kumbasar, 2000).

Ancak bölme duvarlarının katkısını dikkate alan güvenilir bir hesap metodu olmadığından ve bu katkıyı modele yansıtacak hesap yöntemlerinin güç ve karmaşık oluşu nedeni ile dolgu duvarlar hesaplarda göz ardı edilmiştir.

Çeşitli ölkelerde yürürlükte olan deprem yönetmelikleri de dolgu duvarlarının etkisini taşıyıcı sistem elemanları yanında ihmal etmiştir. Uygulamada dolgu duvarları yalnızca yapıya etki eden dik yük olarak ele alınmıştır. Halbuki dolgu duvarlar deprem esnasında yapıya rijitlik kazandırdığı gibi büyük kalıcı şekil değiştirmeleri sayesinde enerji sönümlemeye katkı sağlamaktadır. Bu konuda, son yıllarda yapılan deneysel ve analitik çalışmalar dolgu duvarların taşıyıcı sistemliği sayesinde, davranışını önemli ölçüde değiştirdiği saptanmış ve çeşitli modelleme yöntemleri önerilmiştir.

Bu çalışmada, önerilen yöntemlerin güvenilirliği araştırılarak, deneysel çalışma yapılmış binalar üzerinde modeller test edilmiştir.

1.1. Çalışmanın Amacı Ve Kapsamı

Son yıllarda yapılan deneysel ve kuramsal çalışmalar sonucunda dolgu duvarların taşıyıcı sistem davranışına rijitlik, yük taşıma kapasitesi, süneklik, enerji yutma kapasitesini değiştirerek etkide bulunmaktadır. Bununla birlikte dolgu duvarlar yapının serbest titreşim özelliklerinin de değiştirmektedir. Dolgu duvarlar bir yandan yapı kütlelerinin artmasını sağlarken, diğer yandan doğal titreşim periyotlarının küçölmesini sağlamaktadır.

Deprem etkisinde kalan yapı, başlangıçta bütün elemanları ile (toplam kütlesi , toplam yatay rijitliği ile) devrededir. Bu taşıyıcı sistemin ve duvarların oluşturdukları yatay rijitlikler esas olmak üzere dağılan yatay yükler süneklikleri farklı olan, fakat başlangıçta beraber çalışan betonarme çerçeve ile dolgu duvarları tarafından birlikte karşılanır. Ancak depremin başlangıcından bir süre sonra gevrek olan dolgu duvarlarının çatlayarak devreden çıkması olasılığı yüksektir. Bu aşamadan sonra çıplak çerçeve depreme karşı koyacak, dolgu duvarlarının etkisi ise sadece kütle yönünden sürecektir (Ersin, 1997).

Bundan da anlaşılabacağı üzere, dolgu duvarlı taşıyıcı sistem periyotları deprem başlangıcında oldukça küçük olacak, depremle birlikte hasara uğrayan duvarların etkisini yitirmesi ile sistem, mevcut yöntemlerle hesaplama sonucu elde edilen periyot değerlenirlerine ulaşacaktır. Bu nedenle deneysel çalışmalarda mevcut yapılan serbest titreşimlerinin bulunması ve elde edilen serbest titreşim ölçümlerinin hesap sonuçlarıyla karşılaştırılması, çalışmanın testi açısından oldukça önemlidir. Bu çalışmada; dolgu duvarlar üzerine yapılan deneysel çalışmalarla, serbest titreşimi ölçülen dolgu duvarlı sistemlerin kuramsal çalışmaları araştırılmıştır. Elde edilen dolgu duvar modelleri deneysel çalışması yapılmış olan bir binada değişik kat sayılarına göre lineer ve nonlineer olarak hesaplamıştır. Hesaplarda sonlu elemanlar yöntemi kullanılmış, başlangıçta ele alınan modellerle deneysel çalışmaların eşitliği sağlanmıştır. Bu sayede aynı yapının kat sayıları değiştirilerek dolgu duvarların değişik kat sayılarına sahip yapılardaki etkisi araştırılmıştır.

1.2. Konu İle İlgili Yapılan Çalışmalar

Dolgu duvarların çerçevelere veya tüm yapı sistemine etkisi son yıllarda birçok araştırmacıya konu olmuştur. Sıvalı tuğla elemanların basınç dayanımları, çerçeveli-çerçevesiz tuğla duvarların dayanımlarının belirlenmesi, dolgu duvarların çerçeveyle etkileşimlerinin saptanması gibi birçok konu araştırmalara girmiştir. Ancak günümüz yönetmeliklerinde dolgu duvarların yatay rijitliğe katkısı güvenli tarafta kalınacağı kabulü ile ihmal edilmiştir.

Dowrick (1987)'e göre dolgu duvarlar yapıların dayanımını ve rijitliğini, enerji yutma

kapasitesini arttırmaktadır. Deprem kesme kuvveti dolgu duvarlı yapılarda artmakta, taşıyıcı elemanların dağılımı dolgu duvarlı yapılarda değişmektedir.

Benzer çalışmalar Bayülke (1998), (2001), Aytun (1972) ve Karadoğan ve diğ.(1997) tarafından da yapılarak dolgu duvarların sistem rijitliğini arttırdığı gibi, yapı periyotlarını küçülttüğü de görülmüştür.

Altın ve diğ. (1992)' nin dolgu duvarlı çerçeveler üzerinde yapmış oldukları çalışmada, dolgu duvar ile çerçeveler arasında tam bir bağ sağlanırsa çerçeve rijitliği ve sistem dayanımının oldukça arttığı söylenmektedir.

Govindan ve diğ.(1986), dolgu duvarlı ve duvarsız betonarme çerçeveler üzerinde deney yapmışlardır. DeneySEL ve kuramsal yapılan çalışma sonucunda dolgu duvarlı çerçevelerin basit çerçevelere göre daha çok taban kesme kuvveti aldığı saptanmıştır.

Mehrabi ve diğ. (1996) 'nin yapmış oldukları çerçeve deneylerinde, çeşitli tip tuğladan oluşan dolgu duvarlar kullanılmış, tuğla cinsine göre dolgu duvarların taşıma kapasiteleri ölçülmüştür. Boşluksuz tuğlalı çerçevelerin, boşluklu tuğlalara nazaran yük taşıma kapasitelerinde %25 oranında artış kaydedilmiştir.

Negro ve Verzeletti (1996), dolgu duvarlı ve duvarsız 1/1 ölçekli 4 katlı betonarme yapı üzerinde bir dizi deneySEL çalışma yapmışlardır. Çalışmalarında dolgu duvarlı yapının dolgu duvarsız yapıya oranla yük taşıma kapasitesinde 1,5 kat artış belirlemişlerdir.

Govindan ve Santhakumar (1986) çerçeve ve dolgu duvarlı çerçevelerden oluşan 7 katlı sistemler üzerinde deneySEL çalışmalar yapmışlardır. Çalışma sonucunda her iki sistem arasındaki rijitik, süneklik , dayanım ve enerji yutma kapasiteleri karşılaştırmıştır.

Smith ve Carter (1969), dolgu duvarlar üzerinde çeşitli deneyler yapmışlar ve deney sonuçlarını kuramsal çalışmaları ile karşılaştırmışlardır. Karşılaştırmalarında dolgu duvarlarının elastik bölgede çapraz pandül çubuk gibi davrandıkları belirlenmiştir.

Zarnic ve Tomazevic (1988),(1995) uzun zaman süren çalışmaları sonucunda, dolgu duvarlı çerçeveleri yanal yükler altında test ederek, gerek deneysel ve gerekse analitik sonuçlar elde etmişler ve bir metot geliştirmişlerdir. Bu çalışmalarda dolgu duvarların çerçeveye katkısı bazı parametrelerle ifade edilmiştir.

Zarnic, Tomazevic ve Velehousky (1986), çalışmalarında dolgu duvarlarının yapıya yararlı ve zararlı yönde etkilerinin olduğunu belirtmiştir. Buna göre; dolgu duvarların etkisinin analizlerde dikkate alınması durumunda inşasında da buna dikkat edilmeli, şayet dolgu duvarların etkisi hesaplarda dikkate alınmıyorsa inşa sırasında da dolgu duvarlar uygun derzlerle sistemden koparılmalıdır.

Focardi ve Manzini (1986), çeşitli tipte 28 adet dolgu duvarlı çerçeve üzerinde deneysel ve kuramsal çalışma yaparak, dolgu duvarların çerçeveye diyagonal olarak bağlı şekilde hesaplanabileceğini belirtmişlerdir.

Son dönemlerde yapılan bu çalışmalar esasen Holmes (1961/1963) ve Liauv (1973/1979) tarafından da araştırılmıştır. Özellikle Holmes yapmış olduğu çalışmalar sonucunda, dolgu duvarların eşdeğer diyagonal şeklinde modellenebileceğini göstermiştir.

Malick (1980) ve Yılmaz (1982) ise, dolgu duvarlı çerçeveleri sonlu elemanlar metodu ile analiz etmiştir.

Rosenblueth (1980), dolgu duvarlı çerçevelerin hesabını çubuk teorisine dayanan çerçeve modeli şeklinde ele alınabileceğini göstermiştir.

Kaplan (1963) ve Yılmaz (1982), modellerinde basınç diyagonal modelini ele almış ve buna ait çeşitli uygulamalar yapmışlardır.

Karadoğan ve diğerleri (1997)'nin yapmış oldukları çalışmada dolgu duvarlar eşdeğer çapraz çubuklarla tarif edilmiştir. Bununla birlikte yapıların mekanik modellerin kurulmasında yapıların küçük titreşim ölçümlerine dayalı bir yol üzerinde durmuşlardır.

BÖLÜM 2

2. DOLGU DUVARLARIN ÇERÇEVEYE VE YAPIYA ETKİLERİ

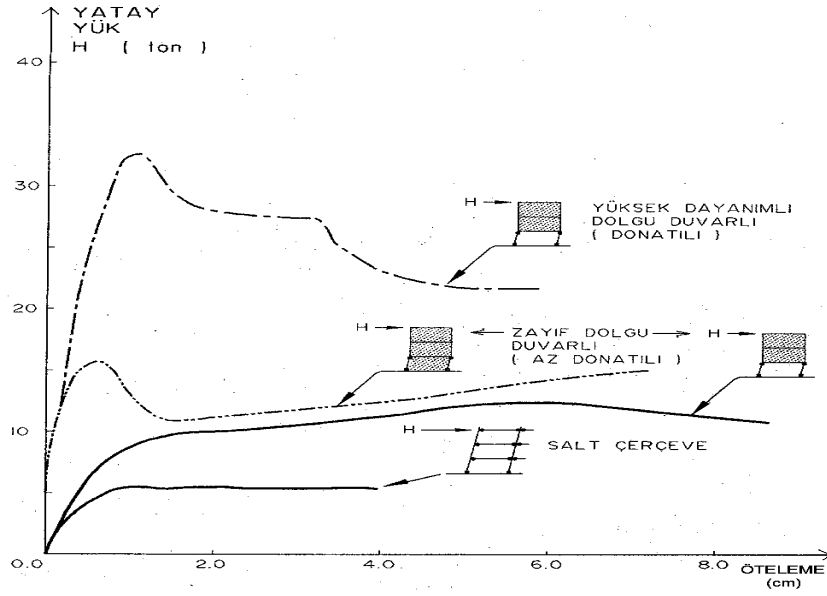
2.1. Dolgu Duvarların Yapı Davranışına Etkisi

Betonarme yapılarda dolgu duvarlar taşıyıcı olarak ele alınmamakta, iç ve dış mekanlarının bölünmesinde kullanılmaktadır. Yapısal analizlerde de yalnızca düşey yük veya yapıya etkiyen sabit yük olarak dikkate alınmaktadır. Bu nedenle çoğunlukla boşluklu olarak üretilmektedir. Boşlukları nedeni ile yapıya daha az yük gelmekte, ancak dayanımları da düşmektedir.(Yorulmaz, Altan, 1971). Bununla beraber, yapılan çalışmalar göstermiştir ki dolgu duvarların rijitlik katkısı kütle katkısına oranla daha çok daha baskındır (Ersoy, Tankut, 1992). Dolgu duvarlar yapının rijitliğini arttırması yanında yapının enerji yutma ve sönüm kapasitesini arttırmakta, yapı periyotlarını azaltmaktadır. Yapılan çok sayıda deneysel çalışmalarda dolgu duvarlı çerçevelerin dayanımlarının, rijitliğinin değiştiğini göstermektedir.

2.1.1. Dolgu Duvarlı Çerçevelerin Yük Taşıma Kapasitesi ve Dayanımı

Bina hesaplarında tuğla, beton, briket vb. malzemeden yapılan bölme duvarlarının yük almadıkları kabul edilir. Ancak bu duvarların düşük yatay yükler altında önemli rijitlikleri ve yatay kuvvet taşıma güçleri vardır.

Hem çerçeveyi hem de duvarı örten sıvalar duvar ve kolonun özellikle hafif depremlerde ve şiddetli bir depremin başlangıcında birlikte hareket edip ötelendikleri için yapıların depremin başlangıcında büyük rijitlikleri bulunmaktadır (Şekil 2.1).



Şekil 2.1. Dolgu Duvarlı Çerçevenin Yatay Yükler Altındaki Davranışa Etkisi (Bayülke, 2001)

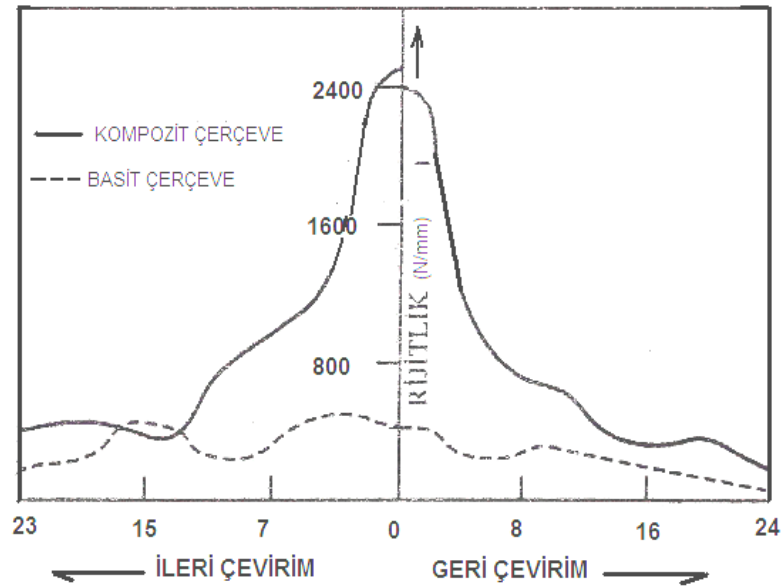
Betonarme çerçevenin içinde yer alan tuğla dolgu duvarlar yapının ötelenmelerini tıpkı perde duvarlar gibi kısıtlamaktadır. Ancak bu durum şiddetli bir depremin başlangıcında ya da hafif şiddetli depremlerde tam geçerlidir. Hasar görmeden önce perde duvar davranışı gösterebilen bölme duvarları, tıpkı betonarme perde duvarlar gibi yapı planında simetrik konumlarda yerleştirilmişlerse ya da yapının bazı bölümlerinde yoğunlaşmış iseler yapıda burulma etkileri oluştururlar (Bayülke, 2001).

Dolgu duvarlı çerçevelerin yük taşıma kapasitelerinin belirlenmesine ilişkin Govinden ve diğerleri (1986)' nin tek açıklıklı, 7 katlı numuneler üzerinde yapmış oldukları deneylerde, dolgu duvarlı çerçevelerin basit çerçeveye oranla 2 kat daha fazla yük taşıma kapasitelerine sahip oldukları görülmüştür.

2.1.2) Dolgu Duvarlı Çerçevelerin Yatay Rijitliği

Govinden ve diğerleri (1986)'nin deneysel çalışmalarında dolgu duvarları çerçevelerin yük dayanımlarının yanı sıra dolgu duvarların yatay rijitliğe, sünekliğe ve enerji yutma kapasitesine katkıları belirlenmiştir.

Çalışmalarında yatay rijitlik, çerçevenin en üst katının birim yer değiştirme için gerekli kuvvet olarak ele alınmıştır. Şekilde 2.2' den de görüleceği gibi yüklemenin başlangıç safhalarında dolgu duvarlı çerçeve, basit çerçeveden yaklaşık 5 kat daha rijittir. Deneysel çalışmada çevrimsel yükleme sonucunda, duvardaki çatlakların artması ile rijitlikte de belirgin bir azalma görülmektedir. Deneyde belirlenen servis yükü (işletme yükü) basit çerçevede 36 kN iken, dolgu duvarlı çerçevede 73 kN' dur. Diğer taraftan dolgu duvarlı çerçevenin göçme yükü 146 kN'dur.



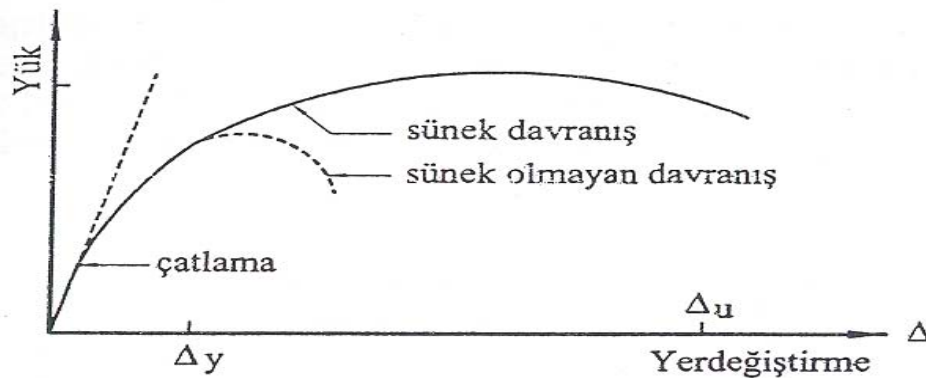
Şekil 2. 2. Dolgu Duvarlı ve Basit Çerçevede Çevrimsel Yükler Sonucunda Rijitliğin Değişimi (Govindan ve Santhakumar, 1986)

36 kN' luk işletme yükü altında dolgu duvarlı çerçevenin rijitliği, basit çerçeve rijitliğinin 2,67 katı kadardır. 73 kN' luk işletme yükü altındaki dolgu duvarlı çerçevelerin rijitliği 36 kN' luk işletme yükü altındaki basit çerçevenin rijitliği kadar olmaktadır. Bu durumda, dolgu duvarlı çerçevelerin, basit çerçeveli sistemlerin işletme yükünden daha fazla işletme yükü taşıyabilecekleri ve rijitlik azalması olmaksızın bu yükü taşıyabildikleri görülmüştür.

Negro ve Verzelletti (1996)' nin deneysel çalışmasında iki doğrultuda iki açıklıklı 4 katlı çerçeveler, basit ve dolgu duvarlar olarak test edilmişlerdir. Çalışmalarında dolgu duvarlı çerçevelerin yatay yükler altında basit çerçeveye nazaran daha rijit oldukları, bununla birlikte yatay yükler altında maksimum deplasmanın, dolgu duvarlı çerçevelerin basit çerçeveye nazaran 2,6 kat daha az yer değiştirme yaptıkları belirlenmiştir.

2.1.3) Dolgu Duvarlı Çerçevelerin Sünekliği

Taşıyıcı sistemin veya yapı elemanlarının çeşitli etkiler ve yükler etkisi ile zorlanması sonucunda ortaya çıkan enerjinin büyük bir bölümünü, mukavemetinde önemli kayıplarla, kararsız denge hali olmaksızın büyük şekil değiştirme ve elastik olmayan davranışla yutma yeteneğine süneklik denir. Süneklik kavramı aynı zamanda büyük şekil değiştirme ve yer değiştirme yapabilme, tekrarlı yüklemde enerji yutabilme özelliğini de kapsamaktadır.



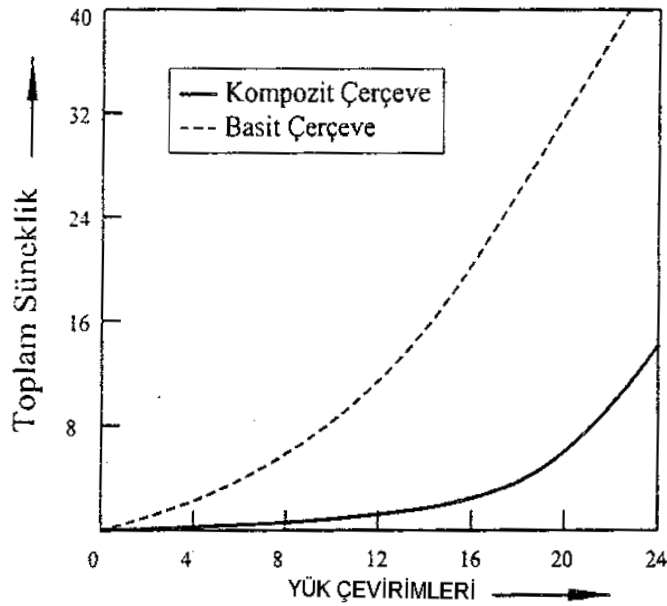
Şekil 2.3. Sünek ve Sünek Olmayan Davranışa Ait Yük-Yer değiştirme Eğrisi

Şekil 2.3’de sünek olan ve sünek olmayan davranışa ait yük-yer değiştirme eğrisi yer almaktadır. Sünek davranışta, sistemde meydana gelen veya sistemi zorlayan enerjinin bir kısmı doğrusal olmayan davranış ile yutulurken, büyük şekil değiştirmeler yeniden dağılıma imkan verecek ve taşıma kapasiteleri olan diğer elemanların daha fazla yük almasını sağlayacaktır. Şekilde de verildiği gibi süneklik (μ), ulaşılabilecek toplam yer değiştirmenin (Δu), elastik sınırdaki yer değiştirmeye oranı olarak tarif edilebilir (Denklem 2.1).

$$\mu = \Delta u / \Delta y$$

2.1

Govinden ve diğerleri (1986)’nin yapmış oldukları çalışmada basit çerçeveli sistemle, dolgu duvarlı çerçevelere ait sistemlerin süneklikleri karşılaştırıldığında basit çerçevelerin daha sünek davrandığı görülmüştür. Basit çerçevelerin süneklikleri, dolgu duvarlı çerçevelere nazaran 3,29 kat daha büyük olduğu görülmüştür.(Şekil 2.4)

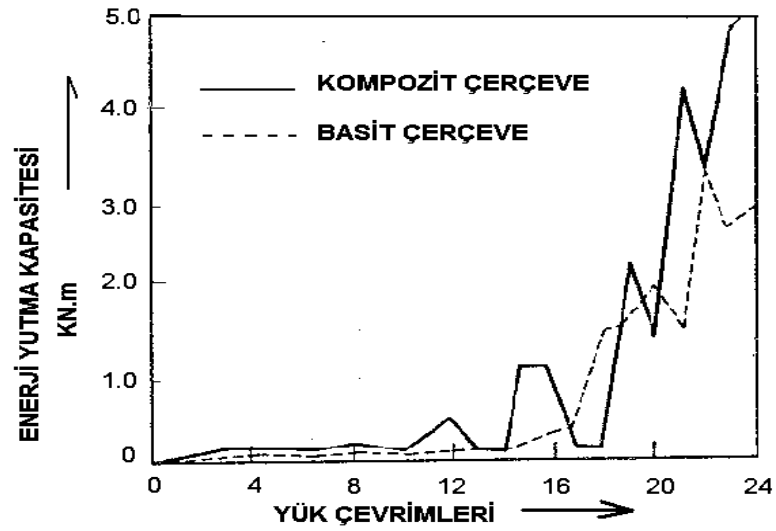


Şekil 2. 4. Tekrarlı ve Yön Değiştiren Yükleme Etkisinde Sünekliklerin Karşılaştırılması
(Govindan ve Santhakumar, 1986)

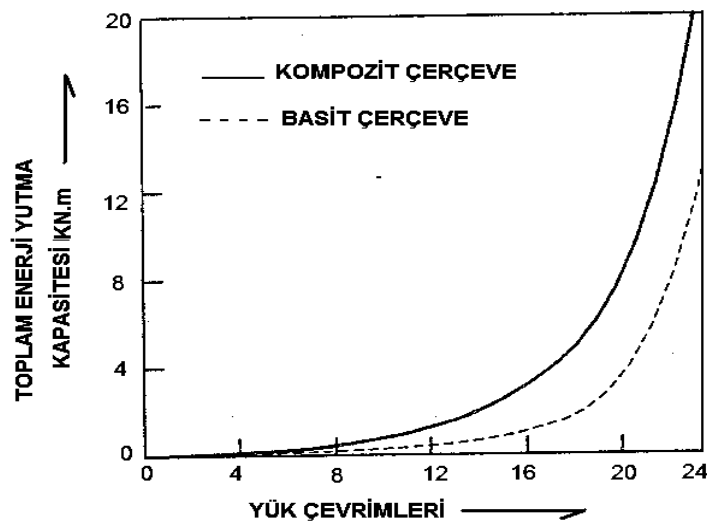
2.1.4) Dolgu Duvarlı Çerçevelerin Enerji Yutma Özellikleri

Enerji tüketme kapasitesi, sisteme uygulanan yükleme ile oluşan yük-yer değiştirme eğrisinin altında kalan alanın hesaplanması olarak tanımlanabilir.

Govinden ve diğerleri (1986)'nin çerçeve deneylerinde her yük çevrimi sonucunda basit ve dolgu duvarlı çerçevelerde yutulan enerji miktarları belirlenmiştir. Bunlara ait şekiller aşağıda Şekil 2.5 ve Şekil 2.6' da verilmiştir.



Şekil 2. 5. Yük Çevrimleri Sırasında Söndürülen Enerji Miktarı



Şekil 2. 6. Yük Çevrimleri Sırasında Söndürülen Toplam Enerji Miktarı

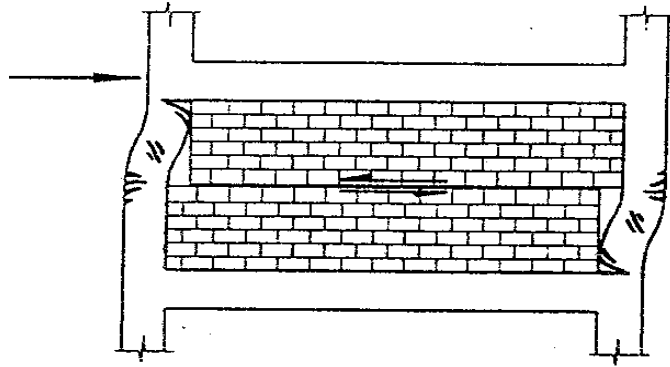
Bu çalışmalarda dolgu duvarlı çerçeve dayanımları basit çerçeve dayanımlarından daha yüksek olmaktadır. Buna bağlı olarak da, dolgu duvarlı çerçevelerin sönüm kapasitesi basit çerçevelere göre daha yüksek olmaktadır ki; deneylerde bu oran 3,29 katı büyüklüğündedir.

2.2. Dolgu Duvarların ve Dolgu Duvarlı Çerçevelerin Hasar Biçimleri

Betonarme yapı içinde yer alan dolgu duvarlar gerek yapı elemanlarının sehiminden ve gerekse düşey yük, deprem vb. yüklerden dolayı hasara uğrarlar. Duvarda kullanılan tuğlanın cinsine, duvar kalınlığına, duvarda ve tuğlalar arasında kullanılan sıva ve harca, dolgu duvarların diğer taşıyıcı elemanlarla bağlantısına, duvarda yer alan kapı ve pencere boşluklarına kadar birçok etken duvar hasarında etken olmaktadır.

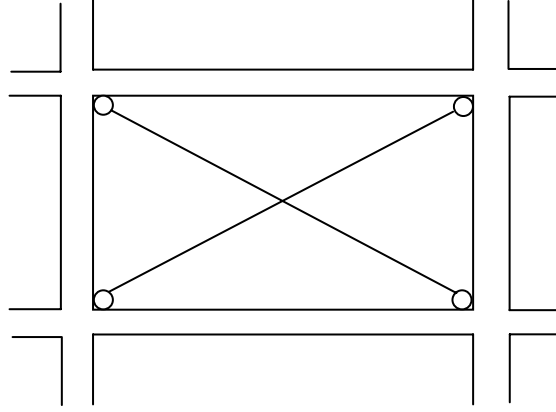
Dolgu duvarlı çerçeveler ve binalar üzerinde yapılan deneysel çalışmalarda, özellikle dolgu duvarlar üzerinde yer alan kapı, pencere boşluklarının yapı rijitliğine ve hasara etkisinin yüksek olduğu görülmüştür.(Zarnic,Tomazevic 1995 ve 1995),(Koçak, 1998).

Tekrarlı yükler altında dolgu duvarlı çerçeveler yatay yükün veya yatay yer değiştirmenin küçük değerlerinde, dolgu duvarla çerçeve elemanları aynı anda hareket edecek, perde davranışı göstereceklerdir. Yer değiştirmenin artması ile birlikte çerçeve elemanları eğilme davranışı gösterirken ,dolgu duvarlarda kayma davranışı göstereceklerdir (Şekil 2.7).



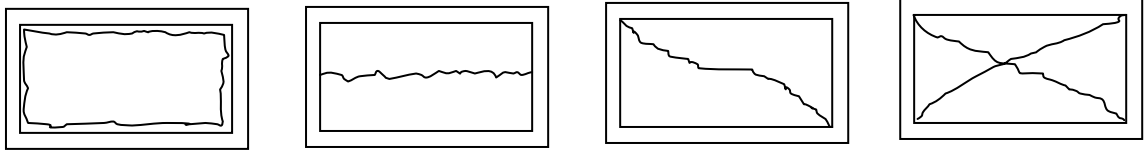
Şekil 2. 7. Dolgu duvarlı çerçevelerin yatay yük altındaki davranışı

Başlangıçta dolgu duvarlı çerçevenin davranışı çapraz çubuklu çerçevenin davranışıyla aynı olacaktır (Şekil 2. 8). Dolgu duvarlarda kayma davranışı sonucu kesme kırılmalarının meydana gelmesiyle dolgu duvarlı çerçevenin davranışı Şekil 2. 7' deki gibi olacaktır (Pauley, Priestley 1992).



Şekil 2. 8. Dolgu duvarların çapraz diyagonal çubuklarla modellenmesi

Bunun yanı sıra yüksek dolgu duvarlarda eğilme kırılması, dolgu duvarların çerçeve elemanları ile bağlantı noktalarında hasarlar da, diyagonal çatlaklar gibi hasarlarda meydana gelmektedir (Mehrabi,Shing,1996). (Şekil 2. 9)

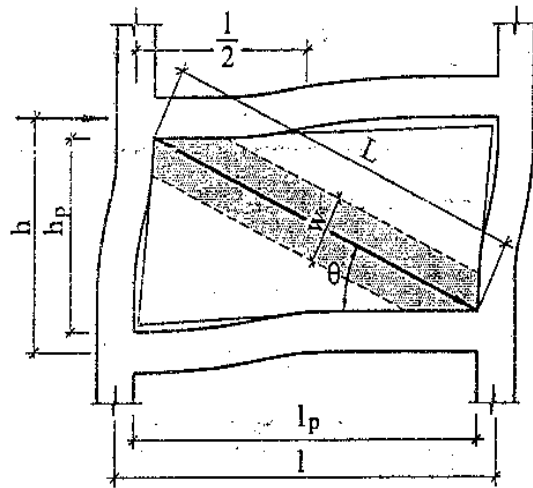


Şekil 2. 9. Dolgu duvarlar hasarları

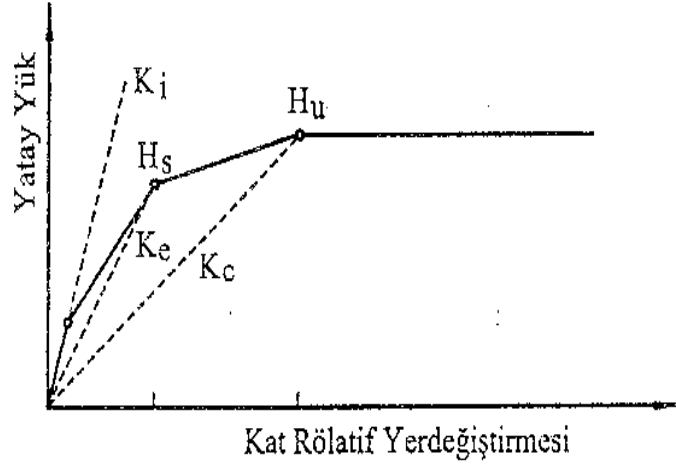
2.3) Dolgu Duvarlı Çerçevelerin Modellenmesi

Dolgu duvarlı çerçevelerin modellenmesi ve hesabı konusunda çok sayıda araştırma ve deneysel çalışma olmasına karşın henüz geçerliliğini kanıtlamış ve fikir birliğine varılmış bir yöntem bulunmamaktadır. Ancak bir çok araştırmacı dolgu duvarlı çerçevelerin modellenmesinde dolgu duvarlarını eşdeğer çapraz çubuklarla temsil etmişlerdir (Smith ve Carter, Montague ve Taylor, Holmes, Liauw, Rosenblueth, Yılmaz 1982, Kaplan 1983).

İki ucundan mafsallı çubuk olarak modellendirilen dolgu duvarların kalınlığı ve genişliği de çeşitli faktörlere bağlı olarak belirlenmiştir. Gerek S.Smith ve Cartel ve gerekse Mainstone ve Zarnic (1995) yapmış oldukları çalışmalarda dolgu duvarların davranışlarını doğrusal olmayan yöntemlerle incelemişlerdir. Zarnic (1995)' in yapmış olduğu çalışmada dolgu duvarlı çerçeveler L uzunluğunda ve w genişliğinde bir çubuk olarak modellenmiş, yük-yer değiştirme eğrisi ise ideal bir zarf ile tarif edilmiştir (Şekil 2. 10 ve Şekil 2. 11).



Şekil 2. 10. Dolgu Duvarların Modellenmesi, Zarnic (1995)



Şekil 2. 11. Dolgu Duvarlı Çerçevede Rijitlik Değişimi

İdealleştirilmiş grafikte;

Ki:Dolgu duvarlı çerçevelerin başlangıç rijitliğini,

Ke:Dolgu duvarlı çerçevelerin efektif rijitliğini,

Kc: Dolgu duvarlı çerçevelerin kayma dayanımına ulaştığı andaki rijitliği,

Hs:Dolgu duvarda büyük çatlaklar oluştuğu andaki dayanımı,

Hu:Dolgu duvarlı çerçevenin kayma dayanımını göstermektedir.

Şekil 2. 12' den de görüleceği gibi dolgu duvarlı çerçevelerin başlangıç rijitliği dar bir elastik deformasyon sınırı içinde kalmaktadır (K_i). Zarnic' in yapmış olduğu bu çalışmada elastik yer değiştirmelerin olduğu bölgeyi ihmal ederek, yeni bir efektif yanal rijitlik K_e ' yi tanımlamıştır. Bu rijitliğin tanımlanmasında da konsol çalışan deprem perdesinin yanal rijitliğine benzetmiş ve modellemiştir. Deneysel çalışmaların sonucunda kayma modülü Denklem 2. 2' deki gibi ifade edilmiştir.

$$G_p = \frac{1}{\frac{A_p}{h_p \cdot K_{ep}} \cdot \frac{1}{E_p} \left(\frac{h_p}{I_p} \right)^2} \quad (2.2)$$

Bu ifadede;

A_p = Dolgu duvarın kesit alanını,

h_p = Dolgu duvarın yüksekliğini,

I_p = Dolgu duvarın boyunu,

E_p = Dolgu duvarın Elastisite Modülünü,

K_{ep} = Dolgu duvarın kesme mukavemetinin taşıma gücünün %30' una ulaştığı zamandaki, etkili rijitliğini göstermektedir.

Zarnic dolgu duvarlarının kayma modülünün (G) başlangıç değerinin, elastisite modülünün %6-12' si kadar olduğunu belirtmektedir. Dolgu duvarlı çerçevelerin yatay rijitliği ise, Denklem 2.3' de verildiği gibi ifade edilmiştir.

$$K_e = \frac{1}{\frac{h_p^3}{3 \cdot E_p \cdot I_e} + \frac{1,2 \cdot h_p}{G_p \cdot A_e}} \quad (2.3)$$

Burada;

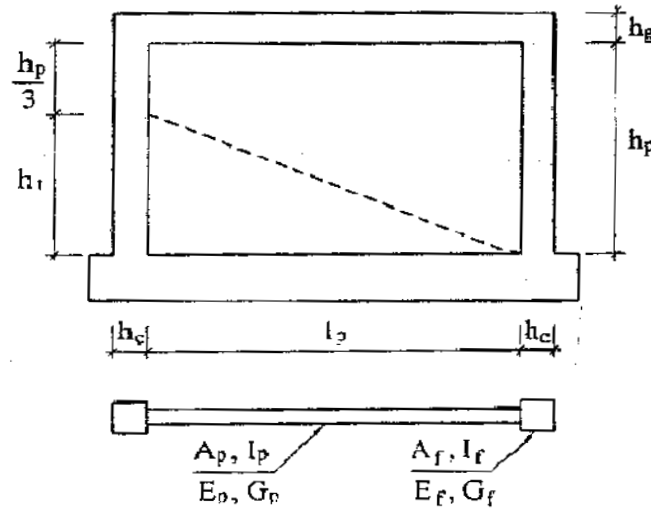
$$A_e = A_p + 2 \cdot C_E \cdot A_f \cdot \frac{G_f}{G_p} \quad (2.4)$$

$$I_e = I_p + 2.C_E \cdot \frac{E_f}{E_p} \left(I_f + A_f \cdot \frac{(h_c + I_p)^2}{4} \right) \quad (2.5)$$

şeklindedir. Bu ifadelerde “p” indisleri dolgu duvara, “f” indisleri ise çerçeve değerlerine aittir.

(2.4) ve (2.5) denklemlerinde verilen C_E katsayısı dolgu duvarların çerçeveye katkısını ifade etmektedir. Duvar ile çerçeve arasında çok iyi bir bağlantı yapılmışsa C_E değeri 1, boşluk olması durumunda 0 alınabilir.

Yukarıda verilen ifadelerin tümü duvar boyunca en çok küçük çatlakların olması durumu içindir. Dolgu duvarlarında büyük çatlakların ve yer değiştirmelerin bulunması durumunda sistemin yatay rijitliği, duvarı temsil eden diyagonal çubuğun bir ucu duvarın alt kenarında, diğeri duvarın üst ucundan 1/3 kadar altından bağlanmasıyla elde edilecektir (Şekil 2.12).



Şekil 2.12. Kayma Dayanımına Ulaşıldığı Anda Dolgu Duvarlı Çerçevenin Modellenmesi ve Eşdeğeri

Bu durumda duvar rijitliği;

$$K_t = \frac{1}{\frac{5h_t^3}{12.E_p.I_p} + \frac{0,6.h_t}{G_p.A_p}} \quad (2.6)$$

şeklinde hesaplanabilir. Buradan çubuğun enkesit alanı;

$$A_d = K_t \cdot \frac{L_d}{E_p}, \quad h_d = \frac{A_d}{t_p} \quad (2.7)$$

olarak belirlenebilir. Pandül çubuğun genişliği olan ω ise;

$$w = \frac{A_d}{t} \quad (2.8)$$

şeklinde belirlenebilmektedir. Zarnic' in yapmış olduğu çalışmalara benzer şekilde Mainstone' da yapmış olduğu çalışmada çapraz pandülün genişliğini aşağıda verilen (2.9) bağıntısı ile tanımladığı “ $\lambda_h h$ ” ifadesine bağlı olarak;

$$\lambda_h h = \sqrt[4]{\frac{E_p.t.Sin2\theta}{4.E_f.I_c.h_p}} \quad (2.9)$$

$$w = 0,175(\lambda_h h)^{-0,4} \cdot \sqrt{h^2 + l^2} \quad (2.10)$$

olarak tanımlamıştır. Buna bağlı olarak rijitlik 2.11 bağıntısı ile tanımlanmıştır.

$$K = \frac{E_p.\omega.t.Cos^2\theta}{\sqrt{h^2 + l^2}} \quad (2.11)$$

Bu eşitliklerde;

E_p = Dolgu duvarın elastisite modülü

t_p = Duvar kalınlığı

h_p = Duvar yüksekliği

E_c = Kolonun elastisite modülü

I_c = Kolonun atalet momenti

h = Kolonun yüksekliği

l = Kiriş uzunluğunu göstermektedir.

Yüksel ve diğerleri (1995), Ersin (1997), Ersin ve diğerleri (1998)' nin yapmış oldukları çalışmada dolgu duvarlı yapıların mekanik özelliklerinin kurulabilmesi amacıyla yapıların küçük titreşim ölçümlerinden faydalanılmıştır. Modellemede dolgu duvarlar köşegenlerden mafsallı şekilde bağlanan çubuklardan teşkil edilmişlerdir ve pandül çubuğun eksenel rijitliği;

$$EF = E \cdot t \cdot w \quad (2.12)$$

şeklinde tanımlanmıştır. Burada;

E = Duvarın elastisite modülü

t = Duvarın kalınlığı

w = Duvarın genişliğidir.

$w = \alpha \cdot L_d$ olarak tanımlanırsa;

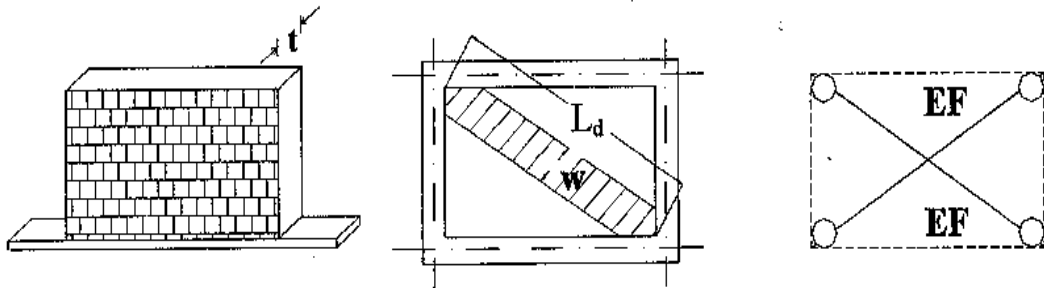
$$EF = E \cdot t \cdot \alpha \cdot L_d \quad (2.13)$$

şeklinde olacaktır. Burada α ; pandül çubukların etkin genişliğinin, pandül boyuna göre tanımlanmasını sağlayacak katsayıdır.

(2.13) eşitliğini, boşluk bulunduran dolgu duvarlarını da kapsayacak şekilde yazabilmek için β gibi ve diğer etkenler için de γ gibi başka çarpanlarda ele alındığında eşitlik;

$$EF = E_t \cdot \alpha \cdot L_d \cdot \beta \cdot \gamma \quad (2.14)$$

şeklinde olmaktadır. Aşağıda verilen şekilde dolgu duvarların modellenmesi yer almaktadır (Şekil 2.13).



Şekil 2.13. Bölme duvarı, eşdeğer çapraz ve eksenel rijitliği

Bu çalışmada ele alınacak hesaplar ve modellemeler küçük titreşim ölçümleri de dikkate alınarak yapılan çalışmalar şeklindedir. Yüksel ve diğerleri (1995), Ersin (1997) ve diğerleri (1998)' nin yapmış oldukları çalışmalarda dolgu duvarların modellenmesi ve modelleme amacıyla yapıların serbest titreşimleri ölçülmüştür. Deneysel ve kuramsal çalışmalarla modellemede ele alınan çarpanlar belirlenmiştir.

Bu çalışmada ise, yukarıda verilen literatürde ele alınan örnekler üzerinde çalışılmış, aynı modelde değişik kat sayılarına sahip olması durumu lineer ve nonlineer olarak incelenmiştir.

BÖLÜM III

3. DOLGU DUVARLI YAPILARIN SERBEST TİTREŞİM PERİYOTLARI VE MODELLENMESİ

3.1. Dolgu Duvarların Yapı Periyotlarına Etkisi

Yapılara gelen deprem yükleri yapının o andaki periyoduna bağlıdır. Yapının depreme dayanıklı tasarımında yapının hangi durumuna karşılık olan periyodu kullanılmalıdır?

Bir deprem yaşamamış yapının yatay rijitliği en yüksek düzeydedir. Tasarımda dikkate alınmayan ve hiç yük almayacağı kabul edilen dolgu ve bölme duvarları yapıya rijitlik vermektedir. Bir depremin başında dolgu duvarlı betonarme çerçeve yapı “ perde duvarlı” yapı gibidir. Çerçeve taşıyıcı sistemin 1. mod periyodunun betonarme perde duvarlı yapının periyodundan farkı çok azdır.

Betonarme çerçeve taşıyıcı sistemli yapının yalnızca çerçeve dikkate alınarak yalnızca analitik yöntemlerle (Raileigh yöntemi gibi) hesaplanan periyodu, yapının dolgu duvarlarının etkisinin de için de olacağı ölçülmüş periyodundan %100 kadar daha büyük olabilir (Bayülke, 1989).

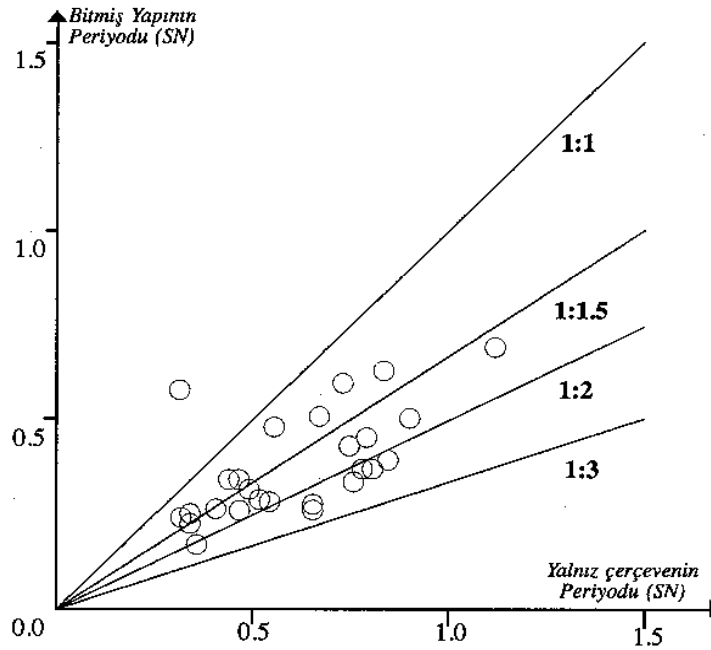
Bu konuda Bayülke’ nin Ankara ve çevresinde 4-5 katlı betonarme yapılar üzerinde yapmış olduğu deneysel çalışmalarda, çerçeve ve sıvalı tuğla duvarlarla örülmüş yapıların serbest titreşim periyotları arasında %70 ile %100 küçülmeler olduğunu belirlemiştir (Şekil 3.1).

Deprem başlangıcında yapı son derece rijit ve kısa periyotludur. Deprem yer hareketinin çok kısa periyotlu bileşenlerinin etkisi altındadır.

Deprem etkisi sürdükçe, deprem kuvvetlerinin etkisi sonucu dolgu duvarlarının çatlamasıyla birlikte duvarın yapı rijitliğine katkısı azalmaya başlar. Çerçevenin kolon ve kiriş elemanlarındaki çatlaklar ve yatay yük düzeyleri taşıyıcı sistemin rijitliğinin azalmasına yol

açar. Deprem sürdükçe yapının rijitliğinin azalması sonucu yapının 1. mod titreşim periyodu başlangıç periyodunun 1-2 katı kadar uzayabilir bu durumda yapıya 1. mod periyodunda gelen ivmeler azalırken daha yüksek titreşim modlarından gelen uç ivme değerleri artabilir. Yapı yüksek modlardaki titreşimlerden dolayı hasar görebilir.

Deprem bittiği zaman yapıdaki kalıcı hasar sonucu yapının periyodunda önemli artışlar olabilir. Pek çok zaman yapıda görünür bir hasar olmasa bile yapı periyodunda dikkate değer artışlar olabilir. Eğer yapıda deprem sonrasında bir onarım yada güçlendirme yapılacaksa bu amaçla seçilecek deprem kuvvetlerinin hesabında yapının periyodu en az deprem öncesi kadar kısa alınmalıdır (Bayülke 1998).



Şekil 3.1. Betonarme Çerçevesel Yapılarda dolgu duvarlarının yapı periyotlarına etkisi
(Bayülke, 1998)

Depreme dayanıklı yapı tasarımında yalnızca taşıyıcı sisteminin rijitliğine dayanan hesap yöntemleri yapıların deprem başlangıcındaki periyotlarını gerçekçi olarak vermemektedir. Öte yanda taşıyıcı olmayan elemanların katkısını dikkate almak uğraştırıcıdır. Bu katkının genel kabul görmüş ve yeterli ölçümlerle hesaplanmış matematik modülleri henüz yoktur. Dolgu duvar malzemelerinin çok değişik mekanik özelliklerde olması ve bu özelliklerinde deneysel

olarak önceden belirlenmiş olması gerekmektedir. Bu nedenlerle ölçümlere dayanarak çıkarılmış ampirik formüllere gereksinim vardır.

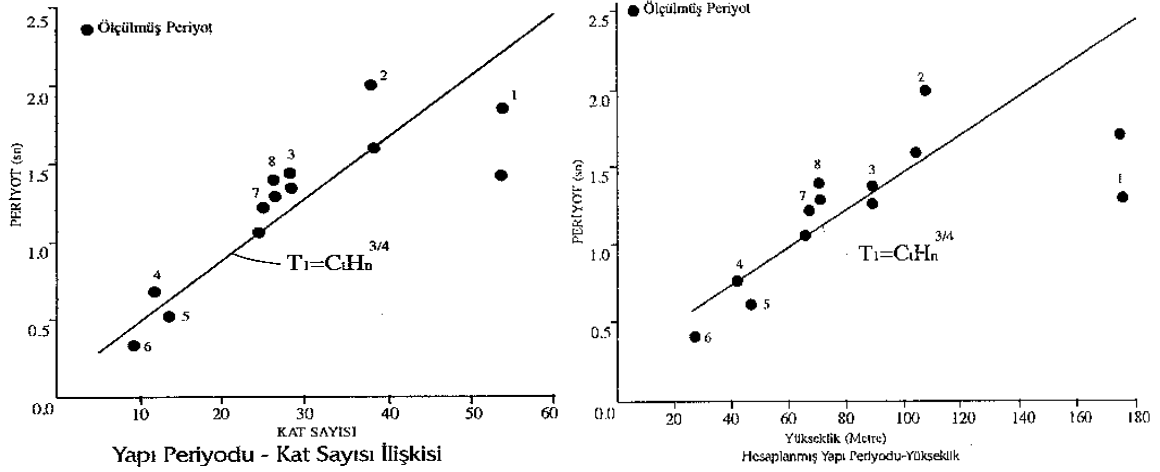
“Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik”te verilen,

$$T = C_t \cdot H_n^{0,75} \quad (3.1)$$

denklemleri ile hesaplanmış yapı periyotları Türkiye’de periyodu ölçülmüş çok katlı yapıların periyotları ile karşılaştırıldığı zaman oldukça iyi sonuçlar vermektedir (Çizelge 3.1) (Şekil 3.2).

Çizelge 3.1. Yapıların Ölçülen ve Denklem 3.1’ e Göre Hesaplanmış Değerleri (Bayülke, 1998)

YAPI	Kat Sayısı	Yükseklik (m)	Periyot T1 (sn)	
			Deneysel	Kuramsal
Mersin Gökdelin	52	175	1.79 1.42	2.40
İzmir Hilton	36	108	2.00 1.67	1.68
Ankara Sabancı Kız Yurdu	25	85	1.47 1.37	1.40
ODTÜ Mühendislik Fakültesi Binası	11	41.55	0.82	0.82
Ankara TÜRK-İŞ Blokları	14	44.1	0.606	0.86
Ankara Yurt Binası	8	25.74	0.47	0.57
Ankara İş Bankası Merkez Binası	23	69	1.324 1.19	1.19
Ankara Kızılay Gökdelin	24	72	1.35 1.42	1.24



Şekil 3.2. Yapı periyodu-kat sayısı ilişkisi (Bayülke, 1998)

3.2. Yapı Periyodu Üzerine Yapılan Araştırmalar

Binaların depreme karşı davranışında en önemli rolü oynayan parametrelerin titreşim periyotları ve söndürme katsayıları olduğu anlaşıldıktan sonra, binaların titreşimi üzerine pratik amaçlar için araştırmalar yapılmış ve bazı ampirik formüllerin geliştirilmesine çalışılmıştır. Bu formüller arasında San Francisco Deprem ve Rüzgar Yanal Kuvvetleri Müşterek Komitesinin teklif ettiği formül en önemlisidir.

$$T = 0,09 H / \sqrt{D} \text{ sn} \quad (3.2)$$

Burada, H bina yüksekliğini, D titreşim istikametinde bina genişliğini göstermektedir.

Japonya'da bazı araştırmacılar bu formülü Japonya'daki binalarda uygulamışlar ve katsayıda ufak bir değişiklik yapmak şartı ile titreşim periyodu ile bina boyutları arasındaki bağıntının yukarıdaki formülle ifade edilebileceğini görmüşlerdir. Diğer bazı Japon araştırmacılar da yüksekliğin yanında duvarın etkisini dikkate alarak periyot için aşağıdaki formülü önermişlerdir.

$$T = 1 / 50 \sim 1 / 80 T (4 + H(1 - 4y)) \text{ sn} \quad (3.3)$$

y : Duvar oranı (duvar boyu (m) / kat alanı (m²)) olup, titreşim istikametindeki bütün duvarlar dikkate alınmıştır. Diğer bir Japon araştırmacısı yüksek binalarda sismik duvar etkisini teorik ve

deneysel olarak incelemiş ve sonuçların değişik duvar miktarlarına göre oldukça dağınık olduğunun görmüştür.

$$T = 0,035 \sim 0,17 (N+0,5) \text{ sn} \quad (3.4)$$

Şili’li iki araştırmacı rijit duvarlı betonarme binalar için şu ampirik formülü önermiştir.

$$T = 0,024 (H^5 / \gamma)^{1/7} \text{ sn} \quad (3.5)$$

Yapı periyodunun daha iyi anlaşılabilmesi için; Almanya, Japonya, ABD, Hindistan, Meksika gibi ülkelerin deprem yönetmeliklerinde önerdikleri periyot formülleri aşağıda verilmiştir.

ALMANYA

i-Rayleigh oranı

$$T = 2\pi \sqrt{(\sum w_i \delta_i^2) / g \cdot (\sum F_i \delta_i)} \quad (3.6)$$

Burada;

F_i = Katlara etkiyen yatay kuvvet

δ_i = Kat yerdeğiştirmesi

w_i = Kat ağırlığı

g = yerçekimi ivmesi

ii-Temel alanın büyüklüğü ve zemin elastik modülüne bağlı olarak

$$T = 1,5 \sqrt{((h/3EI+1/C_k I_f) \sum (G_j+P_j) Z_j^2)} \quad (3.7)$$

Burada;

h = Bina yüksekliği

Z_j = Temel tabanı üzerindeki j noktasının kütle yüksekliği (m)

E = Yapının elastik modülü (MN / m²)

I = Eşdeğer elemanın atalet momenti

$C_k = \text{dyn } E_s / 0,25 \sqrt{A}$: Temel zeminin dinamik kaya rijitlik modülü (MN/m³)

A = Temel taban alanı (m²)

I_f = Temel atalet momenti

JAPONYA

$$T = h.(0,02+0,01\alpha) \text{ sn} \quad (3.8)$$

Burada;

T = Binanın doğal periyodu

h = Bina yüksekliği (m)

α = Çelik yapının toplam bina yüksekliğine oranı

A.B.D

i-Düktil çerçevesel binalarda

$$T = 0,10N \quad (3.9)$$

ii-Hesap halinde

$$T = 2\pi \sqrt{(\sum w_i \delta_i^2) / g. (\sum F_i \delta_i)} \quad (3.10)$$

iii-Diğer binalar

$$T = 0,05h_n / \sqrt{D} \quad (3.11)$$

Burada ;

N = Toplam katsayısı

w_i = Kat ağırlığı

F_i = Kata etkiyen yatay kuvvet

δ_i = Elastik yerdeşistirmeler

g = Yerçekimi ivmesi

h_n = Binanın temel üst kodunda ölçülen yüksekliği

D = Yatay yükler doğrultusunda bina genişliği

HİNDİSTAN

i-Düktil çerçevesel sistemler için

$$T = 0,1N \quad (3.12)$$

ii-Diğer binalar için

$$T = 0,09H/\sqrt{D} \quad (3.13)$$

N = Bodrumunda dahil olduğu kat sayısı

H = Bina yüksekliği (m)

D = Uygulanan deprem yüküne paralel yönde bina genişliği (m)

MEKSİKA

$$T = 2\pi (1/g \cdot (w_i \cdot x_i^2 / P_i \cdot x_i))^{1/2} \quad (3.14)$$

Burada;

w_i = İ.katın ağırlılığı

P_i = İ.kata etkiyen yatay kuvvet

x_i = Kuvvet yönündeki yerdeğistirme

g = Yerçekimi ivmesi

Göröldüğü gibi binanın temel titreşim periyodu değişik parametrelerin bir fonksiyonudur. Bu parametreler arasında kat sayısı, kat ağırlılığı ve yükseklik önemli bir rol oynamaktadır.

3.3. Binaların Serbest Titreşim Özelliklerinin Saptanması

Yapıda çeşitli nedenlerden kaynaklanabilen yatay ya da düşey yöndeki çok küçük titreşimler- microtremor, özel titreşim ölçerler yardımıyla, ivme, hız ya da yer değiştirme türünde olmak üzere kaydedilebilmektedir. Kullanılan titreşim ölçerlerin genlik sınırları 0,005-3000 mikrondur. Daha güvenli sonuç verdikleri periyot sınırları 0,01 sn. ve 5 sn. ile belirlenmektedir.

Titreşim ölçerlerden gelen analog hız sinyalleri, gerilim düşürücüden geçirilirken, istenirse yer değiştirme ve ivmeye dönüştürülebilmektedir. Bu analog sinyallerinin sayısal büyüklüklere çevrilip saklanması veya ekranda izlenmesi imkanı vardır. Disket aracılığı ile kişisel bilgisayara taşınan kayıtlar özel bir bilgisayar programıyla ikili sayı düzeninden onlu sayı düzenine aktarılıp ASCII kodunda saklanır, gerilimden gerçek büyüklüğe çevrilir ve aşağıda özetlenen algoritma esas alınarak işlenir.

Titreşim ölçerlerden gelip her kanalda tutulmuş olan kayıtların dalga formu çizilir ve hepsi için en uygun olan bir çalışma aralığı belirlenir. Bu zaman aralığındaki veri sayısı, uygulanacak hızlı fourier dönüşümü gereği, ikinin kuvveti olmalıdır. Eğer göreceli değerlerle çalışılacaksa ilgili titreşim ölçerlere karşı gelen kayıtların farkları alınır. Örneğin herhangi bir katın zemine göre yaptığı titreşimin işlenebilmesi için o kattaki kayıt ile eş zamanlı olarak zeminden alınmış kaydın farkı olan kayıt ile çalışılmalıdır. Tüm kanallar için hızlı fourier dönüşümü uygulanır. Daha sonra birinci aşamada, kritik bir kayıt için güç spektrumuna geçilir ve bu spektrum bir pencere yardımıyla yumuşatılır. Yumuşatılmış güç spektrumunun tepe noktasına karşı gelen periyot değeri, yapının en büyük serbest titreşim periyoduna karşı gelmektedir. Tepe noktası ve yakın civarındaki noktalar dikkate alınarak geçirilen ikinci derece eğrisinin katsayıları arasındaki ilişkiden de sönüm oranına geçilebilmektedir. İkinci aşamanın ilk adımı seçilen iki kritik kanala ait fourier spektrumlarının oranlanması, oranın tepe noktasının belirlenmesi ve bu noktayı esas alan bir pencerenin hesaplanmasıdır. İkinci adımda, hesaplanan pencere tüm kanallara uygulanıp oluşan dalgalar ters hızlı fourier dönüşümüne tabi tutulur. Bulunan dalgalarındaki tepe noktalarından hareketle aranan titreşim mod şekli belirlenir (Yüksel ve diğerleri1995, Ersin 1997).

İncelenen her binanın tüm katlarına, bina kenarlarından birine paralel olmak üzere yerleştirilen sarsıntı ölçerlerden alınan okumalar değerlendirilerek o doğrultudaki serbest

titreşim periyodu ve mod biçimine ulaşılmaktadır. İkinci adımda sarsıntı ölçerler 90° yön değiştirilip yerleştirilmekte ve yeni bir dizi okuma yapılarak o doğrultudaki benzer büyüklüklere ulaşılmaktadır. Aynı binada yapılan üçüncü grup okumalar ise, burulma titreşimlerinin yakalanmasına yöneliktir. Bu amaçla en üst katlardan birine, binanın iki ucuna yakın gelecek biçimde yerleştirilen sarsıntı ölçerlerden okuma alınmaktadır. Her üç grup ölçüm değerleri zeminde yer alan, karşılaştırma amaçlı bir sarsıntı ölçerin ölçümleri ile birlikte ele alınmakta ve yaklaşık 95 sn. uzunlukta iki kayıt ile çalışmaktadır (Şekil 3.3).

Her bina civarında yapılan son ölçüm, o çevredeki zemin hakim periyotlarının yakalanmasına yönelik bir ölçümdür. Binadan 50-100 m. uzaklığa yerleştirilen birbirine dik bina eksenlerine yaklaşık olarak paralel konumlandırılmış iki yatay sarsıntı ölçer ile bir düşey sarsıntı ölçerden alınmış okumalar ayrı ayrı değerlendirilmektedir.

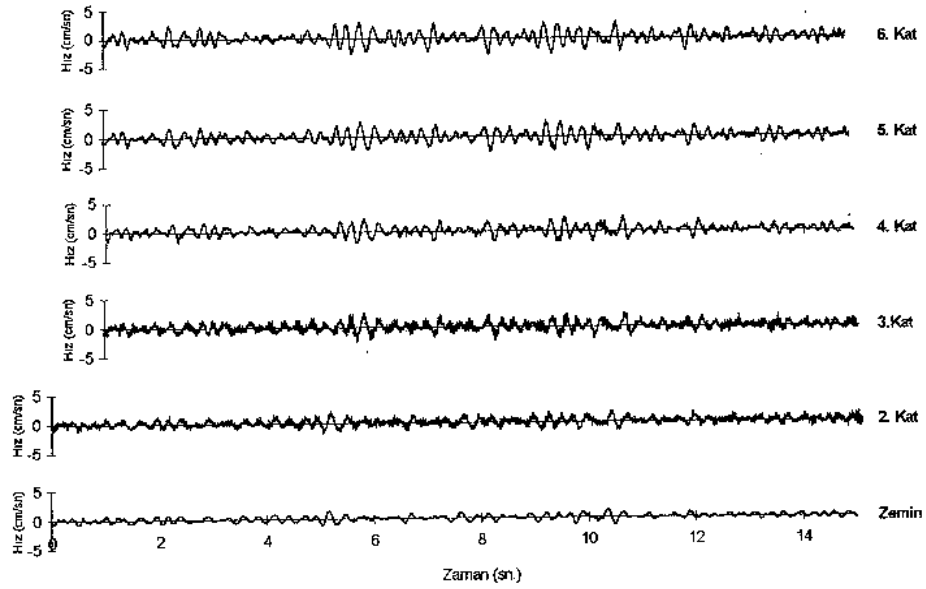
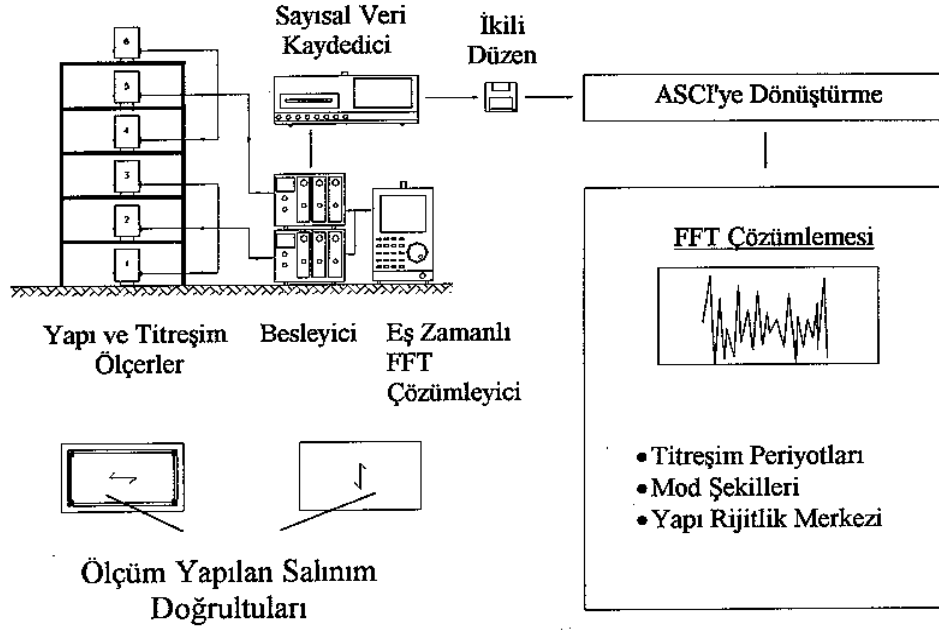
Ölçümler sırasında araziye taşınmış bulunan bir hızlı fourier dönüştürücü ile yapılan ilk değerlendirmeler titreşim periyotları konusunda ön bir fikir edinmek amacıyla yöneliktir.

Deneysel çalışma sırasında oluşabilecek aletsel hataları en aza indirmek amacıyla üç adımlık bir hazırlık işlemi yapılmıştır. Bunlar sırasıyla,

a- titreşim ölçerlere, besleyici kanallarına ve sayısal kaydedici kanallarına birer numara verilmiş, böylece titreşim ölçerler tüm çalışma süresince kendilerine tahsis edilen aynı kanallara bağlı olarak çalıştırılmışlardır.

b- Besleyici uyarlaması: Rutubet ve sıcaklık değişikliklerine karşı besleyici üzerindeki ayar düğmelerinin pozisyonlarında yapılan küçük ayarlamaları kapsamaktadır.

c- Titreşim ölçer ve kanal uyarlaması: Deneysel çalışma öncesinde tüm titreşim ölçerler aynı ortamda konuşlandırılarak veri toplanmıştır. Toplanan veri incelendirildiğinde kanallar arasında küçük farklar olduğu gözlenmiştir. Bu farklılıkların sonuçlara olan etkilerini ortadan kaldırmak amacıyla bir titreşim ölçer baz alınarak diğer titreşim ölçerler için düzeltme çarpanları tanımlanmıştır.



Şekil 3.3. Küçük Titreşim Ölçümlerinin Kaydedilmesi ve Değerlendirilmesi

3.4. Dolgu Duvar Etkilerinin Mekanik Modele Yansıtılması

Bu bölümde dolgu duvarlarının, küçük genlikli titreşimleri için yapının yatay rijitliğine olan katkısı tanımlanarak, bunun mekanik modele katılması üzerine yapılan çalışmalar incelenmiştir.

Dolgu duvarlarının yapının yatay rijitliğine katkısı, önceki bölümde de tanımlandığı gibi, mekanik modele eklenen iki ucu mafsallı çapraz pandül çubuk aracılığı ile gerçekleştirilmektedir. Bu pandül çubuğun eksenel rijitliği; elastise modülü E , kalınlığı t , genişliği w olmak üzere $EF = E.t.w$ denklemi ile tanımlanmıştır.

Pandül çubuğun elastisite modülü E , duvarın elastisite modülüne; kalınlığı t , duvarın kalınlığına eşittir. 'w' genişliği ise belirlenmiş olan amaca uygun olmak üzere yapılan çeşitli varsayımlarla tarif edilmektedir. Bazı kurumsal çalışmalar, sanal çapraz cubuk genişliğinin , dolgu duvarının ve çerçevenin birbirine göre olan rijitliklerine bağlı bulunduğunu göstermiştir.

Önceki çalışmaların çoğu deprem gibi yatay yüklerin etkisi altında, dolgu duvarlarının yatay rijitliğini tanımlamak için yapılmıştır. Bu çalışmalar, yatay yükün dolgu duvarlı çerçeveye etkimesi ile birlikte dolgu duvarının çekme dayanımının devreden çıkacağı, dolgu duvarının sadece basınç dayanımına eşdeğer olan çapraz bir çubuk gibi davranacağını öngörmektedir. Küçük titreşimler düzeyinde ise, yer değiştirmelerin de çok küçük olması nedeniyle, yapının elastik davranış göstermesi beklenmektedir. Dolayısıyla, küçük titreşim ölçümleri sırasında dolgu duvarlarının çekme dayanımının aşılmamış olduğu varsayımı yapılabilecektir. Bu yaklaşımlar sonucunda, dolgu duvarlarının yapının yatay rijitliğine katkısı, iki ucu mafsallı bir çift pandül çubukla temsil edilecektir. Duvara eşdeğer bu pandül çubukların eksenel rijitlikleri; sanal genişlik w için yapılan $w = \alpha.L_d$ tanımı ve elastisite modülü E , kalınlık t cinsinden olmak üzere $EF = E.t.\alpha.L_d$ şeklinde verilebilecektir. Bu eşitlikte α ; pandül çubukların etkin genişliğinin, pandül boyuna göre tanımlanmasını sağlayacak katsayıdır.

Bu eşitliği, boşluk bulunduran dolgu duvarlarını da kapsayacak biçimde genişletmek üzere, β gibi bir çarpan ve tüm diğer etkileri hesaba yansıtma üzere γ gibi bir başka çarpan tanımlanarak eşdeğer çubuklarının eksenel rijitliği için en genel olmak üzere $EF = E.t.\alpha.L_d.\beta.\gamma$ şeklinde verilebilmektedir.

Dolgu duvarlı çerçeveler, değişen dolgu duvar kalınlıkları ve uzunlukları için incelenerek, α katsayısı yardımı ile dolu duvarlar için bir yatay rijitlik bağlantısı önerilecektir. Daha sonra boşluk bulunduran dolgu duvarlarının rijitlikte neden oldukları azalma incelenecektir. Bunun için zemine ankastre bağlı ve çeşitli tipte boşluklar bulunduran sıvalı ve sıvasız dolgu duvarları gözönüne alınıp, sonlu elemanlara bölünerek araştırılacaktır. Boşluklu dolgu duvarlarının rijitlikleri, dolu dolgu duvarlarının rijitliklerine oranlanıp her boşluk tipi için bulunan β katsayıları yardımı ile boşlukların etkisi temsil edilecektir. Dolgu duvarlarındaki yapım kusurları ve deprem sonucu yapıda oluşan kalıcı yer değiştirmeler sonucu meydana gelen rijitlik azalması γ katsayısı ile hesaba katılacaktır (Karadoğan ve diğerleri 1997, Ersin ve diğerleri 1998).

3.4.1. Eşdeğer Çapraz Çubuğun Etkin Genişliği ve α Çarpımı

Eşdeğer pandül çubuklarının alanı F ; t duvar kalınlığı, w eşdeğer pandül çubuğun genişliği olmak üzere aşağıdaki gibi yazılmıştır.

$$F = t.w \quad (3.15)$$

Dolgu duvarlarının diyagonal boyu L_d ; l_i duvar uzunluğu ve h_i duvar yüksekliği olmak üzere

$$L_d = \sqrt{(l_i^2 + h_i^2)} \quad (3.16)$$

olur. Eşdeğer pandül çubuğun genişliği w , dolgu duvarın diyagonal boyu L_d 'nin α katı olarak tanımlanırsa (3.15) eşitliği,

$$F = t.\alpha.L_d \quad (3.17)$$

haline gelir. Bu eşitlikten,

$$\alpha = F/(t.L_d) \quad (3.18)$$

elde edilir. Buradan da anlaşılacağı gibi bölme duvarına eşdeğer çapraz çubuğun, olası rijitliği tanımlanırken tuğla-harç ortamının, yaklaşık elastisite modülü E ve duvar kalınlığı t doğrudan doğruya hesaba katılabilecektir.

Betonarme bir yapı üzerinde gerçekleştirilen deneysel bir çalışma (Yüksel ve diğerleri, 1995), α katsayısının eşdeğer çaprazın rijitlik tanımında kat yüksekliğinin kullanılması durumunda 0.5 olarak alınabileceğini göstermektedir. Fabrika tuğlasından bölme duvarları bulunan apartman türündeki bu yapının bir doğrultusunda yapılan hesaplardan elde edilen bu çarpan ikinci doğrultusu için kullanılmış ve uygun sonuçlara ulaşılmıştır. Bu değer kat yüksekliği yerine çapraz boyunun kullanılması durumunda, çok karşılaşılan duvar boyutları için 0.3-0.4 değerlerine özdeştir. Yüksel ve diğerlerinin yapmış oldukları bu çalışma sonucunda sıvalı durumlar için 0.37-0.40, sıvasız durumlar için 0.46-0.51 değerleri alınabilmektedir. Yapılan sonlu eleman çözümlerinde, sıvalı ve sıvasız durumlarda α katsayısının duvar uzunluğundan bağımsız sayılabileceği ve çok karşılaşılan sıvalı durumda α katsayısının 0.4 civarında olabileceği belirtilmektedir.

Buna göre sıvalı-sıvasız duvarların değişen uzunluklarına ait duvar kalınlıklarından bağımsız α değerleri hesaplanarak Çizelge 3.2’de verilmiştir. Çizelgeden de görüleceği gibi değerler duvar boyuna göre çok fazla değişim göstermemektedir.

Çizelge 3.2. Duvar Uzunlukları İçin Hesaplanan α Değerleri

A	Sıvasız		Sıvalı	
t	8,5cm.	12,5cm	13,5cm.	17,5cm.
$L_d=3,69m$	0,49	0,46	0,40	0,37
$L_d=4,66m$	0,49	0,46	0,40	0,37
$L_d=5,55m$	0,51	0,47	0,40	0,37

Görüldüğü gibi dolgu duvarlarının küçük titreşimler için yapının yatay rijitliğine katkısı; elastisite modülü dolgu duvarının ortalama elastisite modülü kadar olan, alanı ise dolgu duvarının kalınlığının, dolgu duvarını diyagonal boyu L_d 'nin belli bir oranı (α) kadar olan genişlikle çarpımına eşit olan eşdeğer pandül çubuklarla tarif edilmiştir.

3.4.2. Dolgu Duvarlarının Elastisite Modülü- E

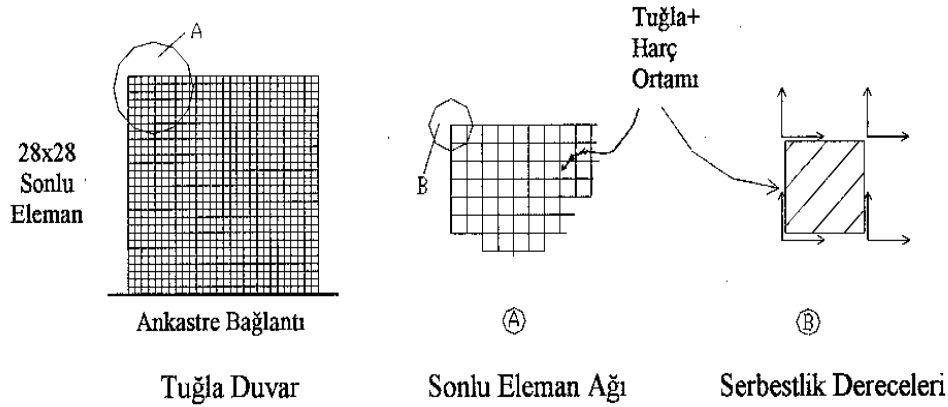
Betonarme yapılarda dolgu duvarlarının modellenerek katkısının belirlenmesinde yukarıda verilen eşdeğer çapraz çubuğun rijitlik önerisine göre önemli bir çarpan olan dolgu duvarların elastisite modülü bir çok araştırmacının inceleme konusu olmuştur. Yapılan çalışmaların hemen hepsinde tuğla duvarlar deneysel olarak incelenmiş ve modellenerek kuramsal çalışmaları yapılmıştır. Yapılan çalışmalarda duvarlarda etkin olan tuğla arasında kullanılan harcın ve tuğla duvarda kullanılan sıvanın olduğu görülmüştür.

Bu çalışmaya yönelik olarak Karadoğan ve diğerlerinin yapmış olduğu çalışmada, dolgu duvarının delikleri doğrultusundaki elastisite modülü deneysel ve kuramsal modeller üzerinde saptanmıştır. Çizilen gerilme-şekil değiştirme diyagramından faydalanarak bulunan elastisite modülü 4500-7800 MPa olarak belirlenmiştir. Mekanik modelde de bu değer 4500-6000 MPa olarak bulunmuştur.

Ancak bulunan bu değerler incelemesi yapılan binaya ait tuğla duvarlar içindir. Genel bir sıvalı-sıvasız tuğla duvarlar için yapılmış deneyleri kapsamamaktadır. Gerçekte duvarda kullanılan tuğla cinsi ve yerleşimi, sıvanın dayanımı ve kalınlığı gibi etkenler duvarın gerek dayanımında ve gerekse elastisite modülünde belirleyici rol oynamaktadır.

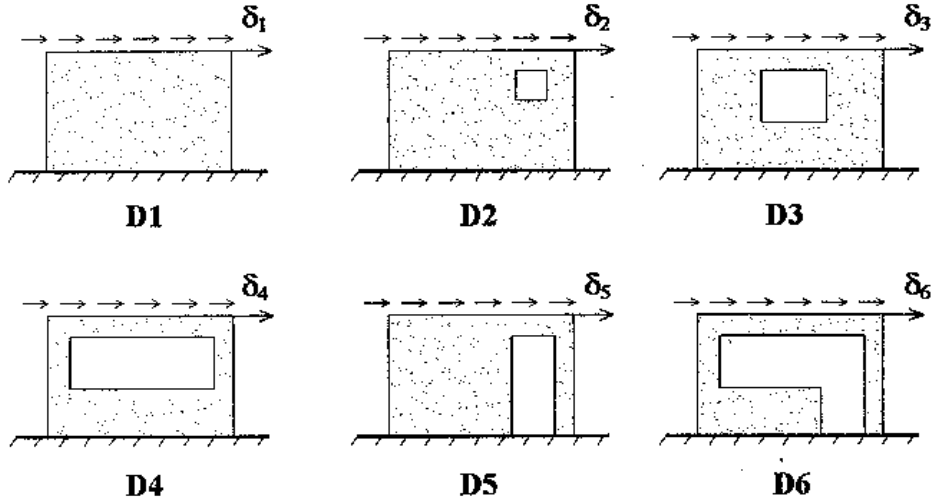
3.4.3. Dolgu Duvarlarının Modellenmesinde Duvar Boşluklarının Etkisi- β Çarpanı

Bir yapıda, dolgu duvarlarındaki boşluklar, mimari ve işlevsel istekler nedeni ile çeşitli tiplerde ve değişen boyutlarda bulunabilmektedirler (Şekil 3.4). Bu boşluklu dolgu duvarlarını yapının yatay rijitliğine katkısını belirlemek için, boşluksuz dolgu duvar esas alınarak, uygulamada çok rastlanılan 5 adet boşluk duvar tipinin boşluksuz duvara oranla sağlayabildiği yatay rijitlik sonlu eleman çözümleriyle incelenmiştir (Ersin, 1997).



Şekil 3.4. β Katsayılarını belirlemek için kullanılan bölme duvar tipleri (Ersin, 1997)

Bu inceleme sırasında 12,5 cm. kalınlığındaki dolgu duvarları esas olarak alınmış ve boşlukların yatay rijitlikte neden olduğu azalma saptanmaya çalışılmıştır. Bu amaçla hazırlanan mekanik modelde tuğla ve harcın oluşturduğu karma ortama karşılık gelen eşdeğer homojen tek malzemedен yapılmış bir sonlu eleman kullanılmıştır (Şekil 3.5).



Şekil 3.5. β Katsayılarını belirlemek için bölme duvarın mekanik modeli

Çözümlerde duvarların dipten ankastre olarak mesnetlendiği bir mekanik model kurulmuş ve üst uçtaki düğüm noktalarına toplam 1 kN olan yatay yükler yayılı olarak etkilmiştir. Dolgu duvarlarının alt ucundaki düğüm noktalarının yer değiştirmeleri tutulmuş, diğer düğüm noktalarının yer değiştirmeleri ise serbest bırakılmıştır.

Yükleme sonucunda boşluklu dolgu duvarlarının üst sağ ve sol uçlarının yaptıkları yer değiştirmeler (δ_R, δ_L), dolu dolgu duvarının yer değiştirmelerine bölünerek boşluk bulunduran dolgu duvarının yatay rijitliğinin, dolu dolgu duvarının yatay rijitliğine oranı olarak tanımlanan β sayıları bulunmuştur (Çizelge 3.3, 3.4, 3.5). Daha sonra β sayıları dolgu duvarlarının mekanik modele yansıtılması sırasında kullanılmak üzere düzenlenmişlerdir (Çizelge 3.6).

Çizelge 3.3. Dolgu Duvarının Üst Sol Uç Yer değiştirmesine Göre Hesaplanan β Sayıları

β_L	$E_{PAR} / E_{DİK}$		
Duvar Tipi	$E_x / E_y = 1$	$E_x / E_y = 2$	$E_x / E_y = 3$
D1	1,000	1,000	1,000
D2	0,895	0,899	0,905
D3	0,022	0,022	0,022
D4	0,515	0,467	0,449
D5	0,205	0,190	0,192
D6	0,014	0,013	0,013

Çizelge 3.4. Dolgu Duvarını Üst Sağ Uç Yer değiştirmesine Göre Hesaplanan β Sayıları

β_R	$E_{PAR} / E_{DİK}$		
Duvar Tipi	$E_x / E_y = 1$	$E_x / E_y = 2$	$E_x / E_y = 3$
D1	1,000	1,000	1,000
D2	0,845	0,864	0,881
D3	0,022	0,022	0,022
D4	0,554	0,522	0,506
D5	0,205	0,190	0,192
D6	0,014	0,014	0,014

Çizelge 3.5. Dolgu Duvarının Ortalama Yer değiştirmesine Göre Hesaplanan β Sayıları

β	$E_{PAR} / E_{DİK}$		
Duvar Tipi	$E_x / E_y = 1$	$E_x / E_y = 2$	$E_x / E_y = 3$
D1	1,000	1,000	1,000
D2	0,870	0,881	0,893
D3	0,022	0,022	0,022
D4	0,534	0,494	0,478
D5	0,205	0,190	0,192
D6	0,014	0,013	0,014

Elde edilen β değerleri değişen E_x / E_y oranları için yeteri kadar birbirlerine yakındırlar. Buna göre, boşlukların dolgu duvarlarını yatay rijitlikte neden olduğu azalma Çizelge 6'da verilen β sayıları ile hesaba katılacaktır (Ersin, 1997).

Çizelge 3.6. Dolgu Duvarlarının Mekanik Modele Yansıtılmasında Kullanılacak β Sayıları

<i>Duvar Tipi</i>	D1	D2	D3	D4	D5
β	1	0,9	0	0,5	0,2

3.4.4. Dolgu Duvarlarda Yer Alan Hasarların Modele Etkisi- γ Çarpanı

Deprem sırasında ortaya çıkan hasarın mekanik modele yansıtılması amacıyla öngörülen γ çarpanı, bu çalışmada deneme-yanılma ile saptanan tek çarpanıdır. Bölme duvarlarında toplanan önemli hasar bazı yapıların özellikle en alt katlarında yer almaktadır. Dolayısıyla sadece o katlardaki bölme duvarlarının yerine kullanılan eşdeğer çubuk rijitliklerinin 1'den küçük olan bu çarpanla değiştirilmesi mekanik modelden elde edilen sonuçların, ölçüm sonuçlarına yakın çıkması için yeterli olabilmektedir. Yerinde yapılmış bulunan hasar incelemeleri bu konuda karar oluştururken yardımcı olmaktadır. Ayrıca bölme duvarının etkisi ile perdeleşen üst katların yatay rijitliğe katkısının azaldığı, dolayısıyla o katlarda hasarın azaldığı, γ sayısının da 1'e yaklaştığı bilinmektedir. Çarpanın kullanılmasında etkin olan yapıda ölçülen serbest titreşim periyotlarıdır. Deneysel olarak saptanan periyotların mekanik modelle elde edilen periyotlara yakın olması beklenmektedir. Yapıda periyotların artmasının en önemli nedenlerinden biri de yapıda oluşan hasarlardır. Dolayısıyla deneysel yolla bulunan periyotların yaklaşık olarak kuramsal yolla bulunan periyotlara yakınlaştırmak için bu katsayı kullanılmaktadır.

BÖLÜM IV

4. DOĞRUSAL OLMAYAN STATİK ÇÖZÜMLEME YÖNTEMİ (STATİK İTME ANALİZİ)

Statik itme çözümlemesi doğrusal olmayan bir yöntem olmakla beraber teorik temeli sadedir. Bir yapının davranışının eşdeğer tek serbestlik dereceli sistemin davranışıyla ilişkili olabileceği varsayımına dayanır. Buna göre yapının davranışı tek mod ile kontrol edilmekte ve bu mod şekli zaman tanım aralığı boyunca sabit kalmaktadır. Açıkça görüldüğü gibi bu yaklaşımlar tam doğru değildir. Fakat bir çok araştırmacının yapmış olduğu çalışmalar göstermektedir ki bu varsayımlar bize; davranışında tek modun hakim olduğu çok serbestlik dereceli sistemlerin tasarım depremi altında en büyük yer değiştirmelerinin ve taşıyıcı elemanlardaki şekil değiştirmelerin tahmininde iyi sonuçlar vermektedir.

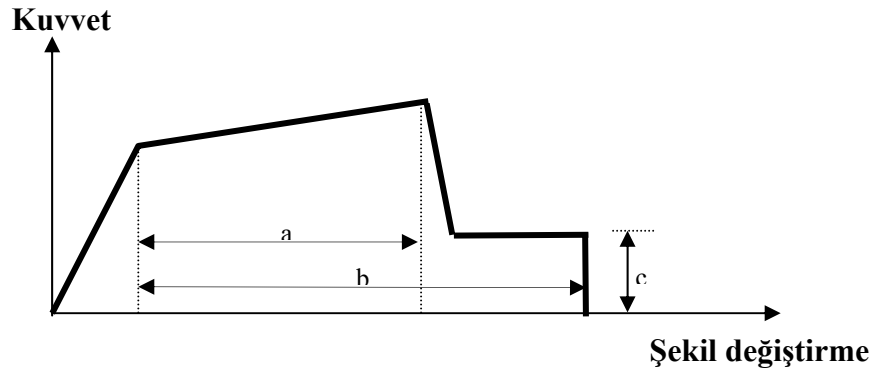
Bununla beraber, bir çok araştırmacı, statik itme çözümlemesinin, davranışında birden fazla modun etkili olduğu çok serbestlik dereceli sistemlerde de uygulanabilmesi için bazı yöntemler geliştirmiştir. Genel olarak “çok modlu statik itme çözümlemesi” olarak adlandırabileceğimiz bu yöntemlerin çoğu henüz gelişme sürecinde sayılır. Bu nedenle bu çalışmada bazı ön-yönetmeliklerde (pre-codes) de yer alan ve tasarımda kullanılması kabul gören tek modlu statik itme çözümlemesi irdelenmiş ve kullanılmıştır.

4.1. Yapı Kapasitesinin Statik İtme Çözümlemesi ile Belirlenmesi

Statik itme analizi kuvvet kontrollü ve yer değiştirme kontrollü olmak üzere iki şekilde yapılabilir. Yer değiştirme kontrollü statik itme analizinde, sisteme, önceden belirlenmiş bir göçme yer değiştirme profiline uygun olarak, sabit artımlı yer değiştirmelere karşılık gelen yatay kuvvetler verilir. Ancak; çok katlı yapılarda göçme yer değiştirme profilinin her zaman aynı olmaması ve önceden belirlenmesinin güç olması nedeni ile, pek tercih edilen bir yöntem değildir.

Kuvvet kontrollü itme analizinde ise; sisteme, aralarındaki oran sabit olan bir kuvvetler grubu etki ettirilir ve her adımda seçilen noktada (genellikle tepe noktası) oluşan yer değiştirmeler hesap edilir. Yüklerin sisteme etki ettiriliş biçimi tepe noktasında tekil yük şeklinde olabileceği gibi ters üçgen şeklinde veya yapının birinci mod şekli (birinci modun en etkin mod olması nedeniyle) ile orantılı olarak verilebilir.

Statik itme analizine ilişkin olarak halen yaygın araştırmalar yürütülmektedir. Uygulama açısından pratik olmakla beraber, çözümlemede kullanılan parametrelerin ve hesap yönteminin bütün yapı tipleri, depremler ve zemin sınıfları için farklı sonuçlar verdiği bilinmektedir. Statik itme analizi yapılması durumunda taşıyıcı sistem elemanlarının davranışları yük-şekil değiştirme eğrileri ile temsil edilir (moment-eğrilik, kesme kuvveti-kayma açısı vb.). Bu eğriler mekanikten bilinen prensipler ve hesap yöntemleri ile hazırlanacağı gibi, ATC ve FEMA dokümanlarında çeşitli taşıyıcı sistem elemanları için kullanılabilecek ortalama değerler de verilmiştir (Çizelge 4.6, 4.7, 4.8, 4.9). Tipik bir yük-şekil değiştirme eğrisi ve bu eğriye ilişkin parametreler Şekil 4.1’de verilmiştir (Kırçıl, 2002).



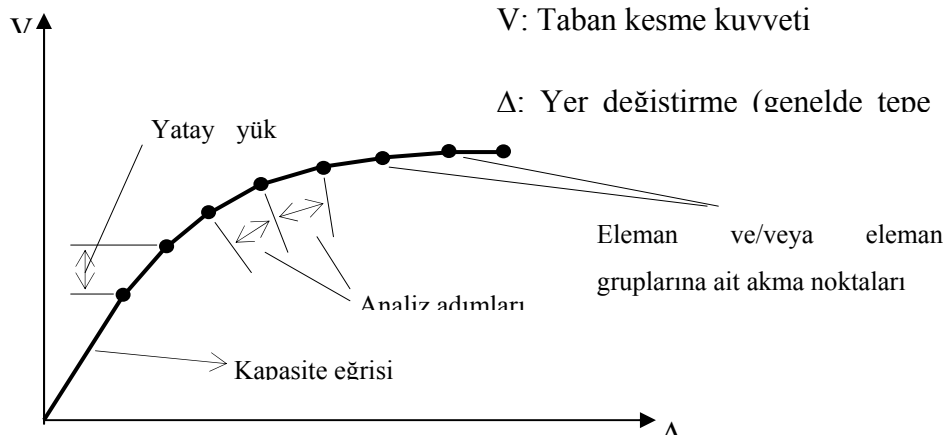
Şekil 4.1. Tipik Yük- Şekil değiştirme eğrisi (Kırçıl, 2002)

Analizin doğrudan doğruya uygulanması gelişmiş bilgisayar yazılımları ile mümkün olmakla beraber, bunun mümkün olmaması durumunda, “Adım adım statik itme analizi (Step by step pushover)” yapılması önerilmektedir.

Adım adım analiz, birden fazla doğrusal çözümlemenin yapıldığı iteratif bir yaklaşımdır. Yapıya, dağılımı ve şiddeti belli olan bir deprem yükü sabit artımlarla verilmekte ve her adımda doğrusal hesap yapılmaktadır. Taşıyıcı sistem elemanlarından herhangi birinde akma gerçekleştiğinde yapının rijitliği yeniden hesaplanarak aynı işlemlere devam edilmektedir. Bu işlemler yapı stabilitesini kaybedene kadar devam ettirilir. Her adımda hesaplanan taban kesme kuvveti ve buna karşı gelen (seçilmiş noktaya ait) yer değiştirme grafik olarak ifade edilirse, yapının kapasite eğrisi elde edilmiş olur. Tipik bir kapasite eğrisi (pushover curve) Şekil 4.2’de verilmiştir.

ATC40’ da önerilen adım adım statik itme analizi aşağıda özetlenmiştir.

1. Taşıyıcı sistem modeli oluşturulur.
2. Taşıyıcı sistemi oluşturan elemanlar birincil ve ikincil (yatay yük taşıma kapasitesine katkılarına göre) olmak üzere sınıflandırılır.
3. Daha önce de belirtildiği gibi; taşıyıcı sisteme, aralarındaki oran sabit olan yükler verilir. Her hangi bir elemanda akma sınırına ulaşıncaya kadar doğrusal çözümleme yapılır.
4. İç kuvvetler hesaplanır. Her hangi bir elemanda akma sınırına ulaşıldığında, oluşan taban kesme kuvveti ve seçilen noktada meydana gelen yer değiştirme kaydedilir ve bir önceki adımda bulunan değerlere ilave edilir. Yükler yeni şekil değiştirme durumuna göre yeniden hesaplanır. Aynı işlem iç kuvvetler ve şekil değiştirmeler için de yapılır.
5. Akma sınırına ulaşmış elemanların daha fazla yük almayacağı kabul edildiği için, bu elemanların rijitlikleri sıfırlanarak veya çok küçük değerlere (başlangıçtaki rijitliğin %5’i veya %10’u) düşürülerek bir sonraki adıma geçilir.



Şekil 4.2. Tipik kapasite eğrisi (Kırçıl, 2002)

Esas taşıyıcı sistem elemanlarının önemli bir kısmının akma sınırına ulaşması, kat mekanizması oluşması, ikinci mertebe etkiler nedeni ile stabilitenin kaybolması veya yapının, oluşan plastik mafsallar yüzünden hiperstatikliğini kaybetmesi gibi nedenlerle yapının göçme durumuna gelmiş olmasına kadar çözümlemeye devam edilir (Kırçıl, 2002).

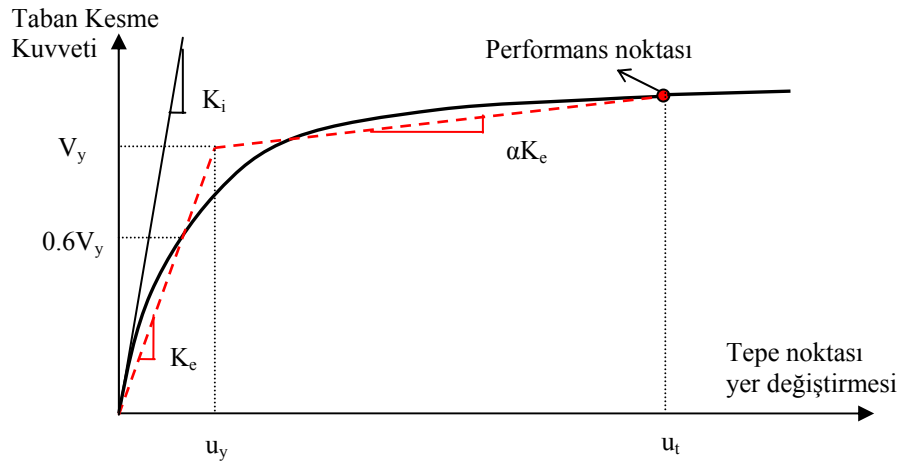
4.2. Performans Noktasının Bulunması

Yapının, incelemede dikkate alınan deprem altında hangi performans aralığında kaldığını belirlemek için, öncelikle performans noktasının (hedef yer değiştirme) belirlenmesi gerekmektedir. Bunun için, FEMA-356 ve ATC-40 belgelerinde farklı iki yöntem önerilmiştir; birincisi, FEMA tarafından önerilen “Yer değiştirme Katsayıları Yöntemi”, ikincisi ise ATC tarafından önerilen “Kapasite Spektrumu Yöntemi” dir.

4.3. Yer Değiştirme Katsayıları Yöntemi (FEMA-356)

Adım adım statik itme çözümlemesi yapılarak, yapının kapasite eğrisi elde edilir. Yapının tasarım depremi altında yapacağı en büyük yer değiştirmeyi, diğer bir deyimle performans noktasını bu yöntemle hesaplayabilmek için sistemin etkili yatay rijitliğinin hesaplanması gerekmektedir. Bunun için, yapının kapasite eğrisi iki doğruyla idealize edilir. Bu işlem, kapasite eğrisinin altında kalan alan ile ikili doğrusal eğrinin altında kalan alanın eşit olması

prensibinden hareketle yapılabilir. Ancak, burada dikkat edilmesi gereken husus, ikili doğrusal gösterim ile gerçek kapasite eğrisinin performans noktasında kesişmesi gereğidir. Bunu sağlamak için, iteratif bir uygulamaya gidilmesi gerekmektedir. Bunun için, ilk adımda kapasite eğrisi üzerindeki bir nokta, performans noktası olarak tahmin edilir. Buna bağlı olarak yeni bir performans noktası hesaplanır. Hesaplanan performans noktası, tahmin edilen noktaya kabul edilebilir düzeyde yakınsayana kadar iterasyona devam edilir.



Şekil 4.3. İkili doğrusal kapasite eğrisi (Hancioğlu, 2004)

İki doğru ile idealize edilmiş tipik bir kapasite eğrisi Şekil 4.3’de verilmiştir. Bu şekilde K_i başlangıçta yapı yatay rijitliğini, ikili doğrusal şekilde idealize edilen kapasite eğrisinin ilk doğrusunun eğimi K_e ise etkili yatay rijitliği temsil etmektedir ki, bu akma dayanımının %60’ı kadar bir yük esas alınarak hesaplanır.

Etkili periyodun hesabı için (4.1) eşitliği kullanılır:

$$T_e = T_i \sqrt{\frac{K_i}{K_e}} \quad (4.1)$$

(4.1.) eşitliğinde:

T_i : Doğrusal dinamik çözümlemeden elde edilen serbest titreşim periyodu,

T_e : Etkili periyot,

K_i : Yapının başlangıç (elastik) yatay rijitliği,

K_e : Etkili yatay rijitliktir.

Kat döşemesi rijit diyafram olarak çalışan binalarda hedef yer değiştirme (4.2) eşitliği ile bulunabilir:

$$u_t = C_0 C_1 C_2 C_3 S_a \frac{T_e^2}{4\pi^2} g \quad (4.2)$$

C_0 : Çok serbestlik dereceli sistemin tepe noktası yer değiştirmesi ile eşdeğer tek serbestlik dereceli sistemin spektral yer değiştirmesi arasındaki ilişkiyi kuran katsayıdır. FEMA-356 'da C_0 katsayısı için kontrol noktası seviyesinde (genellikle tepe noktası) 1'inci serbest titreşim moduna ait modal katılım çarpanı: $C_0 = \Phi_1^{tepe} \Gamma_1$ kullanılabilir.

C_1 : Yapının doğrusal ve doğrusal olmayan davranışları sırasında ortaya çıkan yer değiştirmeler arasında ilişki kuran katsayıdır.

$T_e \geq T_B$ ise, $C_1=1$

$$T_e < T_B \text{ ise, } C_1 = \left[1 + (R - 1) \frac{T_B}{T_e} \right] / R \quad (4.3)$$

T_B : Davranış spektrumunda, sabit ivme kısmından sabit hız kısmına geçiş noktasındaki karakteristik periyot;

T_e : İkili doğrusal kapasite eğrisinden hesaplanan etkili periyot;

R : Dayanım azaltma katsayısı:

$$R = \frac{S_a g}{V_y / M_{eff}} \quad (4.4)$$

V_y : İkili doğrusal kapasite eğrisinde akma kesme kuvveti;

M_{eff} : Birinci serbest titreşim moduna ait etkili kütle;

C_2 : Histeritik çevrimdeki kuvvet artımsız yer değiştirme (pinching) etkisini dikkate alan katsayı; değişik taşıyıcı sistem tipleri ve performans seviyeleri için FEMA-356'da verilmiş

olan değerler kullanılabilir.

C_3 : P-Δ etkilerinden dolayı oluşan yer değiştirme artışlarını dikkate alan katsayı:

İkili doğrusal kapasite eğrisinin ikinci eğimi pozitif olan yapılar da:

$$C_3 = 1.0$$

İkili doğrusal kapasite eğrisinin ikinci eğimi negatif olan yapılar da:

$$C_3 = 1 + \frac{|\alpha|(R - 1)^{3/2}}{T_e} \quad (4.5)$$

α : İkili doğrusal kapasite eğrisinin ikinci eğiminin birinci eğimine oranı;

S_a : Etkili periyoda karşılık gelen spektral ivme;

g : Yer çekimi ivmesidir.

(4.2) eşitliğiyle hedef yer değiştirme, diğer bir deyimle tasarım depremi altında yapının yapacağı en büyük yer değiştirme bulunduktan sonra yapının bu yer değiştirmeye karşılık gelen iç kuvvetler ve şekil değiştirmeler kullanılarak, gerek tasarım gerekse performans kontrolü yapılabilir (Hancioğlu, 2004).

4.4. Kapasite Spektrumu Yöntemi (ATC-40)

Yöntem, özet olarak, kapasite eğrisinden üretilen kapasite spektrumu (diyagramı) ile tasarımda kullanılacak yer hareketi için çizilmiş inelastik talep spektrumu veya indirgenmiş (doğrusal olmayan davranış dikkate alınmak üzere düzeltilmiş) elastik talep spektrumunun keşiştiği noktanın (performans noktası) bulunmasıdır.

İlk olarak, statik itme çözümlmesiyle bulunan kapasite eğrisinden kapasite diyagramı elde edilir. Bunun için, çok serbestlik dereceli sistemin eşdeğer tek serbestlik dereceli sistemle ilişkili olduğu varsayımına dayanarak, “taban kesme kuvveti – tepe noktası yer değiştirmesi” formatındaki kapasite eğrisi “spektral ivme – spektral yer değiştirme” formatına dönüştürölür.

Bu dönüştürme işlemi için (4.6) ve (4.7) eşitliklerinden yararlanılır:

$$S_a = \frac{V_{\text{taban}}}{M_{\text{eff}}} \quad (4.6)$$

$$S_d = \frac{u_{\text{tepe}}}{\Phi_1^{\text{tepe}} \Gamma_1} \quad (4.7)$$

Burada:

S_a : Spektral ivme,

S_d : Spektral yer değiştirme,

M_{eff} : Birinci serbest titreşim moduna ait etkili kütle,

Φ_1^{tepe} : Birinci mod vektörünün tepe noktası değeri,

Γ_1 : Birinci serbest titreşim moduna ait modal katılım çarpanıdır.

Bir sonraki adımda, kapasite diyagramı ile talep spektrumunun aynı diyagramda karşılaştırılabilmesi için “spektral ivme – periyot” (S_a -T) formatındaki talep spektrumu “spektral ivme – spektral yer değiştirme” (S_a - S_d) formatına dönüştürülür. Bunun için spektral ivme ile spektral yer değiştirme arasındaki eşitliklerden yararlanılır (4.8 ve 4.9).

$$S_d = \frac{S_a}{\omega^2} \quad (4.8)$$

$$S_d = S_a \frac{T^2}{4\pi^2} \quad (4.9)$$

Son olarak, (S_a - S_d) formatına dönüştürülen elastik talep spektrumunun, yapının doğrusal olmayan davranışını dikkate almak üzere indirgenmesi gerekmektedir. ATC-40’da, elastik talep spektrumunu indirmek için üç farklı yöntem önerilmiştir. Yöntem A, Yöntem B ve

Yöntem C olarak adlandırılan bu yöntemlerden, A ve B analitik, Yöntem C ise grafiksel bir uygulamadır. Yöntem A ve B programlama kolaylığından dolayı bilgisayar uygulamaları, Yöntem C ise el ile çözümleme için daha uygundur.

İteratif bir yöntem olan Yöntem A, yöntemler arasında en açık, anlaşılır ve metodun doğrudan uygulamasıdır; yaygın olarak kullanılır. Bu çalışmada sadece bu yöntem açıklanmıştır.

4.4.1. Yöntem A

İndirgeme işleminde, kapasite diyagramının altında kalan alan yardımıyla hesaplanan etkili sönüm yüzdesinden yararlanılır.

$$\beta_{\text{eff}} = \kappa\beta_0 + 5 \quad (4.10)$$

Burada,

β_0 : Histeritik sönüm yüzdesi (eşdeğer viskoz sönüm),

5 : Yapının doğasında bulunan viskoz sönüm yüzdesi ,

κ : Kapasite diyagramının şekline bağlı olarak bulunan sönüm düzeltme katsayısıdır (Çizelge 4.1).

Çizelge 4.1. Sönüm düzeltme katsayısı (κ) değerleri (*ATC-40*)

Yapısal Davranış Tipi	β_0 (%)	κ
A Tipi	≤ 16.25	1.0
	> 16.25	$1.13 - \frac{0.51(a_y d_{pi} - d_y a_{pi})}{a_{pi} d_{pi}}$
B Tipi	≤ 25	0.67
	> 25	$0.845 - \frac{0.446(a_y d_{pi} - d_y a_{pi})}{a_{pi} d_{pi}}$
C Tipi	Değer Yok	0.33

ATC-40'da yapısal davranışlar üç tipe indirgenmiştir. Bunlar, yapı taşıyıcı elemanlarının durumuna (kalitesine) ve deprem esnasında oluşan sarsıntının süresine bağlı olarak Çizelge 4.2' de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Yapısal davranış tipleri (ATC-40)

Sarsılma Süresi	Yeni Binalar	Orta Yaşlı Binalar	Yaşlı Binalar
Kısa	A Tipi	B Tipi	C Tipi
Uzun	B Tipi	C Tipi	C Tipi

ATC-40'da; sarsılma süresi, binanın yer hareketi kaynağına olan uzaklığına, zemin cinsine ve depremin büyüklüğüne bağlı olarak açıklanmıştır. Buna göre, esas olarak yer hareketi kaynağına yakın bölgelerde (yakınlık faktörü, $N \geq 1.2$) kısa sarsılma süresi, aksi durumda ise uzun sarsılma süresi olacağı tahmin edilebilir. Ancak, maksimum deprem büyüklüğünün 6.5 richteri aşması tahmin edilmeyen ($M \leq 6.5$) ve sert veya sıkı zemin cinsine sahip bölgelerde, daha ayrıntılı bir çalışma yapılmadığı takdirde, kısa sarsılma süresi olacağı kabulü yapılması uygundur. Yumuşak zemin cinsine sahip bölgelerde ise, daha ayrıntılı bir çalışma yapılmadığı sürece, uzun sarsılma süresi olacağı kabul edilmelidir.

Yine aynı belgede, Yeni binalar kavramı, kullanımdaki yönetmeliğe göre tasarlanmış, taşıyıcı sistem elemanlarının yatay yük altındaki davranışları bilinen yeni binaları, *Yaşlı binalar* kavramı ise, taşıyıcı sistem elemanlarının yatay yük altındaki davranışları bilinmeyen ve kötü durumdaki eski binaları tanımlamaktadır. Son olarak orta yaşlı binalar kavramı, açıklanan iki kavram dışında kalan durumları ve mevcut güçlendirilmiş binaları kapsamaktadır.

Histeritik sönüm (4.11) eşitliği yardımıyla hesaplanabilir (Chopra 1995):

$$\beta_0 = \frac{1}{4\pi} \frac{E_D}{E_{S_0}} \quad (4.11)$$

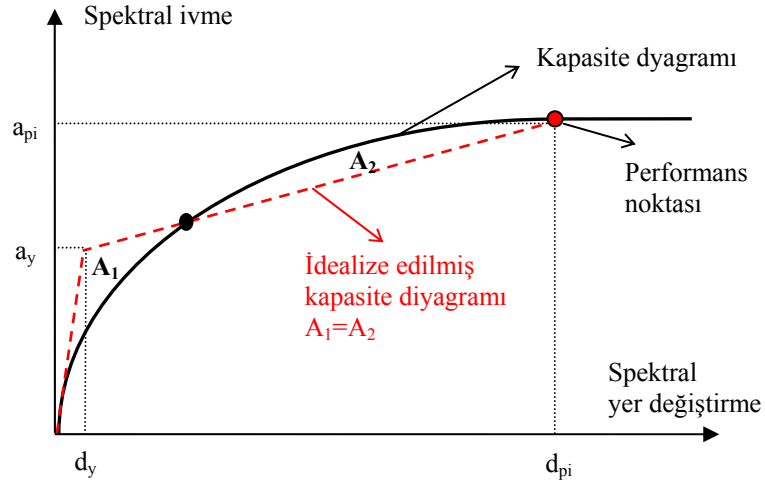
Burada;

E_D : Sönüm ile yutulan enerji,

E_{S_0} : En büyük şekil değiştirme enerjisidir.

Sönüm ile yutulan enerji (E_D), kapasite diyagramının histeritik döngüsünün kapattığı alan hesaplanarak bulunabilir. E_{S_0} ise kapasite diyagramının altında kalan alan yardımıyla hesaplanabilir. Hesabı kolaylaştırmak için kapasite diyagramı ikili doğrusal biçime çevrilir

(Şekil 4.4) ve histeritik sönüm yüzdesi (4.12) eşitliği yardımıyla bulunabilir.



Şekil 4.4 İkili doğrusal kapasite diyagramı (Hancıoğlu, 2004)

$$\beta_0 = \frac{63.7(a_y d_{pi} - d_y a_{pi})}{a_{pi} d_{pi}} \quad (4.12)$$

Ancak, Şekil 4.4’ te görüldüğü üzere, $(d_{pi} ; a_{pi})$ koordinatı aranılan performans noktasını gösterir. Dolayısıyla burada iteratif bir çözümlemeye gidilmesi gerekmektedir.

Bunun için, kapasite diyagramında performans noktası $(d_{pi} ; a_{pi})$ tahmin edilir. Bu belirlenen noktaya göre kapasite diyagramı ikili doğrusal biçime çevrilerek etkili sönüm yüzdesi hesaplanır ve spektral azaltma çarpanları bulunarak (4.14 ve 4.16) elastik talep spektrumu indirgenir (Şekil 4.5):

$$SR_A = \frac{3.21 - 0.681 \ln(\beta_{eff})}{2.12} \quad (4.13)$$

$$SR_A = \frac{3.21 - 0.681 \ln \left[\frac{63.7 \kappa (a_y d_{pi} - d_y a_{pi})}{a_{pi} d_{pi}} + 5 \right]}{2.12} \quad (4.14)$$

$SR_A \geq$ Çizelge 4.3’ teki değerler,

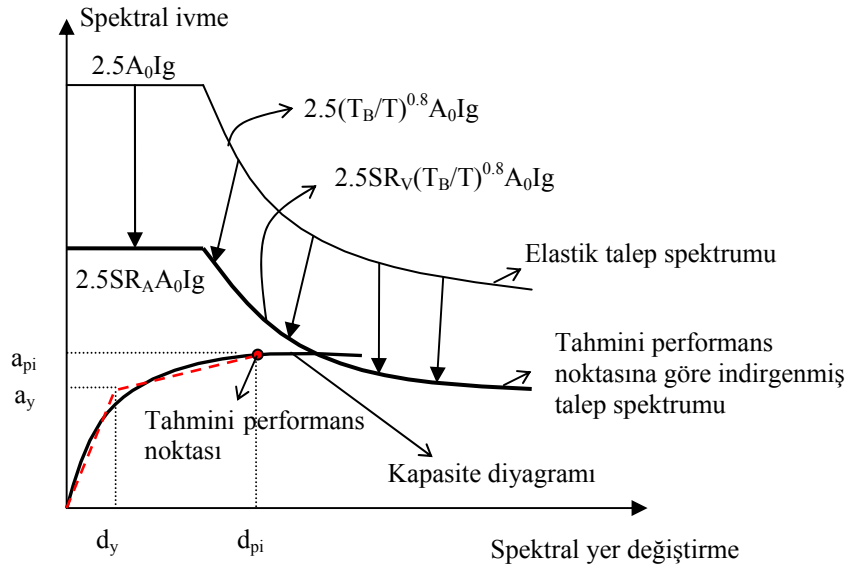
$$SR_V = \frac{1}{B_L} \approx \frac{2.31 - 0.41 \ln(\beta_{eff})}{1.65} \quad (4.15)$$

$$SR_V = \frac{2.31 - 0.41 \ln \left[\frac{63.7 \kappa (a_y d_{pi} - d_y a_{pi})}{a_{pi} d_{pi}} + 5 \right]}{1.65} \quad (4.16)$$

$SR_V \geq$ Çizelge 4.3' teki değerler alınır.

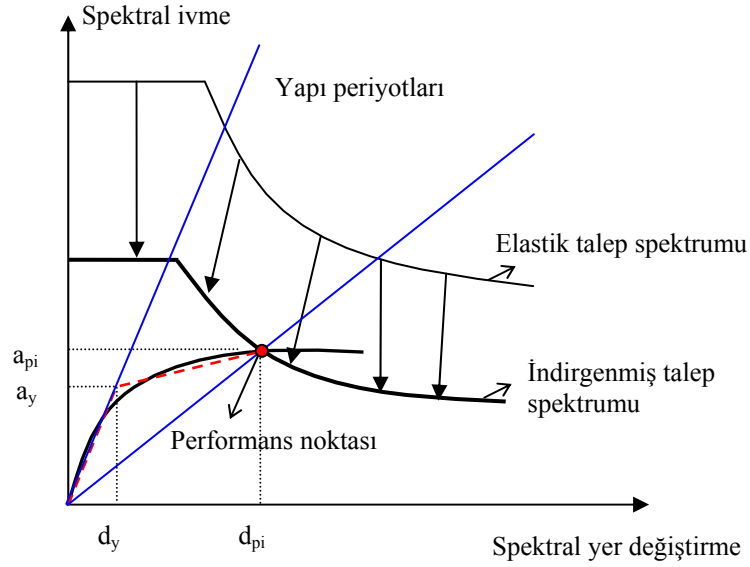
Çizelge 4.3. SR_A ve SR_V ' nin alabileceği minimum değerler (ATC-40)

Yapısal Davranış Tipi	SR_A	SR_V
A Tipi	0.33	0.50
B Tipi	0.44	0.56
C Tipi	0.56	0.67



Şekil 4.5. Kapasite diyagramı ve indirgenmiş talep spektrumu

İndirgenmiş talep spektrumunun kapasite diyagramını kestiği nokta, başlangıçta tahmin edilen performans noktasıyla çakışmıyorsa (%5 hata oranı kabul edilebilir), yeni bir performans noktası tahmin edilir ve bu noktaya göre elastik talep spektrumu tekrar indirgenir. İndirgenen spektrumun kapasite diyagramını kestiği nokta, tahmin edilen performans noktasına %5 hata oranıyla yaklaşması halinde performans noktası bulunmuş sayılır (Şekil 4.6).

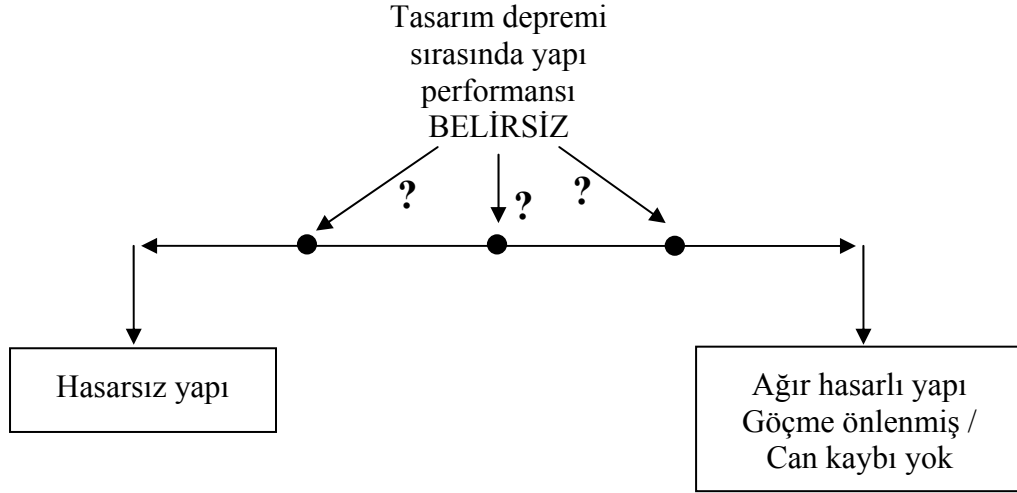


Şekil 4.6. Kapasite diyagramı ve indirgenmiş talep spektrumu (Polat ve diğerleri, 2004)

4.5. Performans Değerlendirmesi

Depreme dayanıklı yapı tasarımı düşüncesi can kaybını önlemek ilkesinden hareketle ortaya çıkmıştır. Dünyanın dört bir yanında uzun yıllar süren bilimsel çalışmaların sonucunda olgunlaşarak ortaya çıkan bu yaklaşım, bir çok modern deprem yönetmeliğinde olduğu gibi ülkemizde yürürlükte bulunan deprem yönetmeliğinde de (ABYYHY, 1998) şu ifade ile belirtilmektedir; “Hafif şiddetteki depremlerde binalardaki yapısal ve yapısal olmayan sistem elemanlarının her hangi bir hasar görmemesi, orta şiddetteki depremlerde yapısal ve yapısal olmayan elemanlardaki hasarın onarılabılır düzeyde kalması, şiddetli depremlerde ise can kaybını önlemek amacı ile binaların kısmen veya tamamen göçmesinin önlenmesi”. Bu ifadeden de anlaşılacağı gibi konut ve benzeri binalardan beklenen performans, tasarım depremi altında (50 yıllık süre içerisinde aşılma olasılığı %10 olan deprem) can güvenliğinin korunmasıdır. Bu düşünce uygulamada olumlu sonuçlar vermiş; başka bir deyişle hedefe ulaşmış olmakla beraber, hala bazı zaafları bünyesinde taşımaktadır. Bunlardan en önemlisi güncel deprem yönetmeliklerine harfiyen uyularak tasarlanmış, projelendirilmiş ve inşa edilmiş yapılarda bile, tasarım depremi altındaki performansın tahmininin zor olmasıdır. Binaların tasarım depremi altında gösterecekleri performans için yapılan “kısmen veya tamamen göçmenin önlenmesi” tanımı yetersiz kalmaktadır. Gerçekten de “hasarsız yapı” ve “ağır hasarlı (kullanılamayacak derecede) yapı” limit durumları ile sınırlandırılmış olan hasar

veya performans aralığı çok geniştir ve tasarım mühendisi, projelendirdiği yapının tasarım depremi altında göstereceği performansın bu limit durumlar arasında hangi noktaya karşılık geleceğini kestirememektedir (Şekil 4.7).



Şekil 4.7 Tasarım depremi sırasında yapı performansı (Kırçıl, 2002)

1991 California depreminden sonra Amerika Birleşik Devletleri, bu bölgedeki yapıların on yıl içerisinde güçlendirilmesini zorunlu kılmış ve California bölgesinde çok yoğun bir biçimde onarım ve güçlendirme faaliyetleri başlamıştır. Dolayısıyla, mevcut yapıların değerlendirilmesi, onarılması ve güçlendirilmesine yönelik bazı standart ve yönetmeliklerin hazırlanması için de ön çalışmalar yapılmıştır. Kuzey Amerika’da gerçekleştirilen bu çalışmaların sonucunda, 1994 yılında Federal Acil Durum Yönetim Merkezi (Federal Emergency Management Agency) tarafından FEMA-273 ve FEMA-274, 1995 yılında Uygulamalı Teknoloji Konseyi (Applied Technology Council) tarafından ATC-40 ve California Yapı Mühendisleri Derneği tarafından “Blue Book” adıyla anılan belgeler yayınlanmıştır. Bu belgeler kılavuz niteliğinde olup, temelde aynı fakat detaylarda farklılık gösterirler. Son olarak 2001 yılında yine FEMA tarafından ön standart niteliğindeki FEMA-356 yayınlanmıştır. Bu belgelerle ortaya çıkan yeni yaklaşımlar tüm dünyada giderek ilgi görmekte, araştırmalara konu olmaktadır. Yakın bir gelecekte, ülkemizdeki tasarım mühendisleri tarafından da benimseneceği umulmaktadır. Başlangıçta mevcut yapıların değerlendirilmesi ve güçlendirilmesi ihtiyacından ortaya çıkan bu yaklaşımın bugün yeni yapılacak yapılar içinde kullanılabileceği düşünülmektedir.

Yukarıda sözü edilen çalışma ve belgelerle ortaya çıkan düşünce, yapı sahibinin ihtiyaç, istek ve bütçesine göre birden fazla performans seviyesini göz önüne almaktadır. Yani yapılar sadece tasarım depremi altında göçmenin ve can kaybının önlenmesi performans seviyesi dikkate alınarak değil, gerektiğinde (yapı sahibinin ihtiyaç ve isteklerine göre) depremde hemen sonra kullanılacak şekilde tasarlanacaktır. Yukarıda sözü edilen belgeler, konu ile ilgili olarak, değişik performans seviyelerini tanımlamakta, tasarım ve modelleme (yapısal özellikler ve malzeme özellikleri vb.) kural ve yöntemlerini, tasarımda kullanılacak yer hareketi özelliklerini (belli süreler içinde aşılma olasılıkları, spektrum vb.), tasarım sonrasında, öngörülen performans seviyelerinin sağlanıp sağlanmadığını kontrol etmek için çeşitli performans kriterlerini belirlemektedirler. Çoğu zaman doğrusal olmayan hesabı önerdikleri için de, mevcut yaklaşımın cevaplamakta yetersiz kaldığı hasar miktarı ve dağılımı ile ilgili sorulara gerçeğe daha yakın biçimde cevap verebilmektedirler. Hemen belirtmek gerekir ki, bu belgelerle ortaya konulan kurallar kesin doğrular olmayıp halen tartışma ve araştırma konusudurlar.

4.6. Performans Seviyeleri

Performans seviyeleri, belirli bir deprem ve bina için verilen hasar miktarlarının limit durumlarıdır. Bu limit durumlar, binadaki taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanlardaki hasar miktarları, bu hasarların hayatî tehlike gösterip göstermemesi, deprem sonrası yapının kullanılıp kullanılamaması, ekonomik kayıplar gibi etkenlere bağlı olarak belirlenir. Çizelge 4.4 ve Şekil 4.8' de; ATC-40'ta taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanlar için tanımlanmış olan performans seviyeleri verilmiştir. FEMA-273 ve FEMA-356 belgeleri için de aynı performans seviyeleri geçerlidir.

4.6.1. Hemen Kullanım Performans Seviyesi (Immediate occupancy)

Çok hafif taşıyıcı sistem hasarını temsil eder. Yapının düşey ve yatay yük taşıyıcı sistemi, deprem öncesindeki hemen tüm karakteristik özelliklerini (dayanım, rijitlik, süneklik) neredeyse aynen korumaktadır.

4.6.2. Hasar Kontrol Performans Aralığı (Damage control)

Deprem sonrası hasar durumunun, hemen kullanım ile can güvenliği performans seviyeleri arasında temsil edildiği performans aralığıdır. Bu performans aralığı üstten hemen kullanım performans seviyesi, alttan da can güvenliği performans seviyesi ile sınırlandırılmıştır.

4.6.3. Can Güvenliği Performans Seviyesi (life safety)

Bu performans seviyesinde, yapıda, deprem sonrası önemli hasar oluşabilir. Ancak, kısmi veya toptan göçme söz konusu değildir. Toptan göçmeye karşı güvenlik, stabilitenin korunması performans seviyesindekinden daha fazladır. Dolayısıyla oluşacak hasar miktarı da stabilitenin korunması performans seviyesindekinden daha azdır. Taşıyıcı elemanların kopması veya konumlarını değiştirmesi söz konusu değildir. Deprem sırasında yaralanmalar olabilir. Ancak bu yaralanmalar yapısal hasarla ilgili olmayan yaralanmalardır. Dolayısıyla, yapısal hasar kaynaklı ölüm riski çok düşüktür.

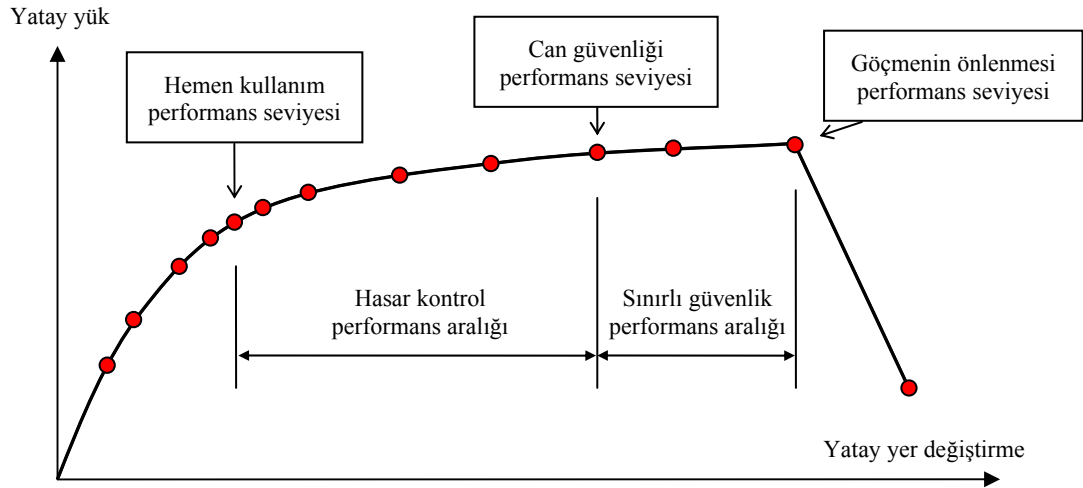
4.6.4. Sınırlı Güvenlik Performans Aralığı (limited safety)

Üstten can güvenliği, alttan ise stabilitenin korunması performans seviyesi ile sınırlandırılmış performans aralığıdır. Bu aralıkta taşıyıcı elemanların performansları, tamamen can güvenliği performans seviyesi koşullarını sağlamayabilir, ancak; stabilitenin korunması performans seviyesindekinden daha yüksektir.

4.6.5. Stabilitenin Korunması (Göçmenin Önlenmesi) Performans Seviyesi (collapse prevention)

Yapıyı deprem sonrasında kısmi veya toptan göçme sınırına getiren hasar durumunu temsil eder. Taşıyıcı elemanlarda önemli hasarlar oluşmuş, dayanım ve rijitliklerinde önemli

azalmalar meydana gelmiştir. Bununla beraber, yapının düşey yük taşıma kapasitesi düşey yükleri taşımaya devam etmek için yeterlidir. Yapı, stabilitesini korumasına rağmen önemli can güvenliği riski mevcuttur.



Şekil 4.8. Performans seviyeleri ve aralıkları

Çizelge 4.4. Performans seviyeleri ve aralıkları

Performans seviyesi	Performans aralığı
Hemen kullanım (immediate occupancy)	
	Hasar kontrol (damage control)
Can güvenliği (life safety)	
	Sınırlı güvenlik (limited safety)
Stabilitenin korunması (collapse prevention)	
	Performansın dikkate alınmadığı aralık

4.7. Kabul Kriterleri (Performans Kontrolü)

Gerek ATC-40 gerekse FEMA-356 belgelerinde, tasarımı yapılan yapının performansının kontrolü için bazı sınır değerler verilmiştir. Bu değerler global ve yerel olmak üzere iki gruba ayrılır ve kabul kriterleri (acceptance criteria) olarak adlandırılırlar.

4.8. Global Sınırlar

Global sınırlar, görelî kat yer değıştirmesi oranı (interstory drift ratio) cinsinden verilir. Dört ayrı performans seviyesi için verilen global sınır değêrler Çizelge 4.5’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.5’ de yapısal stabilitenin korunması performans seviyesinde verilmiş olan sınır yer değıştirme oranı eşitliğinde V_i , i. kata ait kat kesme kuvvetini, P_i ise yine i. kata ait toplam düşey yükü ifade etmektedir. Yine bu çizelgede verilen yer değıştirme oranı sınır değêrleri, laboratuvar deneylerinden elde edilen sonuçlara ve geçmiş depremlerde gözlenmiş olan hasarlara dayanmaktadır.

Çizelge 4.5. Global yer değıştirme sınırları (ATC-40)

	Performans seviyesi			
Görelî kat yer değıştirmesi oranı	Hemen kullanım	Hasar kontrol	Can güvenliği	Yapısal stabilitenin korunması
Toplam yer değıştirme oranı	0.01	0.01 – 0.02	0.02	$0.33 \frac{V_i}{P_i}$
Maksimum inelastik yer değıştirme oranı	0.005	0.005 – 0.015	Sınır yok	Sınır yok

4.9. Yerel Sınırlar (Taşıyıcı Sistem Elemanlarına Ait Şekil Değıştirme Sınırları)

Taşıyıcı sistem elemanları, yatay yük taşıma kapasitesine olan katkılarına bağılı olarak, “birincil” ve “ikincil” elemanlar olmak üzere sınıflandırılırlar. Yatay yük kapasitesine katkının ölçüsü, taşıyıcı sistem elemanının kapasitesinin, tüm taşıyıcı sistemin kapasitesi içindeki oranıdır.

Genel kabul, taşıyıcı sistem elemanlarının (birincil veya ikincil) şekil değıştirme değêrlerinin, performans seviyelerine bağılı olarak verilmiş sınır değêrleri aşmamasıdır.

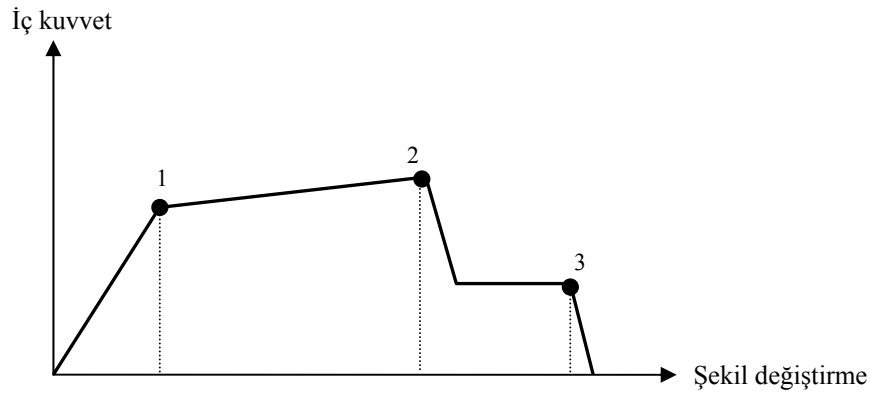
Kabul kriterleri, genel mekanik prensipleri yardımı ile hesaplanan şekil değiştirme değerleri olabileceği gibi taşıyıcı sistem elemanları ile yapılan deneyler sonucunda da belirlenebilir. Bu durumda aşağıda verilmiş olan genel prensipler geçerlidir.

Birincil elemanlar için,

Göçmenin önlenmesi performans seviyesini temsil eden şekil değiştirme değeri, iç kuvvet-şekil değiştirme eğrisinde (Şekil 4.9), 2 noktasına karşılık gelen şekil değiştirme değerinden büyük olmamak kaydıyla, 3 noktasına karşılık gelen şekil değiştirme değerinin %75'ine karşılık gelmektedir.

Can güvenliği performans seviyesini temsil eden şekil değiştirme değeri 2 noktasına karşılık gelen şekil değiştirmenin %75'idir.

Hemen kullanım performans seviyesini temsil eden şekil değiştirme değeri ise tamamen mühendislik tecrübesi ve öngörüsüne dayanmaktadır.



Şekil 4.9. İç kuvvet-şekil değiştirme eğrisi

İkincil elemanlar için;

Göçmenin önlenmesi performans seviyesini temsil eden şekil değiştirme değeri, iç kuvvet-şekil değiştirme eğrisinde (Şekil 4.9), 3 noktasına karşılık gelen şekil değiştirme değeridir.

Can güvenliği performans seviyesini temsil eden şekil değiştirme değeri, Şekil 4.9'da 3 noktasına karşılık gelen şekil değiştirmenin %75'inden az olmamakla beraber, 2 noktasına karşılık gelen değeridir.

Hemen kullanım performans seviyesini temsil eden şekil değiştirme değeri ise birincil elemanlarda olduğu gibi tamamen mühendislik tecrübesi ve öngörüsüne bağlıdır.

Kabul kriterlerinin hesap veya deney yoluyla belirlenmemesi durumunda; kiriş, kolon, perde,

döşeme ve bağ kirişi gibi taşıyıcı sistem elemanları için verilmiş olan kabul kriterleri de kullanılabilir. Bu kriterler, eleman davranışında eğilme veya kesmenin hakim olması, basınç donatısı oranı, eksenel yük oranı, etriye aralığı, perdelerde başlık bulunup bulunmaması gibi durumlar için verilmiştir ve büyük çoğunlukla deney sonuçlarına dayanmaktadır (Çizelge 4.6, 4.7,4.8,4.9).

Çizelge 4.6. Betonarme kirişler için şekil değiştirme kabul kriterleri (*FEMA-356*)

Koşullar			Plastik mafsal dönmesi (radyan) ⁽¹⁾ (Şekil 1.15)				
			Performans Seviyesi				
			HK	Taşıyıcı Eleman Tipi			
				Birincil		İkincil	
			CG	GÖ	CG	GÖ	
1. Eğilme Etkisindeki Kirişler ⁽²⁾							
$\frac{\rho-\rho'}{\rho_b}$	Sargı donatısı ⁽³⁾	$\frac{V}{b_w d \sqrt{f_c}}$					
≤ 0.0	Kuşatılmış	≤ 3	0.01	0.02	0.025	0.02	0.05
≤ 0.0	Kuşatılmış	≥ 6	0.005	0.01	0.02	0.02	0.04
≥ 0.5	Kuşatılmış	≤ 3	0.005	0.01	0.02	0.02	0.03
≥ 0.5	Kuşatılmış	≥ 6	0.005	0.005	0.015	0.015	0.02
≤ 0.0	Kuşatılmamış	≤ 3	0.005	0.01	0.02	0.02	0.03
≤ 0.0	Kuşatılmamış	≥ 6	0.0015	0.005	0.01	0.01	0.015
≥ 0.5	Kuşatılmamış	≤ 3	0.005	0.01	0.01	0.01	0.015
≥ 0.5	Kuşatılmamış	≥ 6	0.0015	0.005	0.005	0.005	0.01
2. Kesme Etkisindeki Kirişler ⁽²⁾							
Etriye aralığı $\leq d/2$			0.0015	0.002	0.003	0.01	0.02
Etriye aralığı $> d/2$			0.0015	0.002	0.003	0.005	0.01
3. Açıklık boyunca yetersiz donatı kenetlenme boyunca sahip kirişler ⁽²⁾							
Etriye aralığı $\leq d/2$			0.0015	0.002	0.003	0.01	0.02
Etriye aralığı $> d/2$			0.0015	0.002	0.003	0.005	0.01
4. Kiriş- Kolon birleşim bölgesinde yetersiz kenetlenmeye sahip kirişler ⁽²⁾							
			0.01	0.01	0.015	0.02	0.03
1. Çizelgede verilen sayısal değerler arasında doğrusal enterpolasyon yapılabilir. 2. Koşullardan birden fazlasının sağlanması durumunda en olumsuz sayısal değeri veren koşul geçerli olacaktır. 3. Kiriş plastik mafsal bölgesinde kapalı etriyelerin aralığı $d/3$'ten küçükse ve -normal ve yüksek sünekliğe sahip elemanlarda- etriyelerin kesme kuvveti taşıma gücü tasarım kesme kuvvetinin $\frac{3}{4}$'ünden büyükse o kiriş kuşatılmış olarak nitelendirilir. Aksi halde kiriş kuşatılmamış olarak değerlendirilir.							

Çizelge 4.7. Betonarme kolonlar için şekil değiştirme kabul kriterleri (FEMA-356)

Koşullar			Plastik mafsal dönmesi (radyan) ⁽¹⁾ (Şekil 1.15)				
			Performans Seviyesi				
			HK	Taşıyıcı Eleman Tipi			
				Birincil		İkincil	
		CG	GÖ	CG	GÖ		
1. Eğilme Etkisindeki Kolonlar ⁽²⁾							
$\frac{P}{A_g f_c'}$	Sargı donatısı ⁽³⁾	$\frac{V}{b_w d \sqrt{f_c'}}$					
≤ 0.1	Kuşatılmış	≤ 3	0.005	0.015	0.02	0.02	0.03
≤ 0.1	Kuşatılmış	≥ 6	0.005	0.012	0.016	0.016	0.024
≥ 0.4	Kuşatılmış	≤ 3	0.003	0.012	0.015	0.018	0.025
≥ 0.4	Kuşatılmış	≥ 6	0.003	0.01	0.012	0.013	0.02
≤ 0.1	Kuşatılmamış	≤ 3	0.005	0.005	0.006	0.01	0.015
≤ 0.1	Kuşatılmamış	≥ 6	0.005	0.004	0.005	0.008	0.012
≥ 0.4	Kuşatılmamış	≤ 3	0.002	0.002	0.003	0.006	0.01
≥ 0.4	Kuşatılmamış	≥ 6	0.002	0.002	0.002	0.005	0.008
2. Kesme Etkisindeki Kolonlar ^(2,4)							
Tüm koşullarda ⁽⁵⁾			-	-	-	0.01	0.02
3. Temiz yüksekliği boyunca yetersiz donatı kenetlenme boyuna sahip kolonlar ^(2,4)							
Etriye aralığı ≤ d/2			0.005	0.005	0.01	0.01	0.02
Etriye aralığı > d/2			0.0	0.0	0.0	0.005	0.01
4. Eksenel kuvvetin 0.70P _o değerini aştığı kolonlar ^(2,4)							
Bütün yüksekliği boyunca uygun sargılanmış kolonlar			0.0	0.005	0.01	0.01	0.02
Diğer tüm koşullarda			0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1. Çizelgede verilen sayısal değerler arasında doğrusal enterpolasyon yapılabilir. 2. Koşullardan birden fazlasının sağlanması durumunda en olumsuz sayısal değeri veren koşul geçerli olacaktır. 3. Kolon plastik mafsal bölgesinde kapalı etriyelerin aralığı d/3'ten küçükse ve -normal ve yüksek sünekliğe sahip elemanlarda- etriyelerin kesme kuvveti taşıma gücü tasarım kesme kuvvetinin ¾'ünden büyükse o kiriş kuşatılmış olarak nitelendirilir. Aksi halde kiriş kuşatılmamış olarak değerlendirilir. 4. Enine donatı ile sarılmamış kolonlar kuvvet kontrollü eleman kabul edilmelidir. 5. Kesme etkisindeki kolonlarda kabul kriterleri için FEMA-356 kısım 6.5.2.4.2 ye bakınız.							

Çizelge 4.8. Eğilme etkisindeki betonarme perdeler ve perde bağ kirişleri için şekil değiştirme kabul kriterleri (*FEMA-356*)

Koşullar			Plastik mafsalsal dönmesi (radyan) ⁽¹⁾ (Şekil 1.16)				
			Performans Seviyesi				
			HK	Taşıyıcı Eleman Tipi			
				Birincil		İkincil	
		CG	GÖ	CG	GÖ		
1. Perdeler							
$\frac{(A_s - A_s')f_y + P}{t_w \ell_w f_c'}$	$\frac{V}{t_w \ell_w \sqrt{f_c'}}$	Perde uç donatısı ⁽²⁾					
≤ 0.1	≤ 3	Evet	0.005	0.010	0.015	0.015	0.020
≤ 0.1	≥ 6	Evet	0.004	0.008	0.010	0.010	0.015
≥ 0.4	≤ 3	Evet	0.003	0.006	0.009	0.009	0.012
≥ 0.4	≥ 6	Evet	0.0015	0.003	0.005	0.005	0.010
≤ 0.1	≤ 3	Hayır	0.002	0.004	0.008	0.008	0.015
≤ 0.1	≥ 6	Hayır	0.002	0.004	0.006	0.006	0.010
≥ 0.4	≤ 3	Hayır	0.001	0.002	0.003	0.003	0.005
≥ 0.4	≥ 6	Hayır	0.001	0.001	0.002	0.002	0.004
2. Perde bağ kirişleri							
Boyuna ve enine donatı ⁽³⁾	$\frac{V}{t_w \ell_w \sqrt{f_c'}}$						
İkiside mevcut ve uygun enine donatı durumu	≤ 3	0.006	0.015	0.025	0.025	0.040	
	≥ 6	0.005	0.010	0.015	0.015	0.030	
İkiside mevcut ancak enine donatı durumu uygun değil	≤ 3	0.006	0.012	0.020	0.020	0.035	
	≥ 6	0.005	0.008	0.010	0.010	0.025	
Diyagonal donatı varsa	-	0.006	0.018	0.030	0.030	0.050	
1. Çizelgede verilen sayısal değerler arasında doğrusal enterpolasyon yapılabilir. 2. Perde uç bölgeleri, ACI 318'e uygun olarak sınırlanmışsa “evet” , değilse “hayır” anlamındadır. 3. Tüm bağ kiriş boyunca yerleştirilmiş kapalı etriyelerin aralığı d/3'ten küçükse ve etriyelerin kesme kuvveti taşıma gücü tasarım kesme kuvvetinin $\frac{3}{4}$'ünden büyükse uygun enine donatı durumu olarak nitelendirilir. Bağ kirişin boyuna aksına paralel, kesitin altına ve üstüne yerleştirilmiş donatı, geleneksel boyuna donatı olarak nitelendirilir.							

Çizelge 4.9. Kesme etkisindeki betonarme perdeler ve perde bağ kirişleri için şekil değiştirme kabul kriterleri (*FEMA-356*)

Koşullar		Toplam öteleme(%) veya düğüm noktası dönmesi ⁽¹⁾ (Şekil 1.16 ve 1.17)				
		Performans Seviyesi				
		HK	Taşıyıcı Eleman Tipi			
			Birincil		İkincil	
		CG	GÖ	CG	GÖ	
1. Perdeler						
Tüm koşullada ⁽²⁾		0.4	0.6	0.75	0.75	1.5
2. Perde bağ kirişleri						
Boyuna ve enine donatı ⁽³⁾	$\frac{V}{t_w \ell_w \sqrt{f_c'}}$					
İkisinde mevcut ve uygun enine donatı durumu	≤ 3	0.006	0.012	0.015	0.01	0.024
	≥ 6	0.004	0.008	0.010	0.010	0.016
İkisinde mevcut ancak enine donatı durumu uygun değil	≤ 3	0.006	0.008	0.010	0.010	0.020
	≥ 6	0.004	0.006	0.007	0.007	0.012
1. Perdelerde öteleme, bağ kirişlerinde ise düğüm noktası dönmesi kullanılmalıdır (bakınız Şekil 1.16 ve 1.17). 2. Elastik olmayan davranışı kesmeye bağlı olan perdelerde, aksinel iç kuvvet en fazla $0.15A_gf_c'$ olmalıdır; aksi halde, kuvvet kontrollü eleman kabul edilmelidir. 3. Tüm bağ kiriş boyunca yerleştirilmiş kapalı etriyelerin aralığı $d/3$'ten küçükse ve etriyelerin kesme kuvveti taşıma gücü tasarım kesme kuvvetinin $3/4$'ünden büyükse uygun enine donatı durumu olarak nitelendirilir. Bağ kirişin boyuna aksına paralel , kesitin altına ve üstüne yerleştirilmiş donatı, geleneksel boyuna donatı olarak nitelendirilir.						

BÖLÜM V

5. DOLGU DUVARLI YAPILARIN MODELLENMESİ VE ANALİZİ ÖRNEĞİ

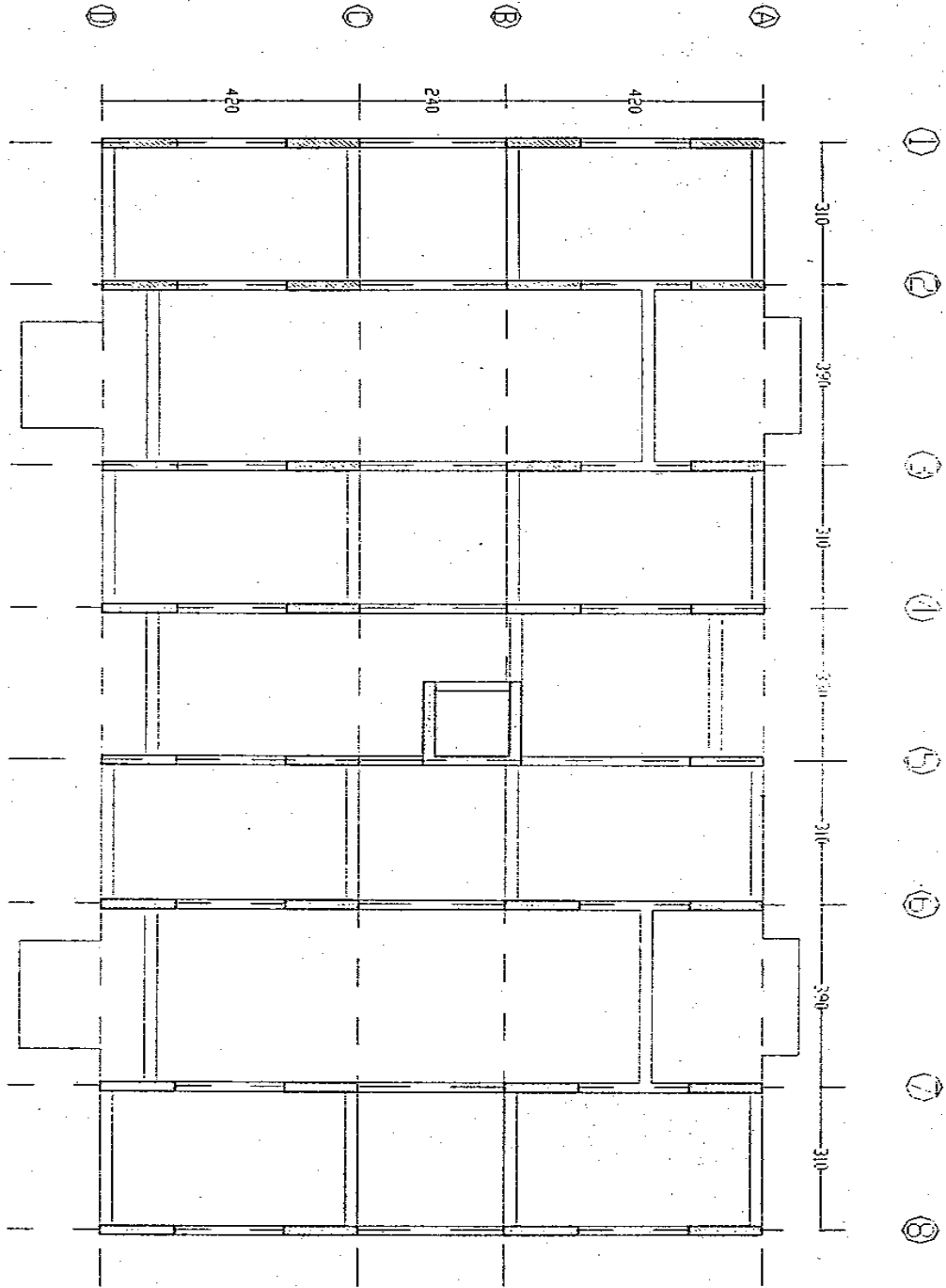
5.1. Taşıyıcı Sisteme Ait Mekanik Modelin Oluşturulması

Yukarıda 3. bölümde belirtildiği gibi yapı modellerinde dolgu duvarlar, iki ucu mafsallı çapraz çubuklarla tanımlanmakta, dolgu duvarlarda birçok parametre ile belirtilmektedir. Dolgu duvarların modellenmesinde kullanılan tuğla ve harçla birlikte, dolgu duvardaki boşluk oranı, tuğlaların cinsi ve yerleşimi, duvar yüksekliği gibi çok sayıda değişik parametreler kullanılmaktadır. Bu çalışmada sınırlı sayıda model test edilmesine karşın, modellemenin geçerliliğinin sınanması açısından çalışma önem kazanmaktadır. Çalışmada aşağıda verilen kooperatif binaların çıplak çerçeve, dolgu duvarlı durum ve sıvalı durumda genlikleri 0.005-3000 mikron aralığındaki küçük titreşim kaynaklı yer değiştirmelerin ölçülmesi ve değerlendirilmesi ile birinci modları ve buna karşı gelen periyotları bulunmuştur. Binalara ait mekanik modeller oluşturulmuş, modeller deneysel çalışmalar sonucunda bulunan periyotlardan faydalanılarak geliştirilmiş ve bütün parametreler buna göre düzenlenmiştir.

12 katlı olan binalar çıplak çerçeveli, sıvasız dolgu duvarlı ve sıvalı dolgu duvarlı olarak modellenmiş, deneysel olarak bulunan periyotlarla mekanik modelden elde edilen periyotlar karşılaştırılmıştır. Aynı yapılar dolgu duvar değişiminin az katlı yapılara etkisinin saptanması amacıyla 4 katlı bina olarak ele alınmış ve taşıyıcı eleman boyutları 4 kata göre yeniden düzenlenmiştir. Ayrıca dolgu duvarların taşıma kapasitesinin saptanması amacıyla 4 katlı bina doğrusal olmayan statik itme çözümlemesi ile çözülerek karşılaştırılmıştır. Burada 12 katlı bina doğrusal olmayan yöntemin tek modu dikkate alınmasından dolayı yapının kütle katılımının tam olarak ifade edilmesi, başka bir deyişle yöntemin çok katlı yapılara uygun olmaması nedeni ile çözülmemiştir.

5.2. Örnek Modelleme- İstanbul, Esenkent Toplu Konut Binaları

İstanbul, Esenkent’ te bulunan Toplu konut Binaları bodrum+zemin+10 normal kat olmak üzere toplam 12 kattan oluşmaktadır. Binaların bodrum kat çevresi betonarme perde şeklindedir. Bunun dışında asansör çevresinde perde bulunmakta ve bu perde tüm bina boyunca çıkmaktadır. Binaya ait tip kat planı Şekil 5.1’ de verilmiştir.



Şekil 5.1. Esenkent Toplu Konut Yapıları Normal Kat Kalıp Planı

Mekanik modelde tüm taşıyıcı elemanlar çubuk elemanlarla modellenmiştir. Asansör çevresinde yer alan U şeklindeki perde de, iki doğrultudaki perde rijitliğinin dikkate alındığı iki çubukla temsil edilmiştir. Yapı alttan ankastre olarak mesnetlenmiş, kat döşemesinin diyafram hareketi yaptığı kabulü ile kat kütleleri kat döşemesi hizasında, binanın kütle merkezinde toplandığı kabul edilmiştir.

Binaların bütün kat yükseklikleri 2.9 m.' dir. Binalarda kat ağırlığı, sistem işletme altında olmadığından yalnızca taşıyıcı elemanların zati ağırlıkları dikkate alınarak bulunmuştur. Buna göre belirlenen kat kütleleri, bodrum katta $202 \text{ kNsn}^2/\text{m}$, zemin ve normal katta $167.75 \text{ kNsn}^2/\text{m}$, çatı katında ise $196.3 \text{ kNsn}^2/\text{m}$ 'dir. Dolgu duvarları sisteme katıldıktan sonra, mevcut duvar ağırlıkları ve öz ağırlıklar göz önünde tutularak bulunan kat kütleleri; bodrum kat için $325.07 \text{ kNsn}^2/\text{m}$, zemin ve normal kat için $290.75 \text{ kNsn}^2/\text{m}$, çatı katı için ise $259.3 \text{ kNsn}^2/\text{m}$ 'dir.

Taşıyıcı çerçevede betonun basınç dayanımı 16 MPa olarak ele alınmıştır. Elastisite modülü ise 21000 MPa olarak kabul edilmiştir. Binalara ait bütün çözümlerde SAP 2000 programı kullanılmıştır. Dolgu duvarlarının eksenel rijitlikleri önceki bölümlerde önerilen α ve β değerleri göz önüne alınarak hesaplanıp, mekanik modele dahil edilmişlerdir.

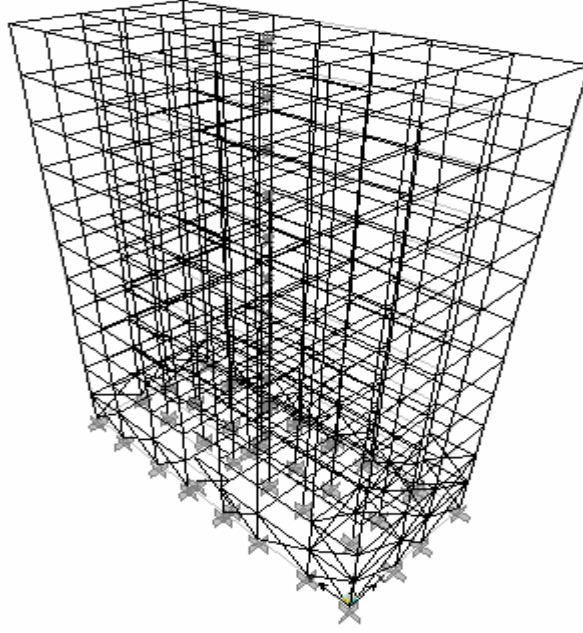
5.2.1. Yapının Serbest Titreşiminin Lineer Olarak Hesaplanması ve Deneysel Sonuçlarla Karşılaştırılması

5.2.1.1. Binaların 12 Katlı ve Çıplak Çerçevesi Olması Durumu

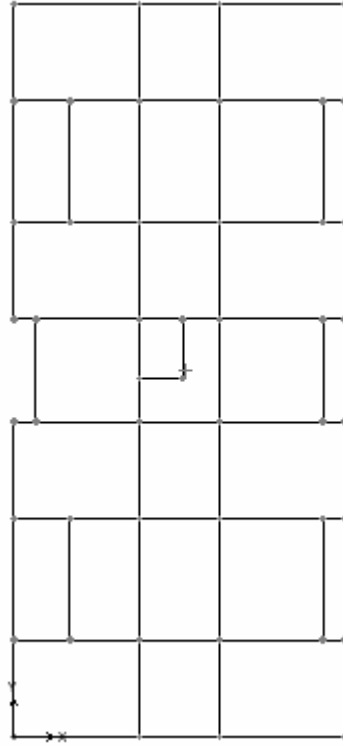
İstanbul, Esenkent Binaları'nda, binalar yalnızca çıplak çerçeve halinde iken serbest titreşim ölçümleri yapılmıştır. Mekanik modelleri yapılan ve yalnızca çerçevelerden oluşan binaların öz değer hesapları yapılarak binaların modları ve buna bağlı olarak da serbest titreşim değerleri bulunmuştur. Aşağıda Çizelge 5.1' de binanın 12 katlı durumda iken, deneysel ve kuramsal yolla bulunan ve binaların yalnızca çıplak çerçeve haline ait olan değerleri özet halde yer almaktadır. Binaya ait modelleme Şekil 5.2 ve 5.3' de, hesapla bulunan değerler daha ayrıntılı olarak Çizelge 5.2 ve 5.3.' de verilmiştir.

Çizelge 5.1. Esenkent Toplu Konut Binasında Basit Çerçevelerden Oluşan 12 Katlı Sistem İçin Ölçülen ve Hesaplanan Periyod ve mod Şekilleri

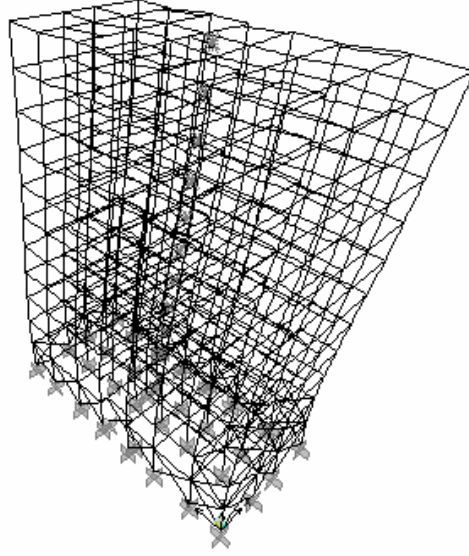
Periyod (s)	Uzun Doğrultu		Kısa Doğrultu	
	Ölçülen	Hesaplanan	Ölçülen	Hesaplanan
	1.02	1.04	0.68	0.62
Kat No	1. mod	1. mod	1. mod	1. mod
11	1.00	1.00	1.00	1.00
10	0.987	0.918	0.985	0.931
8	0.919	0.727	0.792	0.756
7	0.760	0.615	0.670	0.650
5	0.477	0.368	0.401	0.415
3	0.200	0.131	0.143	0.176
1 (Zemin Kat)	0.030	0.002	0.002	0.007



Şekil 5.2. Binaların 12 katlı halde 3 Boyutlu Görünümü



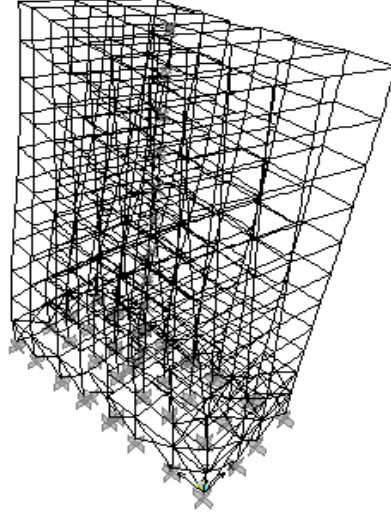
Şekil 5.3. Binaların Kat Plan Görünümü



T=1.04 s

Çizelge 5.2. 12 Katlı Binanın uzun doğrultudaki mod değerleri

Periyot (s)	1.04	0.30	0.14
Kat	1. Mod	2. Mod	3. Mod
Zemin	0.000	0.000	0.000
1	0.002	-0.007	0.018
2	0.043	-0.164	0.370
3	0.131	-0.449	0.839
4	0.244	-0.727	1.000
5	0.368	-0.892	0.679
6	0.494	-0.889	0.019
7	0.615	-0.706	-0.638
8	0.727	-0.370	-0.937
9	0.828	0.064	-0.703
10	0.918	0.534	-0.014
11	1.000	1.000	0.887



$T=0.62$ s

Çizelge 5.3. 12 Katlı Binanın kısa doğrultudaki mod değerleri

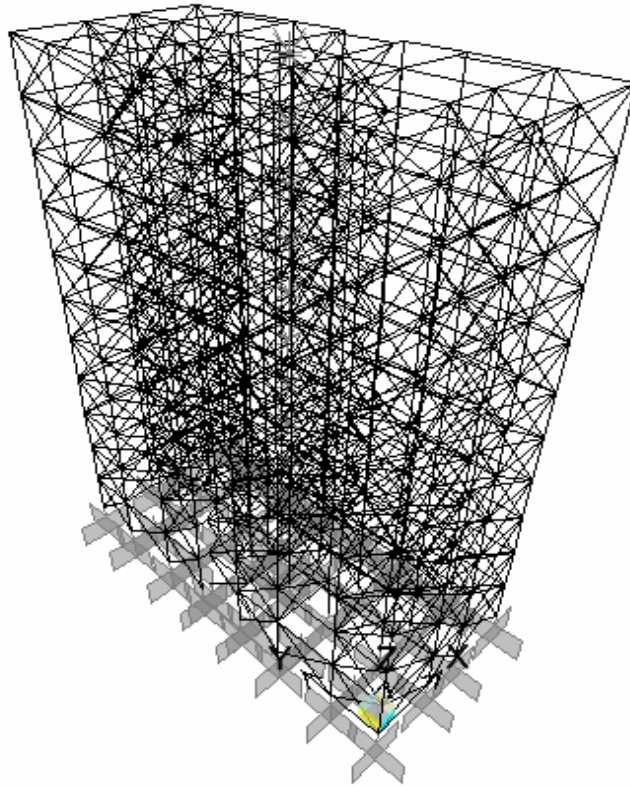
Periyot (s)	0.62	0.60	0.18
Kat	1. Mod	2. Mod	3. Mod
Zemin	0.000	0.000	0.000
1	0.007	0.006	-0.023
2	0.072	0.051	-0.218
3	0.176	0.148	-0.544
4	0.293	0.267	-0.830
5	0.415	0.394	-0.970
6	0.536	0.521	-0.921
7	0.650	0.641	-0.684
8	0.756	0.751	-0.303
9	0.850	0.848	0.154
10	0.931	0.931	0.608
11	1.000	1.000	1.000

5.2.1.2. Binaların 12 Katlı ve Sıvasız Dolgu Duvarlı Olması Durumu

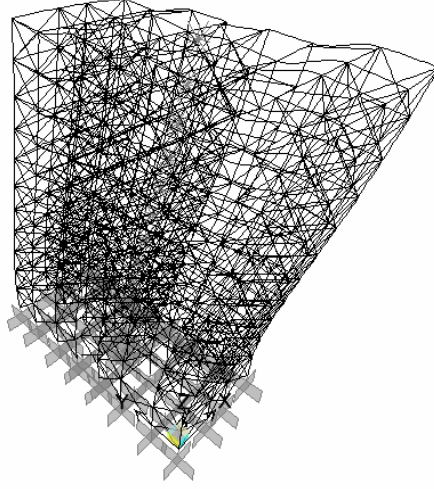
İki ucu mafsallı diyagonal çubuklarla tanımlanan dolgu duvarlar, yukarıda 3. bölümde de tarif edildiği gibi bazı parametreler ile diğer yapı elemanları ile modellenmiştir. Modelleme sonucunda yapılan hesaplarda aşağı verilen değerler elde edilmiş ve bulunan sonuçlar deneysel çalışmalarla karşılaştırılmıştır. Aşağıda şekilde modelin üç boyutlu görünümü ve çizelgelerde de bulunan sonuçlar verilmiştir.

Çizelge 5.4. Esenkent Toplu Konut Binasında Sıvasız Dolgu Duvarlardan ve Çerçevelerden Oluşan 12 Katlı Sistem İçin Ölçülen ve Hesaplanan Periyod ve mod Şekilleri

	Uzun Doğrultu		Kısa Doğrultu	
	Ölçülen	Hesaplanan	Ölçülen	Hesaplanan
Periyod (s)	0.93	0.92	0.64	0.59



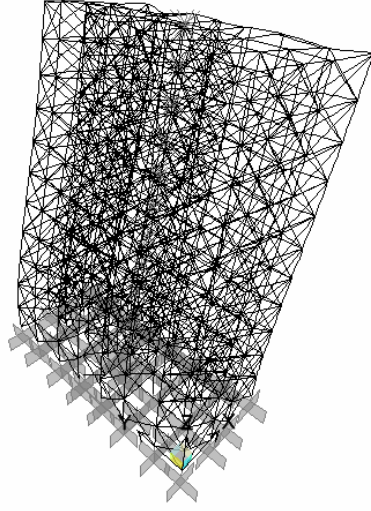
Şekil 5.4. Binaların 12 katlı halde Dolgu Duvarlı Haldeki 3 Boyutlu Görünümü



T=0.92s

Çizelge 5.5. 12 Katlı binanın sıvasız dolgu duvarlı halde uzun doğrultudaki mod değerleri

Periyot (s)	0.92	0.26	0.13
Kat	1. Mod	2. Mod	3. Mod
Zemin	0.000	0.000	0.000
1	0.003	-0.013	0.030
2	0.060	-0.257	0.508
3	0.153	-0.573	0.940
4	0.262	-0.814	0.930
5	0.377	-0.911	0.451
6	0.495	-0.837	-0.249
7	0.611	-0.600	-0.800
8	0.721	-0.237	-0.908
9	0.824	0.190	-0.505
10	0.916	0.616	0.222
11	1.000	1.000	1.000



$T=0.59$ s

Çizelge 5.6. 12 Katlı binanın sıvasız dolgu duvarlı halde kısa doğrultudaki mod değerleri

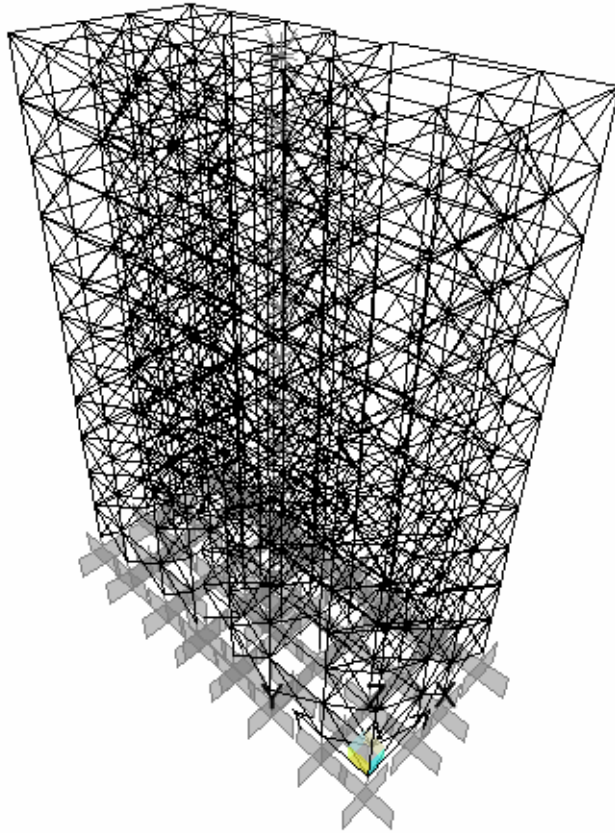
Periyot (s)	0.59	0.17	0.09
Kat	1. Mod	2. Mod	3. Mod
Zemin	0.000	0.000	0.000
1	0.010	-0.042	0.096
2	0.072	-0.314	0.602
3	0.166	-0.639	0.999
4	0.273	-0.868	0.913
5	0.385	-0.943	0.369
6	0.501	-0.845	-0.351
7	0.615	-0.587	-0.872
8	0.724	-0.210	-0.917
9	0.825	0.222	-0.457
10	0.917	0.642	0.283
11	1.000	1.000	1.000

5.2.1.3. Binaların 12 Katlı ve Sıvalı Dolgu Duvarlı Olması Durumu

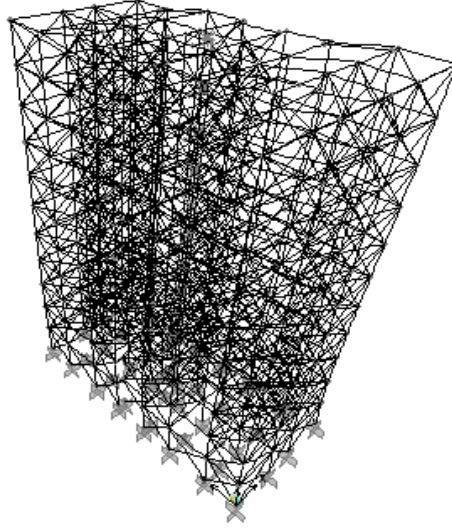
Yapıların 12 katlı olması durumunda ve dolgu duvarların sıvalı halde olması durumunda yapılan deneysel ve kuramsal çalışmalar sonucunda aşağıda verilen değerler elde edilmiştir.

Çizelge 5.7. Esenkent Toplu Konut Binasında Sıvalı Dolgu Duvarlardan ve Çerçevelerden Oluşan 12 Katlı Sistem İçin Ölçülen ve Hesaplanan Periyod ve mod Şekilleri

	Uzun Doğrultu		Kısa Doğrultu	
	Ölçülen	Hesaplanan	Ölçülen	Hesaplanan
Periyod (s)	0.60	0.73	0.51	0.46



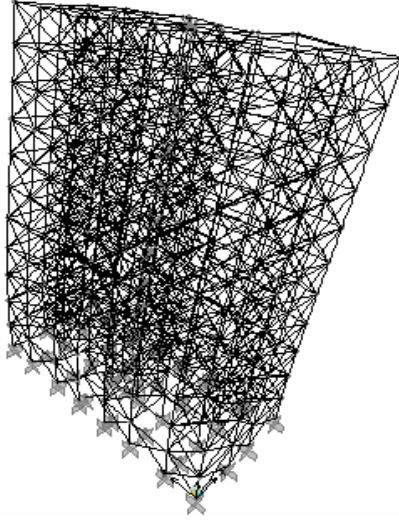
Şekil 5.5. Binaların 12 katlı halde Dolgu Duvarlı ve Sıvalı Haldeki 3 Boyutlu Görünümü



T=0.73 s

Çizelge 5.8. 12 Katlı binanın sıvalı dolgu duvarlı halde uzun doğrultudaki mod değerleri

Periyot (s)	0.73	0.20	0.10
Kat	1. Mod	2. Mod	3. Mod
Zemin	0.000	0.000	0.000
1	0.004	-0.020	0.041
2	0.063	-0.293	0.552
3	0.152	-0.618	0.970
4	0.255	-0.852	0.924
5	0.365	-0.939	0.418
6	0.481	-0.856	-0.299
7	0.597	-0.609	-0.843
8	0.709	-0.239	-0.920
9	0.815	0.195	-0.483
10	0.912	0.622	0.254
11	1.000	1.000	1.000



$T=0.46s$

Çizelge 5.9. 12 Katlı binanın sıvalı dolgu duvarlı halde kısa doğrultudaki mod değerleri

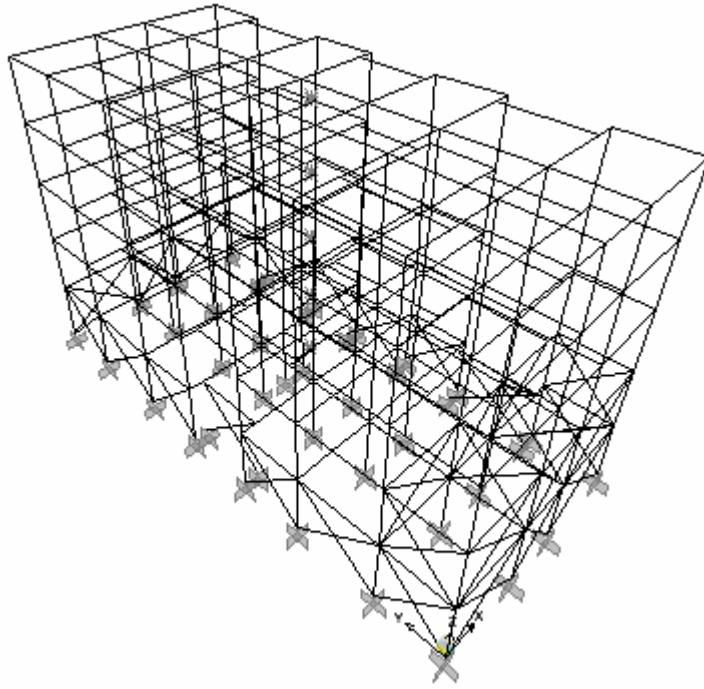
Periyot (s)	0.46	0.12	0.06
Kat	1. Mod	2. Mod	3. Mod
Zemin	0.000	0.000	0.000
1	0.014	-0.081	0.178
2	0.071	-0.380	0.735
3	0.150	-0.688	1.067
4	0.244	-0.895	0.895
5	0.349	-0.958	0.305
6	0.460	-0.860	-0.414
7	0.574	-0.610	-0.905
8	0.687	-0.243	-0.921
9	0.797	0.186	-0.447
10	0.902	0.617	0.295
11	1.000	1.000	1.000

5.2.1.4. Binaların 4 Katlı ve Çıplak Çerçevesi Olması Durumu

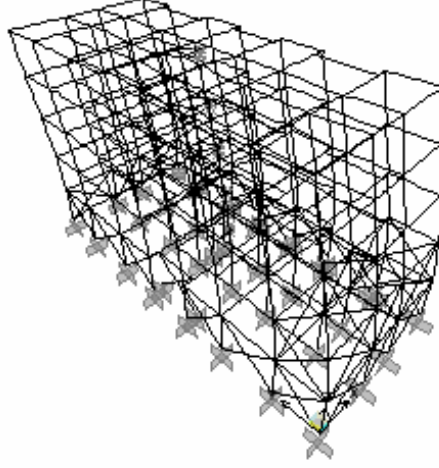
Betonarme yapılarda dolgu duvarların etkinliğinin incelenmesi amacıyla ele alınan yapılar 12 katlıdır. Az katlı yapılarda dolgu duvarların etkinliğinin araştırılması amacıyla aynı binalar 4 katlı olarak ele alınmış ve taşıyıcı eleman boyutları yeniden düzenlenmiştir. Buna göre elde edilen yapı modları ve periyotları aşağıda verilmiştir.

Çizelge 5.10. Esenkent Toplu Konut Binasında Basit Çerçevelerden Oluşan 4 Katlı Sistem İçin Hesaplanan Periyod ve mod Şekilleri

	Uzun Doğrultu	Kısa Doğrultu
Periyot (s)	0.15	0.10



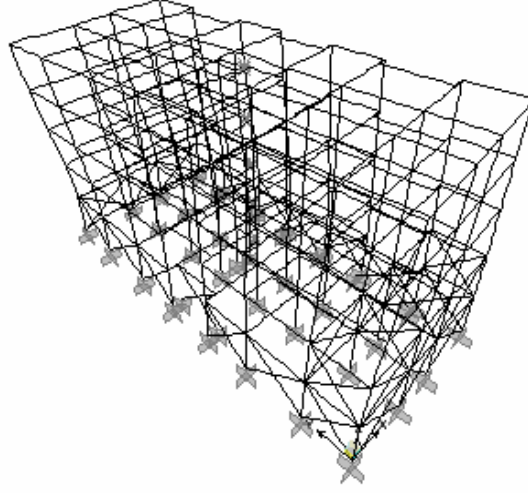
Şekil 5.6. Binaların 4 katlı ve yalın çerçeve haldeki 3 Boyutlu Görünümü



T=0.15s

Çizelge 5.11. 4 Katlı binanın yalın çerçeve halde ve uzun doğrultudaki mod değerleri

Periyot (s)	0.14	0.03	0.01
Kat	1. Mod	2. Mod	3. Mod
Zemin	0.000	0.000	0.000
1	0.017	0.130	1.000
2	0.384	1.000	-0.142
3	1.000	-0.387	0.034



$$T=0.10 \text{ s}$$

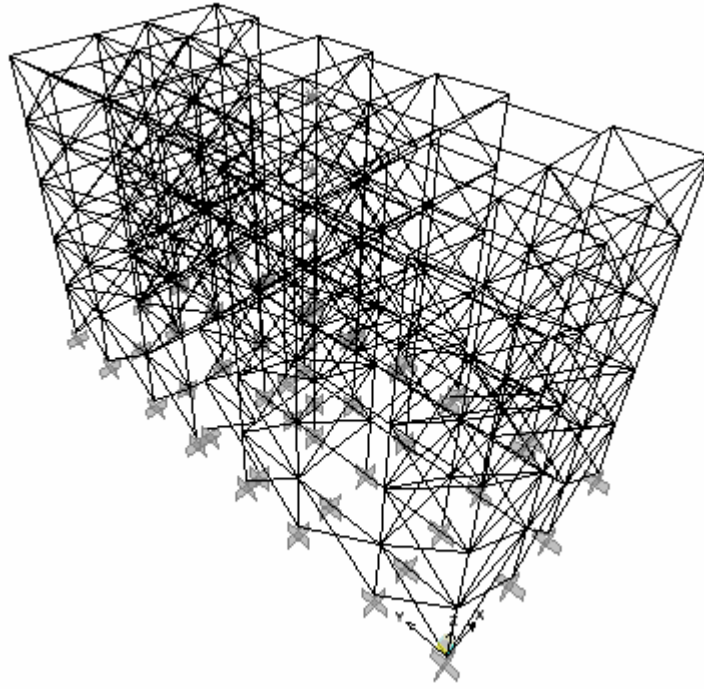
Çizelge 5.12. 4 Katlı binanın yalın çerçeve halde ve kısa doğrultudaki mod değerleri

Periyot (s)	0.10	0.08	0.02
Kat	1. Mod	2. Mod	3. Mod
Zemin	0.000	0.000	0.000
1	0.053	0.055	0.344
2	0.471	0.399	1.000
3	1.000	1.000	-0.478

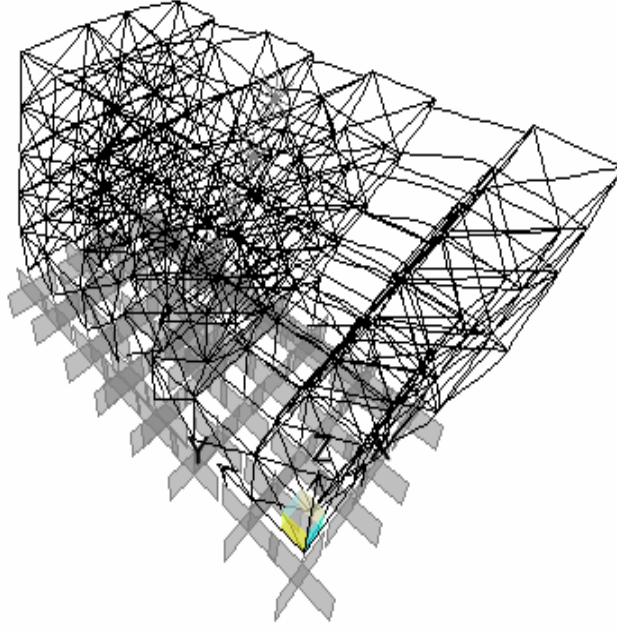
5.2.1.5. Binaların 4 Katlı ve Sıvasız Dolgu Duvarlı ve Çerçevesi Olması Durumu

Çizelge 5.13. Esenkent Toplu Konut Binasında Dolgu Duvarlardan ve Basit Çerçevelerden Oluşan 4 Katlı Sistem İçin Hesaplanan Periyot ve mod Şekilleri

	Uzun Doğrultu	Kısa Doğrultu
Periyot (s)	0.14	0.10



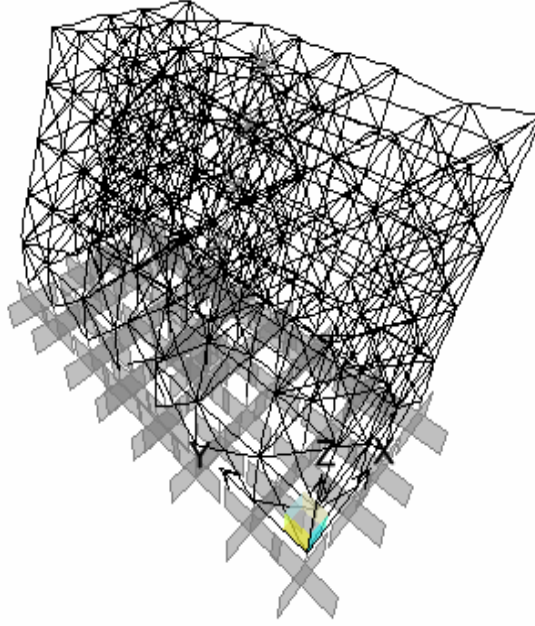
Şekil 5.7. Binaların 4 katlı ve sıvasız dolgu duvarlı haldeki 3 Boyutlu Görünümü



T=0.14s

Çizelge 5.14. 4 Katlı binanın sıvasız dolgu duvarlı ve çerçeve halde uzun doğrultudaki mod değerleri

Periyot (s)	0.15	0.04	0.01
Kat	1. Mod	2. Mod	3. Mod
Zemin	0.000	0.000	0.000
1	0.024	0.136	1.000
2	0.454	1.000	-0.136
3	1.000	-0.458	0.035



$T=0.10s$

Çizelge 5.15. 4 Katlı binanın sıvasız dolgu duvarlı ve çerçeve halde kısa doğrultudaki mod değerleri

Periyot (s)	0.10	0.03	0.02
Kat	1. Mod	2. Mod	3. Mod
Zemin	0.000	0.000	0.000
1	0.077	0.394	1.000
2	0.522	1.000	-0.379
3	1.000	-0.555	0.112

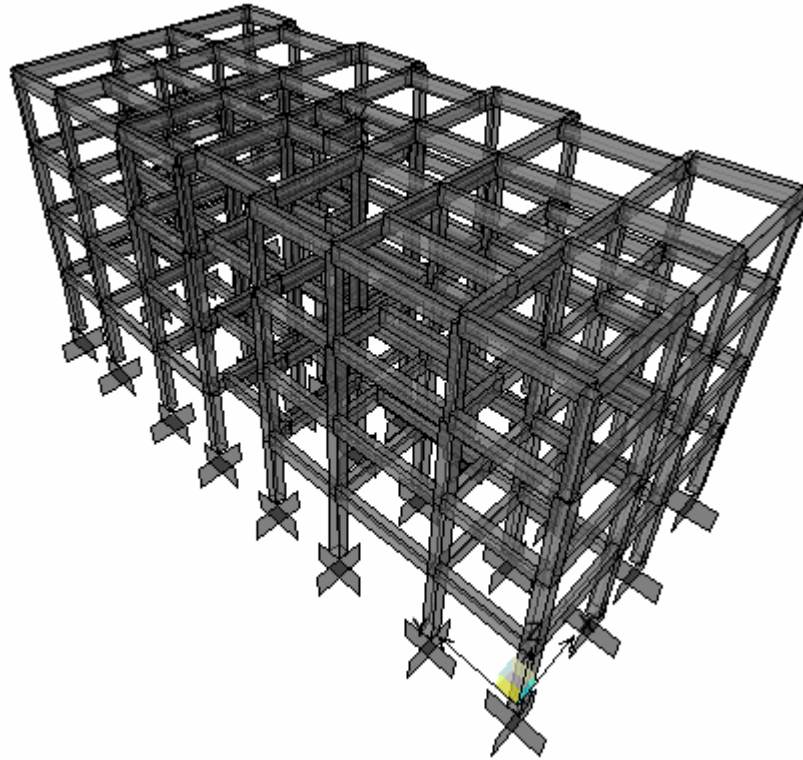
5.2.1.6. Binaların 4 Katlı ve Sıvalı Dolgu Duvarlı ve Çerçevesi Olması Durumu

Çizelge 5.16. Esenkent Toplu Konut Binasında Sıvalı Dolgu Duvarlardan ve Basit Çerçevelerden Oluşan 4 Katlı Sistem İçin Hesaplanan Periyod ve mod Şekilleri

	Uzun Doğrultu	Kısa Doğrultu
Periyot (s)	0.12	0.07

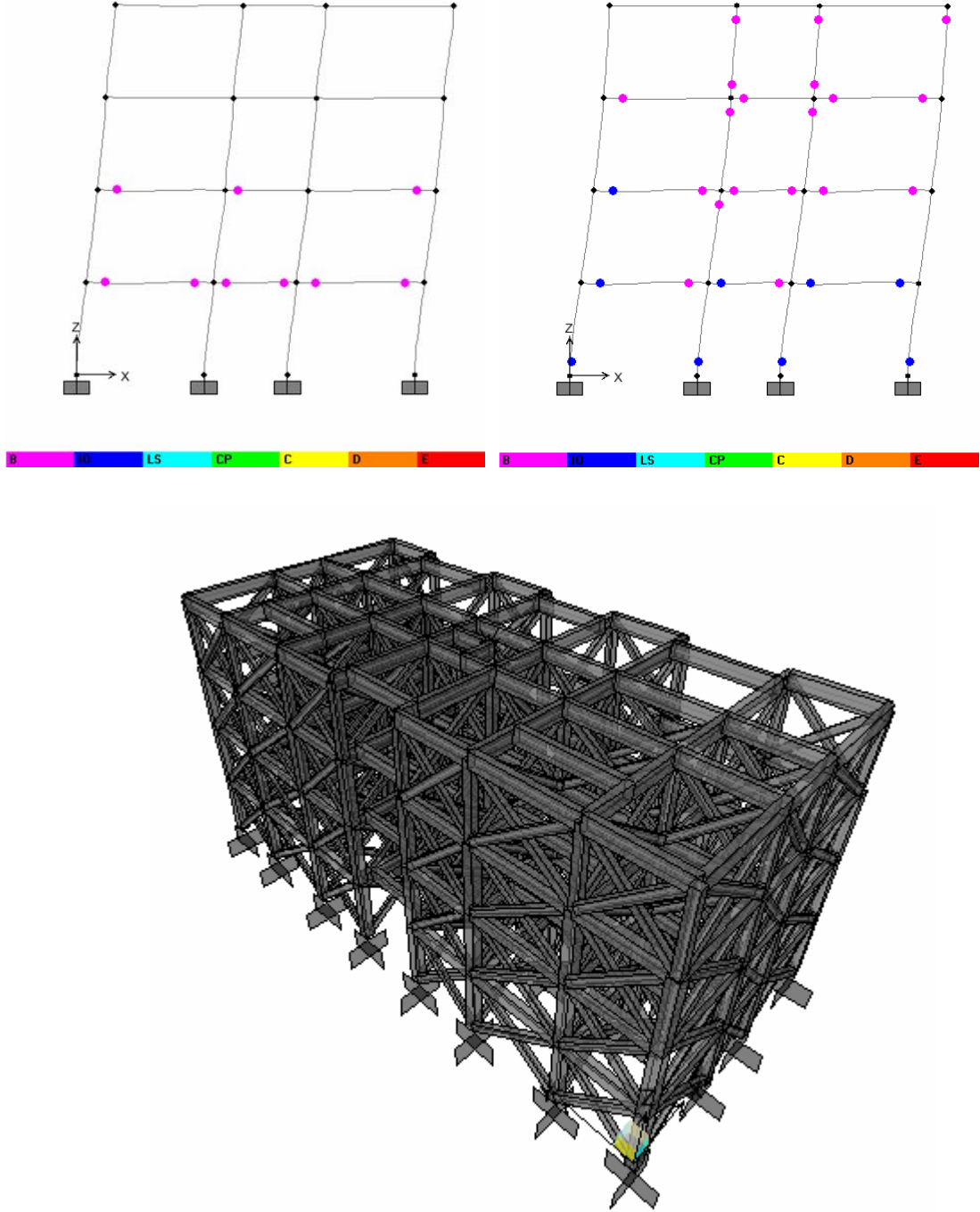
5.2.2. Yapının Kapasitesinin Doğrusal Olmayan Statik İtme Çözümlemesi İle Belirlenmesi

Hesaplarda plastik şekil değiştirmelerin plastik kesit adı verilen belirli bölgelerde toplandığı, bunun dışındaki bölgelerde malzeme davranışının lineer-elastik olduğu kabul edilmiştir. Plastikleşmenin kirişlerde basit eğilme ile, kolonlarda ise iki eksenli eğilme momenti ve normal kuvvetin etkileşimi ile oluştuğu kabul edilmiştir.



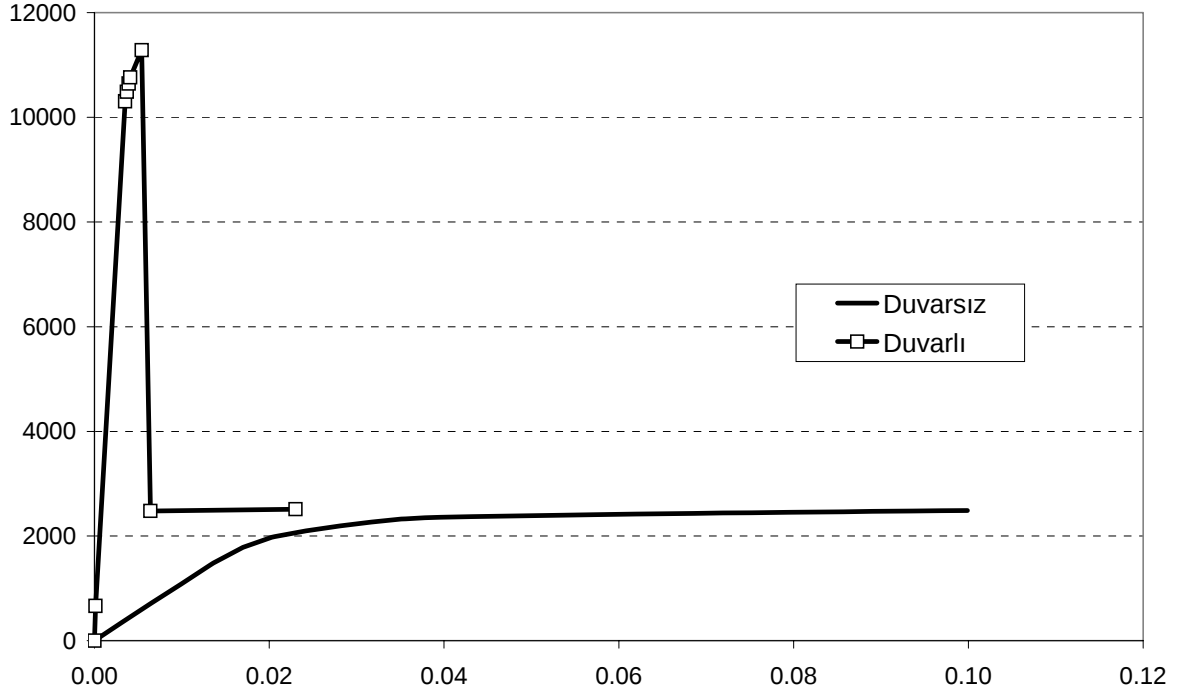
Şekil 5.8. Binaların 4 katlı yalın çerçeve haldeki 3 Boyutlu Görünümü

4 katlı duvarların hesap modeline taşıyıcı eleman olarak katıldığı sistemde iki farklı yük seviyesi için plastik mafsalların dağılımı aşağıdaki resimde gösterilmiştir.



Şekil 5.9. Binaların 4 katlı dolgu duvarlı ve çerçeve haldeki 3 Boyutlu Görünümü

Yapılan hesaplardan da görüleceği gibi dolgu duvarlı yapıda taban kesme kuvveti veya yük taşıma kapasitesi yalın haldeki sisteme göre 4.5-5 katı kadardır. Ancak sistemde dolgu duvarlar kısa bir yer değiştirmeden sonra kalıcı deformasyona uğrayarak sistemden ayrılmakta ve sistem yalın çerçeve seviyesine inmektedir (Şekil 5.10).



Şekil 5.10. 4 Katlı Yapı için Taban kesme kuvveti- Tepe Yer değiştirmesi Diyagramı

BÖLÜM VI

6. SONUÇLAR

Yapılan bu tez çalışmasında dolgu duvarların betonarme yapılar içindeki etkinliği ve modellenmesi üzerine durulmuştur. Dolgu duvarlar iki ucu mafsallı diyagonallerle modellenmiş, sisteme rijitliği dolgu duvarın cinsine, boşluk oranına, yüksekliğine bağlı olarak belirlenen çeşitli parametrelerle ifade edilmiştir. Sonlu elemanlar yöntemiyle modellenen yapının tüm elemanları çubuk sistem olarak tariflenmiştir. Hesaplarda yapının yalnızca zati ağırlığı dikkate alınmış ve bina, çıplak çerçeve, sıvasız dolgu duvarlı ve sıvalı dolgu duvarlı olarak modellenmiş ve hesaplanmıştır. Yerinde yapılan serbest titreşim ölçümleri ile mekanik model sonucu elde edilen periyot değerleri ve modlar karşılaştırılmıştır. Diğer yandan yapının doğrusal olmayan statik itme çözümlemesi sonucunda, dolgu duvarlı halde yük taşıma kapasitesi belirlenmiştir.

Yapılan hesaplar sonucunda; 12 katlı olarak ele alınan binalarda aşağıda verilen çizelgeden görüleceği gibi çıplak çerçeve halde mekanik model sonucu belirlenen periyot değerleri hemen hemen ölçülen değerlere yakındır. Ancak özellikle sıvalı halde bulunan değerler ölçülen değerlere göre % 22 oranında farklılık göstermiştir.

Buna rağmen dolgu duvarlı yapı periyotları yalın çerçeveli sistem periyotlarına göre % 70 oranında değişiklikler göstermiştir. Burada belirlenen değerler Bölüm 1 ve Bölüm 2' de verilen diğer çalışmalara uygun çıkmıştır (Çizelge 6.1). Ancak burada göze çarpan en önemli özellik sıvalı dolgu duvarların periyotlarında saptanan düşüştür. Çizelgeden de görüleceği gibi yalın çerçeveli halde bulunan periyot değeri uzun doğrultu için 0.93 s. iken, bu değer sıvasız dolgu duvarda 0.93 s. olmakta, sıvalı dolgu duvarda ise 0.60 s.' ye kadar düşmektedir.

Çizelge 6.1. 12 Katlı ve 4 Katlı yapılara ait belirlenen periyot değerleri

Kat Sayısı	Belirlenen Durum	Uzun Doğrultu		Kısa Doğrultu	
		Ölçülen	Hesap	Ölçülen	Hesap
12 Katlı	Çıplak Çerçevesi Durum	1.02	1.04	0.68	0.62
	Sıvasız Dolgu Duvarlı Durum	0.93	0.92	0.64	0.59
	Sıvalı Dolgu Duvarlı Durum	0.60	0.73	0.51	0.46
4 Katlı	Çıplak Çerçevesi Durum	-	0.15	-	0.10
	Sıvasız Dolgu Duvarlı Durum	-	0.14	-	0.10
	Sıvalı Dolgu Duvarlı Durum	-	0.12	-	0.07

Diğer yandan dolgu duvarlı yapıda taban kesme kuvveti veya yük taşıma kapasitesi yalın haldeki sisteme göre 4.5-5 katı kadardır. Bulunan bu değer literatürde bulunan değerlere göre biraz fazladır. Ancak literatürde bulunan değerler incelendiğinde, belirli bir yaklaşım sağlanamadığı görülmektedir. Başka bir deyişle literatürdeki dolgu duvarlı sistemlerin çıplak çerçevesi sistemlere nazaran yük taşıma kapasitesinde belirli bir standart veya yaklaşımın olmadığı görülmektedir. Bunun en büyük nedeni ele alınan dolgu duvarların taşıma kapasitesi, boşluk oranları, yükseklikleri ve işçilik kalitesidir.

Yapılan çalışmalar sonucunda dolgu duvarların sisteme büyük oranda dayanım ve rijitlik verdiği belirlenmiştir. Hatta dolgu duvarlar literatürde de belirlendiği gibi büyük oranda enerji sönümlenmekte, kalıcı deformasyonlar sonucu dolgu duvarların etkinliğinin kaybolması sonucunda da sistemin yük taşıma kapasitesi çıplak çerçevenin yük taşıma kapasitesine gelmektedir. Buradan hareketle, bir deprem durumunda iyi yapılmış dolgu duvarların depremin başlangıcında büyük bir mukabele gösterdiği, dolgu duvarların çatlayarak sistem dışında kaldığında çerçevelerin etkin hale geldiğini söylemek mümkündür. Ayrıca az katlı yapılarda periyotun düşük olması nedeni ile dolgu duvarların etkinliği çok fazla hissedilmemektedir.

Ancak yapılan çalışmalar kısıtlı çalışmalardır. Ele alınan sistemler daha ayrıntılı ve geneli ifade edecek sayıda sistem olmalıdır. Buna rağmen yapılan çalışma ön fikir vermesi açısından ve seçilen yapıların gerçekte uygulama alanı bulan yapılar olması açısından oldukça önemlidir.

Esenkent Toplu Konut Binası'nda ayrıca mühendislik alanında sıkça kullanılan STA 4 programıyla gerçekleştirilen çözümlemelerde elde edilen periyod değerleri Çizelge 6.2' de verilmektedir.

Çizelge 6.2. Esenkent Toplu konut Binası'nda STA 4 Programıyla Yapılan Çözümlemelerde Elde Edilen Periyod Değerleri

	Uzun Doğrultu	Kısa Doğrultu
Duvarlı	Hesaplanan	Hesaplanan
Periyod(sn)	1.33	0.68

KAYNAKLAR

Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (1998), Bayındırlık ve İskan Bakanlığı

Altın, S., Ersoy, U., Tankut, T., (1992), “Hysteretic Response of Reinforced Concrete Infilled Frames”, Journal of Structural Engineering, vol. 118, no. 8, p. 2133-2150

ATC-40, (1996), Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings, Applied Technology Council.

Aydoğdu, İ., (1995), “Dolgu Duvarlı Çerçevelerin Davranışı”, Yüksek Lisans Tezi, Y.T.Ü

Aytun, A., (1972), “Yapıların Doğal Titreşim Periyotlarının Deneysel Yolla Ölçümü”, Türkiye’ de Deprem ve Deprem Mühendisliği Sempozyumu, Ankara.

Bayülke, N., (1998), “Yapı Periyodu Nedir”, İnşaat Mühendisleri Odası, Ankara Şubesi Aralık 1998 Bülteni, S. 12-15

Bayülke, N., (2001), “Depreme Dayanıklı Betonarme ve Yığma Yapı Tasarımı”, İnşaat Mühendisleri Odası, İzmir Şubesi, İzmir.

Bozdoğanlı, A. T. , (1998), “Deprem Yükleri Altında Yığma Duvarların Dayanımı ve Takviyesi”, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü

Celep, Z., Kumbasar, N., (2000), “Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı”, İstanbul.

Dowrick, D., J., (1987), “Earthquake Resistant design”, Mc graw Hill. England

Erkaya, T. A., (1996), “Betonarme Çerçeve Yapılarda Dolgu Duvarların Deprem Davranışına Etkisi” Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü

Ersin, U.D., (1997), “Küçük Titreşim Ölçümleri ve Dolgu Duvarların Mekanik Modele Yansıtılması”, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü

Ersin, U.D., Yüksel, E., Koçak, A., Hayashi, M., Karadoğan , F., (1998), “System Identification by Means of Micro Tremor Measurements”, Second Japan –Turkey Workshop on Earthquake Engineering, İstanbul.

Ersoy, U., Tankut, T., (1992), “Hysteretic Response of Reinforced Concrete Infilled Frames”, ASCE Journal of Structural Engineering, vol. 118, no. 8.

Chopra, A.K., (1995), Dynamic of Structures – Theory and Applications to Earthquake Engineering, Prentice-Hall,Inc., Englewood Cliffs, New Jersey.

FEMA-356, (2000) Prestandard and Commentary for The Seismic Rehabilitation of Buildings, Federal Emergency Management Agency, Washington.

Focardi, F., Manzini, E., (1986), "Cyclic and Monotonic Diagonal Tension Tests on Various Shape Reinforced and Non-Reinforced Brick Walls", 8th European Conference on Earthquake Engineering, Lisbon.

Genç, Ş., (1984), "Duvarlar İçin Düşey Delikli Hafif Tür Tuğla Kagir Özellikleri", Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü

Govindan, P., Santhakumar, A., R., (1986), "Ductility of Infilled Frames", ACI Journal, p. 567-576

Hancıoğlu, B. (2004), Betonarme Yapıların Güçlendirilmesinde Performans Yaklaşımı, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Holmes, M, (1961), "Steel Frames with Brickwork and Concrete Infilling", Institution of Civil Engineers (ICE), vol. 19

Holmes, M., (1963), "Combined Loading on Infilled Frames", ICE, vol. 25.

İpek, M., (1996), "Çerçeve Binaların Titreşim Özellikleri ve Kagir Dolgu Duvarların Tesiri" Doktora Tezi, İ.T.Ü

Kabul, C., (1997), 'Türkiye Deprem Yönetmeliğinin, ABD, Kaliforniya ve Japonya Deprem Yönetmelikleri İle Deprem Yatay Yük Hesabı Yöntemleri Açısından Karşılaştırılması' Yüksek Lisans Tezi, Y.T.Ü

Kaplan, N., (1983), "A Finite Element Study of Frames with Partial Infilled Walls", Lisans Üstü Tezi, ODTÜ, Ankara.

Karadoğan, F., Ersin, U., D., Darılmaz, K., Yüksel, E., Eröz, A., Saruhan, H., (1997), "Depremde Hasar Görmüş Yapıların Serbest Titreşim Özellikleri", Prof. Dr. A. Rıfat YARAR Sempozyumu, İstanbul.

Karadoğan, F., Yüksel, E., (2001), "Bölme duvarlı Betonarme Çerçeveler Üzerinde Gerçekleştirilen Bazı Deneysel Çalışmalar." İnşaat Mühendisleri Odası, İstanbul Şubesi, Eylül-Ekim 2001 Bülteni S. 12-22

Kırçıl, M.S., (2002), Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımında Yeni Yaklaşımlar, TMMOB İnşaat Müh. Odası İstanbul Şubesi Bülteni, Sayı 60/61/62.

Koç, S., (1996), "Eşdeğer Statik, Modların Süperpozisyonu, Zaman Artımı Yöntemleri ve Düzensiz Yapılarda SAP90 Uygulamaları", Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü

Koçak, A., (1998), "Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı Ders Notları", YTÜ, Basılmadı.

Koçak, A., (2000), "Betonarme Binalarda Taşıyıcı Sistem Tasarımı ve Mevcut Yapılar", Avcılar' da Deprem ve Sonrası Sempozyum/Panel, Avcılar Belediyesi, İstanbul

Liauw, T.C., (1973), "The Composite Characteristics of Infilled Frames", International Journal Mechanic Science, Vol. 15, p. 517-533

Liauw, T.C., (1979), "Tests on Multistory Infilled Frames Subjected to Dynamic Lateral Loading", ACI Journal, p. 551-563

Mainstone, R.J., (1974), "Supplementary Note on the Stiffnesses and Strengths of Infilled Frames", Building Research station, UK.

Mallick, D.V., (1980), "Infilled Construction in Seismic Region", Proceedings of 7th World Conference on Earthquake Engineering, İstanbul.

Mehrabi, A., Shing, P., and others, (1996), "Experimental Evaluation of Masonry-Infilled RC Frames", Journal of Structural Engineering, p. 228

Negro, P., Verzeletti, G., (1996), "Effect of Infills on the Global Behavior of R/C Frames: Energy Considerations from Pseudodynamic Tests", Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 25, p. 753-773

Öktem, E., (1986), "Yabancı Deprem Yönetmeliklerinin Türk Deprem Yönetmelikleri ile Karşılaştırılması", Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü

Pauley, T., Priestley, N., (1992), "Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings", Wiley International Public, p.584-592.

Polat, Z., Kırçıl, M.S., Hancıoğlu, B., (2004), Mevcut Betonarme Binaların Deprem Güvenliklerinin Belirlenmesinde Performans Yaklaşımı, TMMOB İnşaat Müh. Odası İstanbul Şubesi Seminer Notları.

Rosenblueth, E., (1980), "Design of Earthquake Resistant Structures", John Wiley and Sons.

Smith, S., Carter, C., (1969), "A Method of Analysis for Infilled Frames", Institution of Civil Engineering, Vol. 44

Yalçın, E. (1999), "Dolgu Duvarların ve Konumlarının Çok Katlı Betonarme Yapıların Deprem Kuvvetleri Altındaki Davranışına Etkileri", Yüksek lisans Tezi, İ.T.Ü

Yılmaz, İ. H. , (1986), "Dünya Deprem Yönetmelikleri Üzerine Bir İnceleme", Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü

Yorulmaz, M., Atan, Y.T., (1971), "Çeşitli Forme Yapı Taşlarıyla Yapılmış Duvar Numunelerinin İki İstikametli Yükleme Altında Davranışları", İTÜ, İstanbul.

Yüksel, E., İlki, A., Koyama, S., Karadoğan, F., (1995), "Küçük Titreşim Ölçümleri ve Yapıların Olası Deprem Davranışları", 3. Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, İstanbul.

Yüksel, E., (1998), "Bazı Düzensizlikler İçeren Üç boyutlu Büyük Yapı Sistemlerinin Doğrusal Olmayan Çözümlemesi" Doktora Tezi, İ.T.Ü

Zarnic, R., (1995), "Modelling of Masonry Infilled Frames", 10th European Conference on Earthquake Engineering, Duma

Zarnic, R., Tomazevic, M., Velehousky, (1986), "Experimental Study of Methods for Repair and Strengthening of Masonry Infilled Reinforced Concrete Frames", 8th European Conference on Earthquake Engineering, Lisbon.

Zarnic, R., Tomazevic, M., (1988), "An Experimentally Obtained Method for Evaluation of the Behavior of Masonry Infilled RC Frames", Proceedings of 9th World Conference on Earthquake Engineering, vol. VI, p.163-168

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 14.12.1978

Doğum yeri Erzurum

Lise 1992-1996 Erzurum Atatürk Süper Lisesi

Lisans 1998-2002 Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fak.
İnşaat Mühendisliği Bölümü

Çalıştığı kurum(lar)

2002-Devam ediyor Kağıthane Belediyesi