

T.C.
GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK ve FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

PERDELİ TAŞIYICI SİSTEMLERİN
ARTİMSAL İTME YÖNTEMİ İLE DEPREM
PERFORMANSININ
DEĞERLENDİRİLMESİ

KÜRŞAT BAŞAK
YÜKSEK LİSANS TEZİ
DEPREM VE YAPI MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİMDALI

GEBZE

2013

T.C.
GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK ve FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

PERDELİ TAŞIYICI SİSTEMLERİN
ARTİMSAL İTME YÖNTEMİ İLE DEPREM
PERFORMANSININ
DEĞERLENDİRİLMESİ

KÜRŞAT BAŞAK
YÜKSEK LİSANS TEZİ
DEPREM VE YAPI MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİMDALI

DANIŞMAN
DOÇ. DR. YASİN FAHJAN

GEBZE

2013



**GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ
ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS JÜRİ ONAY FORMU

GYTE Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 13.06.2013 tarih ve 2013/31 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 12/07/2013 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Kürşat BAŞAK'ın tez çalışması Deprem ve Yapı Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI)

: Doç. Dr. Yasin FAHJAN

ÜYE

: Doç. Dr. Eren UÇKAN

ÜYE

: Doç. Dr. Şevket ÖZDEN

ONAY

GYTE Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun tarih ve/..... sayılı kararı.

İMZA/MÜHÜR

ÖZET

Perde duvarların doğru modellenmesi, özellikle bina türü yapıların doğrusal ve doğrusal olmayan analizlerinde büyük önem taşımaktadır. Doğrusal analizlerde, betonarme perde duvarlar, kabuk elemanlarla veya çubuk elemanların birleşimleri kullanılarak modellenir. Doğrusal olmayan analizlerde ise, perde duvarı temsil eden orta dikme çubuğunun doğrusal olmayan malzeme modeli, genellikle plastik mafsallık kavramı esas alınarak, kritik kesitteki plastik alana yerleştirilir ya da hesap açıklığı boyunca dağıtılır. Kabuk elemanların doğrusal olmayan davranışları modellenirken genellikle katmanlanmış malzeme modeliyle çok katmanlı kabuk elemanları kullanılır. Bu yaklaşımda, beton ve donatılar, yapı elemanlarının içinde farklı katmanlarla modellenir. Bu çalışmada, bina türü yapıların yapısal analizlerinde başlıklı perdelerin doğrusal ve doğrusal olmayan modelleri üzerinde çalışılmıştır. Çubuk ve kabuk elemanlar için bahsedilen farklı modelleme yaklaşımlarının sonucunda elde edilen analiz sonuçları, yapı sistemlerinin genel davranışı açısından karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Betonarme perde duvar, doğrusal olmayan analiz, çok katmanlı kabuk, plastik mafsallık.

SUMMARY

Proper modeling of shearwalls is very important for both linear and nonlinear analyses of building structures. Regarding linear analyses, Reinforced concrete (RC) shearwalls are modeled employing various techniques like using shell elements or a combination of frame elements. For nonlinear analyses, the nonlinear material model of mid-pier frame element is generally based on plastic hinge concept located at plastic zones towards the ends of structural elements or distributed along the member span length. The nonlinear behavior of shells is generally modeled using multi-layer shell element with layered material model. In this approach, the concrete and the reinforcement contained in the structural elements are modeled using different layers respectively. In this study, different approaches for linear and nonlinear shear wall modeling are studied and applied to a RC building case with shear walls. The analysis results are compared in terms of overall behavior of the structural systems.

Keywords: Reinforced concrete shearwall, nonlinear analysis, multi layer shell, plastic hinge.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma hazırlanırken; bana gösterdiği sınırsız sabır ve tahammülden, yakınlık ve ilgiden dolayı çok değerli tez danışman hocam Doç. Dr. Yasin Fahjan’a, verdikleri katkılardan dolayı Doç. Dr. Eren UÇKAN ve Doç. Dr. Şevket ÖZDEN'e, GYTE'deki öğrenim hayatım boyunca göstermiş oldukları yakın ilgiden dolayı Prof. Dr. Bilge SİYAHİ ve Doç. Dr. Bülent AKBAŞ hocalarıma teşekkürlerimi sunuyorum.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
SUMMARY	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
TABLOLAR DİZİNİ	xiv
1. GİRİŞ	1
1.1 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	3
2. PERDELERİN TANIMI VE MODELLENMESİ	4
2.1 Perde Tanımı	4
2.2 Perde Modellemesi İçin Başlıca Kriterler	5
2.2.1 Dayanım	5
2.2.2 Rijitlik	6
2.2.3 Süneklik	7
2.3 Perde - Çerçeve Sistemler	7
3. PERDE DUVARLAR İÇİN DOĞRUSAL MODELLER	10
3.1 Orta-Dikme Çubuk Modeli	10
3.2 Sonlu Elemanlar Kabuk Modeli	11
4. PERDE DUVARLAR İÇİN DOĞRUSAL OLMAYAN MODELLER	13
4.1 Sürekli Sonlu Eleman Modeli	13
4.2 Çok Katmanlı Kabuk Elemanı	14
4.3 Plastik Mafsallı (P-M-M Etkileşimli) Orta-Dikme Çubuk Modeli	15
4.3.1 Plastik Mafsal Hipotezi	15
4.3.2 PMM Etkileşimli Orta Dikme Çubuk Modeli	18
5. YAPI SİSTEMLERİNİN KAPASİTESİNİ BELİRLEMEDE DOĞRUSAL OLMAYAN STATİK ARTIMSAL İTME (PUSHOVER) ANALİZİ YÖNTEMİ	20
5.1 Tek Modlu Doğrusal Olmayan Analiz	22
5.1.1 Kapasite Spektrumu Yöntemi ile Performans Noktasının Belirlenmesi	23

5.1.2 Yerdeğiştirme Katsayıları Yöntemi ile Performans	
Noktasının Belirlenmesi	24
5.2 Çok Modlu Doğrusal Olmayan İtme Analizi	26
5.3 DBYBHY'e Göre Doğrusal Olmayan Spektral Yerdeğiştirmenin	
Belirlenmesi	26
6. SAYISAL ÖRNEK	31
6.1 Geometri ve Malzeme Bilgisi	31
6.2 Perdelerin Modellenmesi	35
6.3 Modellere Doğrusal Olmayan Statik İtme Analizi Yöntemi Uygulanması	51
6.3.1 İtme Eğrileri	52
6.3.2 Kapasite ve Talep Eğrileri	54
6.3.3 Göreli Kat Öteleme Diyagramları	60
6.3.4 Perde Modellerinde Oluşan Mafsalların Dağılımı	62
7. TARTIşMALAR VE SONUÇLAR	71
KAYNAKLAR	72
ÖZGEÇMİş	74

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler ve</u>	<u>Açıklamalar</u>
<u>Kisaltmalar</u>	
db	: Donatı çapını
d_i	: Binanın i'inci katındaki kolon veya perdenin yatay yerdeğiştirmesi
d_{i-1}	: Binanın i-1'inci katındaki kolon veya perdenin yatay yerdeğiştirmesi
	: Modal yerdeğiştirme istemi
C_0, C_1, C_2	: Taşıyıcı sistemin karakteristiğıne bağılı olarak belirlenen katsayılar
C_{R1}	: Spektral yer değıştirme oranı
f_y	: Tipik donatının karakteristik akma dayanımını
g	: Yerçekimi ivmesini
I	: Bina önem katsayısı
K_e	: Yapının elastik efektif rijitliğı
K_i	: Yapının elastik yanal rijitliğı
L_p	: Plastik mafsall boyu
M	: Eğilme momenti
M_p	: Plastik moment
R_{y1}	: Birinci moda ait dayanım azaltma katsayısı
PF_1	: Birinci doğal moda ait modal kütle katsayısı
S_a	: Spektral ivme
S_{ae1}	: İtme analizinin ilk adımında birinci moda ait elastik spektral ivme
S_d	: Spektral yer değıştirme
S_{de1}	: Doğrusal elastik spektral yer değıştirme
S_{di1}	: Doğrusal olmayan spektral yer değıştirme
SR_A	: Spektrumun sabit ivme bölgesindeki spektral indirgeme katsayısı
SR_V	: Spektrumun sabit hız bölgesindeki spektral indirgeme katsayısı
T_B	: Standart ivme spektrumundaki karakteristik periyot
T_e	: Etkin doğal periyot

T_i	: Hesap yapılan doğrultuda yapının elastik dinamik analizi ile bulunan birinci doğal periyodu
$T^{(1)}$	: Başlangıç periyodu
V_T	: İtme analizin her bir adımındaki taban kesme kuvveti
W	: Toplam yapı ağırlığı
β_{eff}	: Efektif viskoz sönüm
δ_{max}	: İtme analizin her bir adımındaki tepe deplasmanı
δ_t	: Hedef yer değiştirme
ϵ_{co}	: Maksimum basınç gerilmesi altında sargısız beton basınç birim şekil değiştirmesi
$\varphi_{tepe,l}$	: Birinci moda ait en üst kattaki genlik
$\omega_1^{(1)}$	: Doğal açısal frekans
χ	: Eğrilik
Δ_i	: İki kat arasındaki eğilme farkı

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil No:</u>	<u>Sayfa</u>
2.1: Çerçeve - Perde Etkileşimi	8
3.1: Perde İçin Orta-Dikme Çubuk Modeli	11
3.2: Plak Ve Membran Kabuk Elemanlar İçin Serbestlik Dereceleri	12
3.3: Perde İçin Kabuk Eleman Modeli	12
4.1: Çok Katmanlı Kabuk Eleman	14
4.2: Eğilme Momenti – Eğrilik Diyagramı	16
4.3: İdealleştirilmiş Bünye Bağıntısı	17
4.4: Plastik (P-M-M Etkileşimi) Mafsal	19
5.1: Doğrusal Olmayan Statik Analizden Elde Edilen Tipik Performans Eğrisi	21
5.2: Kapasite Spektrumu Yöntemi İle Performans Noktasının Belirlenmesi	24
5.3: İki Doğru Parçası İle Kapasite Eğrisinin İdealleştirilmesi	25
5.4: $T_1 \geq T_b$ Olması Durumunda Doğrusal Olmayan Spektral Yerdeğiştirmenin Belirlenmesi	29
5.5: $T_1 < T_b$ Olması Durumunda Doğrusal Olmayan Yer Değiştirmenin Belirlenmesi	30
6.1: Tasarım İvme Spektrumu (1. Derece Deprem Bölgesi, Z2 Sınıfı Zemin	33
6.2: Başlıklı Perde Ve Kolon Elemanlarında Donatı Dağılımının Örneği	33
6.3: Örnek Binanın Kat Planı	34
6.4: Örnek Bina İçin Doğrusal Olmayan Malzeme -Beton- Modeli	35
6.5: Örnek Bina İçin Doğrusal Olmayan Malzeme – Donatı Çeliği Modeli	36
6.6: FEMA 356 Modeli 3 Katlı Örnek Binanın 3 Boyutlu Fiziksel Modeli	37
6.7: FEMA 356 Modeli 3 Katlı Örnek Binanın 3 Boyutlu Analitik Modeli	37
6.8: FEMA 356 Modeli 5 Katlı Örnek Binanın 3 Boyutlu Fiziksel Modeli	38
6.9: FEMA 356 Modeli 5 Katlı Örnek Binanın 3 Boyutlu Analitik Modeli	39
6.1: FEMA 356 Modeli 7 Katlı Örnek Binanın 3 Boyutlu Fiziksel Modeli	40
6.11: FEMA 356 Modeli 7 Katlı Örnek Binanın 3 Boyutlu Analitik Modeli	41
6.12: Fiber Modeli 3 Katlı Örnek Binanın 3 Boyutlu Fiziksel Modeli	42
6.13: Fiber Modeli 3 Katlı Örnek Binanın 3 Boyutlu Analitik Modeli	42
6.14: Fiber Modeli 5 Katlı Örnek Binanın 3 Boyutlu Fiziksel Modeli	43

6.15: Fiber Modeli 5 Katlı Örnek Binanın 3 Boyutlu Analitik Modeli	44
6.16: Fiber Modeli 7 Katlı Örnek Binanın 3 Boyutlu Fiziksel Modeli	45
6.17: Fiber Modeli 7 Katlı Örnek Binanın 3 Boyutlu Analitik Modeli	46
6.18: Çok Katmanlı Modeli 3 Katlı Örnek Binanın 3 Boyutlu Fiziksel Modeli	47
6.19: Çok Katmanlı Modeli 3 Katlı Örnek Binanın 3 Boyutlu Analitik Modeli.	47
6.20: Çok Katmanlı Modeli 5 Katlı Örnek Binanın 3 Boyutlu Fiziksel Modeli	48
6.21: Çok Katmanlı Modeli 5 Katlı Örnek Binanın 3 Boyutlu Analitik Modeli	49
6.22: Çok Katmanlı Modeli 7 Katlı Örnek Binanın 3 Boyutlu Fiziksel Modeli	50
6.23: Çok Katmanlı Modeli 7 Katlı Örnek Binanın 3 Boyutlu Analitik Modeli	51
6.24: Farklı Başlıklı Perde Modelleri Kullanan 3 Katlı Betonarme Binalar İçin İtme Eğrileri	53
6.25: Farklı Başlıklı Perde Modelleri Kullanan 5 Katlı Betonarme Binalar İçin İtme Eğrileri	53
6.26: Farklı Başlıklı Perde Modelleri Kullanan 7 Katlı Betonarme Binalar İçin İtme Eğrileri	54
6.27: FEMA 356 Modeli 3 Katlı Bina İçin Kapasite Ve Talep Eğrileri	55
6.28: FEMA 356 Modeli 5 Katlı Bina İçin Kapasite Ve Talep Eğrileri	55
6.29: FEMA 356 Modeli 7 Katlı Bina İçin Kapasite Ve Talep Eğrileri	56
6.30: Fiber Modeli 3 Katlı Bina İçin Kapasite Ve Talep Eğrileri	56
6.31: Fiber Modeli 5 Katlı Bina İçin Kapasite Ve Talep Eğrileri	57
6.32: Fiber Modeli 7 Katlı Bina İçin Kapasite Ve Talep Eğrileri	57
6.33: Çok Katmanlı Modeli 3 Katlı Bina İçin Kapasite Ve Talep Eğrileri	58
6.34: Çok Katmanlı Modeli 5 Katlı Bina İçin Kapasite Ve Talep Eğrileri	59
6.35: Çok Katmanlı Modeli 7 Katlı Bina İçin Kapasite Ve Talep Eğrileri	59
6.36: Farklı Başlıklı Perde Duvar Modelleri Kullanan 3 Katlı Betonarme Binalar İçin Karşılıklı Kat Eğilim Oranları	61
6.37: Farklı Başlıklı Perde Duvar Modelleri Kullanan 5 Katlı Betonarme Binalar İçin Karşılıklı Kat Eğilim Oranları	61
6.38: Farklı Başlıklı Perde Duvar Modelleri Kullanan 7 Katlı Betonarme Binalar İçin Karşılıklı Kat Eğilim Oranları	62
6.39: Başlıklı Perdeli Ve 3 Katlı Bina İçin Orta-Dikme Çerçeve FEMA 356 Modelleri İçin Performans Noktasındaki Plastik Mafsal Durumu	63
6.40: Başlıklı Perdeli Ve 3 Katlı Bina İçin Orta-Dikme Çerçeve	

Fiber Modelleri İçin Performans Noktasındaki Plastik Mafsal Durumu	63
6.41: Başlıklı Perdeli Ve 3 Katlı Bina İçin Çok Katmanlı Modelleri İçin Performans Noktasındaki Plastik Mafsal Durumu	64
6.42: Başlıklı Perdeli Ve 5 Katlı Bina İçin Orta-Dikme Çerçeve FEMA 356 Modelleri İçin Performans Noktasındaki Plastik Mafsal Durumu	65
6.43: Başlıklı Perdeli Ve 5 Katlı Bina İçin Orta-Dikme Çerçeve Fiber Modelleri İçin Performans Noktasındaki Plastik Mafsal Durumu	66
6.44: Başlıklı Perdeli Ve 5 Katlı Bina İçin Çok Katmanlı Modelleri İçin Performans Noktasındaki Plastik Mafsal Durumu	67
6.45: Başlıklı Perdeli Ve 7 Katlı Bina İçin Orta-Dikme Çerçeve FEMA 356 Modelleri İçin Performans Noktasındaki Plastik Mafsal Durumu	68
6.46: Başlıklı Perdeli Ve 7 Katlı Bina İçin Orta-Dikme Çerçeve Fiber Modelleri İçin Performans Noktasındaki Plastik Mafsal Durumu	69
6.47: Başlıklı Perdeli Ve 7 Katlı Bina İçin Çok Katmanlı Modelleri İçin Performans Noktasındaki Plastik Mafsal Durumu	70

TABLÖLAR DİZİNİ

<u>Tablo No:</u>	<u>Sayfa</u>
6.1: Örnek Binanın Eleman Boyutları	32
6.2: Örnek Bina Elemanlarında Bulunan Donatı	32
6.3: Tüm Modeller İçin Hesaplanan Performans Noktası Değerleri	60

1. GİRİŞ

Yönetmeliklerde yer alan ve yapıların yatay yükler altındaki analizleri için kullanılmakta olan yöntemler, genel olarak yapıların deprem etkileri altında doğrusal-elastik davranış göstereceği esasına dayanmaktadır. Deprem etkilerine göre yapı sistemlerinin analizinde, malzemenin doğrusal-elastik sınır ötesindeki davranışını dikkate almak üzere, taşıyıcı sistem davranış katsayısı tanımlanmakta ve elastik deprem yükleri bu katsayıya bağlı olarak bir deprem yükü azaltma katsayısı ile küçültülmektedir. Dolayısıyla doğrusal-elastik analiz yöntemlerinde yapının davranışı hesaplanan katsayıya bağlı kılınmaktadır. Gerçekte ise, deprem etkileri, yapıların büyük miktarda enerji sönmülediği elastik ötesi davranışa neden olmakta ve bunun sonucu doğrusal-elastik analiz yöntemleri ile tasarlanan yapılarda ağır hasara neden olmaktadır. “Doğrusal-elastik davranış” kabulü, analizleri önemli miktarda kolaylaştırmasına ve yapının elastik kapasitesini iyi bir şekilde belirlemesine karşı, yapının göçme mekanizmasının belirlenmesi ve elastik ötesi kapasitesinin devreye sokulması konusunda yetersiz kalmaktadır. Ayrıca doğrusal-elastik analiz yöntemleri ile yapı sisteminin deprem etkileri altında gerçek performansının anlaşılması mümkün olmamaktadır.

Son yıllarda meydana gelen depremlerde (1989 Loma Prieta, 1994 Northridge depremleri) oluşan hasarın ve ekonomik kayıpların çok büyük miktarda olması, depreme dayanıklı yapı tasarımında hasar kontrolünün, dolayısıyla performansa dayalı tasarım ve değerlendirmenin önemini ortaya çıkarmıştır. Depremlerden elde edilen deneyimler sonucunda birçok ülkede olduğu gibi ülkemizde de deprem yönetmelikleri değiştirilmektedir. Yeni deprem yönetmeliklerinde yapıların güvenlik seviyeleri yükseltilmektedir. Yapı sistemlerinin deprem etkileri altında performansa dayalı tasarımı ve değerlendirilmesinde, yapının doğrusal olmayan davranışının belirlenmesi gereklidir. Bu amaçla kullanılan yöntemler, doğrusal olmayan statik artımsal itme analizi yöntemleri ve doğrusal olmayan dinamik analiz yöntemleri olmak üzere ikiye ayrılmaktadır.

Doğrusal olmayan dinamik analiz yöntemleri ile yapının doğrusal olmayan davranışı gerçeğe yakın bir şekilde belirlenebilmektedir. Ancak doğrusal olmayan dinamik analiz yöntemlerinin oldukça karmaşık, zaman alıcı olması ve çok fazla sayıda yerel deprem kaydı gerektirmesi, uygulama açısından bu yöntemleri pratik

kılmamaktadır. Bu durumda da doğrusal olmayan statik artımsal itme analizi yöntemleri önem kazanmaktadır.

Statik itme (pushover) analizi olarak bilinen nonlinear (doğrusal elastik olmayan) statik yöntemin kullanılışı 1970'li yıllara dayanmaktadır. Fakat özellikle son 10-15 yılda önem kazanmaya başladığı, bu konuda yapılan yayınların yoğunluğundan anlaşılmaktadır. Yapıların deprem yükleri altındaki doğrusal olmayan davranışlarının belirlenmesi için kullanılan doğrusal olmayan statik artımsal itme analizi yöntemleri, yapının deprem yükleri altındaki dayanımını temsil eden, yatay yük-tepe noktası yerdeğiştirmesi ilişkisinin, malzeme ve geometri değişimleri bakımından doğrusal olmayan teoriye (ikinci mertebe elasto-plastik teori) göre elde edilmesi ve değerlendirilmesi esasına dayanmaktadır. Doğrusal olmayan statik artımsal itme analizinde, yapı deprem yüklerini temsil eden ve kat seviyelerine etki eden yatay yükler ile zorlanmaktadır. Yöntemin uygulanmasında, yatay yükler aralarındaki oran sabit kalacak şekilde arttırılmakta ve belirli bir yerdeğiştirme veya göçme durumuna erişilinceye kadar, yapıya ait yatay yük-tepe noktası yerdeğiştirmesi ilişkisi belirlenmektedir.

Kapasite eğrisi olarak adlandırılan yatay yük-tepe noktası yerdeğiştirmesi ilişkisi sayesinde, elemanlarda veya yapıda oluşabilecek hasar, kısmi veya toptan göçme durumları elde edilebilmekte, yapının zayıf elemanları ve bunların oluşma yerleri, yapının göçme durumuna ait limit yük değeri ve göçme anındaki yerdeğiştirme miktarı, yapı sisteminin ve elemanların deformasyon talepleri belirlenebilmektedir. Ayrıca dikkate alınan deprem etki seviyesi için, yapının deprem etkileri altında kendisinden istenen performans seviyesini sağlayıp sağlamadığı kontrol edilmektedir.

Genel olarak, doğrusal olmayan statik artımsal itme analizi yöntemleri yapının yatay yük-tepe noktası yerdeğiştirmesi ilişkisinin belirlenmesi ve değerlendirilmesi konusunda basit bir yaklaşımdır ve doğrusal-elastik analiz yöntemlerindeki yetersizlikler ile doğrusal olmayan dinamik analiz yöntemlerinin karmaşıklıkları ve uygulamadaki zorlukları arasında bir ara kesit oluşturmaktadır.

Ayrıca, ülkemizde ve dünyada son yıllarda meydana gelen şiddetli depremlerin ardından binalarda yapılan incelemeler neticesinde; perdeli binaların, çerçeve sistemli binalara göre depreme karşı daha dirençli oldukları ve daha az hasar gördükleri tespit edilmiştir. Perdeler, yatay kuvvetler doğrultusundaki rijitlikleri

dikkate alındığında yatay yerdeğiştirme sınırlandırmaları bakımından en uygun yapı elemanı olarak görölmektedir. Perdeler, çerçeve sistemlerle beraber kullanılarak perde-çerçeve karşılıklı etkileşimi neticesinde yapıya kazandırdıkları süneklik ve beraberindeki dayanım sebebiyle uygulamada çoğunlukla tercih edilmektedir.

1.1. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Uygulamada çerçeve yapısal sistemleri (kolon, kiriş) için doğrusal olmayan analiz prosedürleri iyi gelişmiş olmasına rağmen, perdeler için doğrusal olmayan modellerin yapısal mühendislik uygulamalarında benimsenmesi için daha fazla geliştirilmeleri gerekmektedir. Bu çalışmada perdelerin doğrusal olmayan modeli için 3 farklı yaklaşım ile çözüm yapılacaktır. FEMA 356, fiber model ve çok katmanlı kabuk ile modellenecek farklı yükseklikteki binalarda bulunan perdelerin davranışları karşılaştırılacaktır.

Bu çalışmada, başlıklı perde duvarlara sahip betonarme çerçeve sistemli, 3, 5 ve 7 katlı üç adet bina modellenmiştir. Her bir binaya doğrusal olmayan statik artımsal itme analizi uygulanmıştır. Perde duvarlar orta-dikme çubuk elemanları veya kabuk elemanlar ile modellenmiştir. Orta-dikme çubuk modeli için doğrusal olmayan malzeme davranışı plastik mafsallar (P-M-M etkileşimi) kullanılarak modellenmiş; çok katmanlı modelde ise, beton ve kesit içindeki donatılar katmanlı kabuk olarak kabul edilmiştir.

Doğrusal olmayan statik artımsal itme analizinden elde edilen itme eğrisi modal kapasite diyagramına çevrilmiş, buradan da modal yerdeğiştirme talebi bulunmuştur. Daha sonra da ötelenme istemine kadar yeniden itme analizi yapılmıştır. Bu noktadan sonra elde edilen farklı modellerin sonuçları, yapısal sistemlerin genel davranışı açısından karşılaştırılmıştır.

2. PERDELERİN TANIMI VE MODELLENMESİ

Bu bölümde, yapıya gelen yatay yüklerin karşılanmasında önemli bir rolü olan yatay perdeler tanımlanmıştır. Depreme dayanıklı yapılar tasarlamak için gerekli olan dayanım, rijitlik ve süneklik kavramları açıklanmıştır.

2.1. Perde Tanımı

DBYBHY (2007)'de planda uzun kenarının (ℓ_w) kalınlığına (b_w) oranı, en az 7 olan düşey taşıyıcı sistem elemanı perde olarak tanımlanmaktadır.

Çok katlı yapılarda yatay yüklerin karşılanmasında perdeler etkili bir şekilde kullanılırlar. Yüksek yapılara ait taşıyıcı sistemlerde perde duvarların kullanılması, özellikle yüzölçümünün büyük bir kısmı deprem riski altında bulunan ülkemiz için bir zorunluluk olarak gözükmemektedir.

Perdeler, şiddetli depremler altında çok katlı binalarda önemli hasarlara neden olan görelî kat ötelemelerini önemli ölçüde azaltırlar. Uzun kenar doğrultusundaki atalet momentleri çok daha büyük olduğundan, yatay yükleri uzun kenar doğrultusunda etkin olarak taşırlar.

Perdeler, çerçevelerle beraber veya bağ kirişleriyle birleşen perde grupları halinde de kullanılabilirler. Çerçeve ile beraber olduğu durumda perdelerin rijitlikleri fazla olduğu için, deprem veya rüzgârdan oluşan yatay yükleri, perde ve çerçeveler rijitlikleri oranında karşılarlar. Taşıyıcı sistemlerin yükseklikleri arttıkça perdeler önemli bir eleman olarak ortaya çıkar. Perdeler, yüksek binalarda, dayanım yanında yanal yerdeğiştirmeyi sınırlaması yönünden de tercih edilir. Özenli bir şekilde düzenlenen perdeler, taşıyıcı sistemin toplam göçmesini önledikleri gibi, yapısal olmayan hasarların sınırlandırılmasında da etkilidir.

Perdeler çerçevelerle birlikte kullanıldığında daha sünek sistemler elde edilir. Perdenin şekil değiştirmesinde eğilme momenti etkili olur ve katlar arası en büyük yer değiştirme üst katlarda meydana gelirken, çerçevede ise yatay ötelemeler kat rijitliğine bağlı olarak kesme kuvvetinin en büyük olduğu alt katlarda meydana gelmekte ve üst katlara doğru azalmaktadır. Bu tür iki farklı davranış sergileyen perde ve çerçeve sistemlerinin beraber yük taşımaları durumunda, taşıyıcı sistemin ötelenmesi; perde ve çerçevelerin beraber davranmaları gereği hem eğilme, hem

kayma davranışı etkisinde olacaktır. Karma sistemde yapının üst kısmındaki perde eğilmesi çerçeveler tarafından, çerçevelerin alt katlardaki kaymaları ise perdeler tarafından engellenir [Celep ve Kumbasar, 1998], [Akkaya, 2007].

2.2. Perde Modellemesi İçin Başlıca Kriterler

Depreme dayanıklı yapı tasarımı için temel ilkeler, yeterli dayanım, yeterli rijitlik ve yeterli süneklik olarak belirtilmektedir. Bir bütün olarak deprem yüklerini taşıyan bina taşıyıcı sisteminde ve aynı zamanda taşıyıcı sistemi oluşturan elemanların her birinde, deprem yüklerinin temel zeminine kadar sürekli bir şekilde ve güvenli olarak aktarılmasını sağlayacak yeterlikte rijitlik, dayanım ve süneklik bulunmalıdır. Bu kriterlerin perde tasarımındaki öneminin anlaşılması için bu açıklamalara yer verilmiştir. Bunlara ilave olarak, betonarme yapıların davranışlarıyla ilgili olarak kullanılan yeterli kararlılık (stabilite), yeterli sönüm ve yeterli uyum (adaptasyon) ilkeleri de göz önünde bulundurulmalıdır [Aktan ve Kırac, 2010].

2.2.1. Dayanım

Yeterli dayanımdan amaç, öncelikle taşıyıcı sistem elemanları, kendilerine etkileyen yük ya da yük etkileri nedeniyle oluşacak kesit zorlarını kırılmadan yani taşıma gücünü aşmadan taşıyabilmelidir.

DBYBHY (2007) yapıların depreme dayanıklılığını, yapının deprem enerjisini tüketmesi ile korunmasını ve bu amaçla yapının yeterince sünek olmasını ister. Yönetmeliğin amacı, şiddetli depremlerde dahi yapının tamamen yada kısmen göçmemesidir. Bu yaklaşım üç aşamalı bir yapısal davranış esasına dayanır:

- Sık oluşabilecek hafif şiddetteki depremlerde yapıların elastik davranması, yapısal ve yapısal olmayan sistem elemanlarının herhangi bir hasar görmemesi,
- Orta sıklıkta oluşabilecek orta şiddetteki depremlerde yapıların elastik limitine yaklaşması, yapısal ve yapısal olmayan sistem elemanlarında oluşabilecek hasarın onarılabilir düzeyde kalması,
- Seyrek olarak oluşabilecek şiddetli depremlerde ise yapıların plastik davranması, can kaybını önlemek amacıyla binaların kısmen veya tamamen

göçmesini önlemektir.

DBYBHY (2007)' ye göre yeni binaların tasarımında esas alınacak tasarım depremi, şiddetli depreme karşılık gelmektedir. Bina önem katsayısı $I = 1$ olan binalar için, tasarım depreminin 50 yıllık süre içinde aşılma olasılığı %10'dur. Yönetmelikte bu şekilde tanımlanan depreme göre yapılan yapı tasarımının ilk iki aşamada öngörülen yapı davranışını güvenli bir biçimde sağlayacağı kabul edilir. Yönetmeliklerde tanımlanan şiddetli depremin etkisi altında yapının göçmeden ayakta kalabilmesi, yapıda belirli bir dayanımın bulunmasıyla birlikte, önemli ölçüde enerji yutabilme kapasitesinin sağlanmış olmasına bağlıdır. Bu iki yapısal özellik, yukarıda ikinci aşamada belirtilen yapısal davranış için de gereklidir. Birinci aşama için öngörülen doğrusal elastik davranış ise tümüyle yapı elemanlarının yeterli dayanımı ile sağlanır.

2.2.2. Rijitlik

Yapı için yeterli rijitlik; ikinci mertbe momentlerini mümkün olduğunca küçültmek, sıkça oluşan depremlerde yani kullanılabilirlik sınır durumuna karşı gelen depremlerde yapısal olmayan hasarları azaltmak için gerekli olmaktadır. Yatay yükler etkisinde yapı rijitliğinin en önemli ölçütü elemanın kendi rijitliği ve yapıda bir katın alt kata göre yapmış olduğu görece ötelenme miktarıdır.

Rijitlik için yapının geometrisi değil, düşey taşıyıcıların konumu ve bunların her iki doğrultudaki boyutları önemli olmaktadır. Betonarme bir yapıda düşey taşıyıcı elemanlar olarak kolon ve perdeler dolgu duvarlara göre daha rijit davrandığı için, rijitlik hesabında bu elemanların dikkate alınması yeterli olmaktadır. Düşey taşıyıcı elemanların rijitliklerinin hesabında elemanlarda kullanılan malzemenin özellikleri (elastisite modülü), elemanın enkesit boyutları ve eleman uçlarının mesnetlenme biçimleri etkili olmaktadır [Doğangün, 2005].

Deprem yönetmeliğinde yapı rijitliği ile, dolayısıyla da depremde yapıda meydana gelebilecek yerdeğiştirmelerle ilgili olarak belirtilen özelliklerden görece kat ötelemesi, iki kat arasındaki yerdeğiştirme farkını ifade eder ve $\Delta_i = d_i - d_{i-1}$ şeklinde tanımlanır. Birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, herhangi bir katta en büyük görece kat ötelemesinin o katta aynı doğrultudaki ortalama görece ötelemeye oranını ifade eden Burulma Düzensizliği Katsayısı'nın

1.2'den büyük olması durumu Burulma Düzensizliği olarak tanımlanır. Burulma Düzensizliği'nin oluşmaması için, perde vb. rijit taşıyıcı sistem elemanlarının sistemin burulma rijitliğini arttıracak biçimde yerleştirilmesine özen gösterilmelidir.

2.2.3. Süneklik

Yapı ve elemanlarının taşıma gücünde önemli bir azalma olmadan şekil değiştirme yapabilme ve tekrarlı yükler etkisinde enerji tüketebilme özelliğine o yapının ya da yapı elemanlarının sünekliği denilmektedir. Eğer yapı, hasar görmeden deprem enerjisini yaptığı yerdeğiştirme ile sönmüleyebiliyorsa yapının sünek olduğu söylenebilir. Yapıda oluşacak yerdeğiştirmelerin bilinmesi yapının sünek davranışı hakkında bilgi verir.

Deprem etkisi altında doğrusal-elastik davranan yapılarda deprem sırasında oluşacak enerjinin tamamı plastik aşamaya geçmeden elastik aşamada sönmülmelidir. Ancak bu durumun gerçekleşmesi için kesitlerin aşırı büyük boyutlarda seçilmesi gerekmektedir. Bu durumda ise yapının maliyeti artacaktır. Yapı maliyetini azaltmak ve enerjinin bir kısmını plastik aşamada tüketmek amaçlanırsa, yapının sünek davranış gösterecek şekilde tasarlanması gerekmektedir. Enerjinin çoğu yapıda oluşacak plastik mafsallarda tüketilmektedir [Doğangün, 2005]. Süneklik oranının büyük olduğu ve doğrusal olmayan şekil değiştirmelerin küçük bir bölgeye yayıldığı sistemlerde, doğrusal olmayan eğilme şekil değiştirmelerinin plastik mafsal adı verilen kesitlerde toplandığı, bunun dışındaki bölgelerde ise sistemin doğrusal-elastik davrandığı kabul edilebilir [Arslan ve ark., 2008]. Enerji tüketimi açısından plastik mafsal olan bir kesitte büyük şekil değiştirme kapasitesi olması gerekmektedir. Kırılmayı ortaya çıkaracak olan bu önemli kesit şekil değiştirmesi sırasında enerji o kadar fazla başka amaca çevrilerek kullanılmış olur ki, kesit tam kırılma konumuna varmadan enerjinin tümüne yakını tüketilmiş olur. Böyle bir durumda yapının depremi yıkılmadan atlatma olasılığı artmaktadır [Doğangün, 2005].

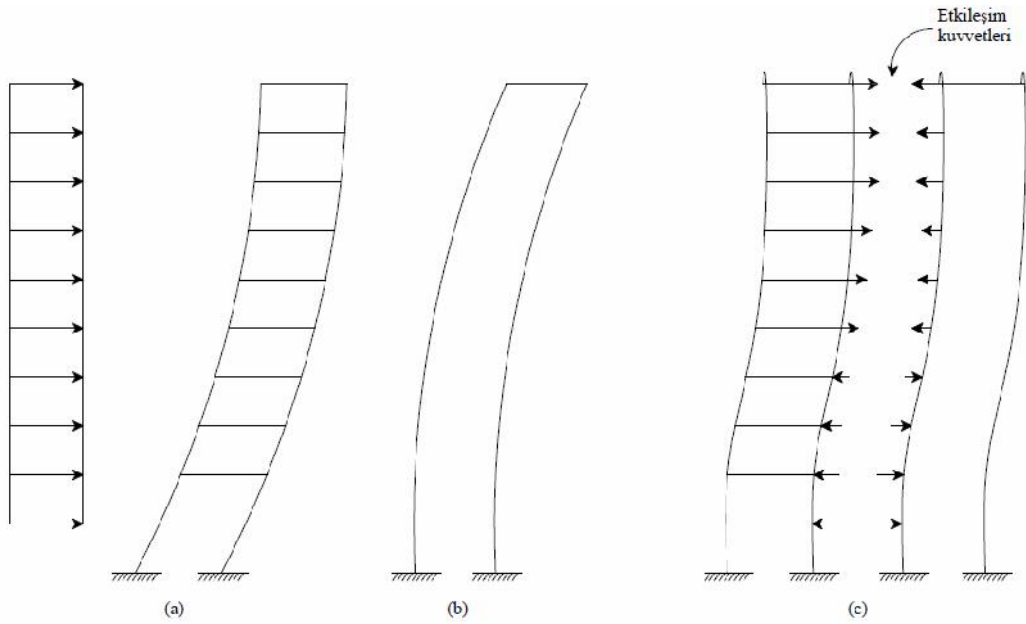
Yapılarda kırılmanın daha uzun sürede gerçekleşmesi amaçlandığı için, yapının sünek davranış göstermesi istenmektedir.

2.3. Perde - Çerçeve Sistemler

Yapı yüksekliğinin artmaya başlaması ile yatay kuvvetler yapı dizaynını çok yakından etkilemeye başlarlar. Temel kotuna doğru kesme kuvvetinin artmaya başlaması ile kolon momentleri büyür. Bunun bir sonucu olarak, kolon kesitlerini aşırı büyütmek zorunlu olur. Çok büyük kolon kesit boyutları hem ekonomik olmazlar, hem de estetik bakımdan sakıncalar doğururlar.

Bir çözüm olarak düşey perdeler kullanılabilir. Perdelerin eğilme rijitlikleri çerçevelerin rijitliklerine oranla çok büyük olduğundan, yatay kuvvetin çok büyük bir bölümü de perdeler tarafından taşınır. Böylece, kolon boyutları küçük tutulabilir.

Perde duvarların eğilme rijitlikleri kolonların eğilme rijitliklerinden çok büyüktür. Yatay yüklerin düşey taşıyıcıların göreceli rijitliklerine göre dağılacığı düşünülürse, yatay yükün tümüne yakınının perde duvarlar tarafından taşınacağı sonucuna varılacaktır. Yükseklik / genişlik oranı küçük olan yapılarda bu yaklaşım gerçeğe yakın sonuçlar verecektir. Ancak, yapı yüksekliği arttıkça, perde ve çerçeve arasında yapı yüksekliğince sıkı bir yük paylaşımı başlayacaktır. Bu işbirliğinin bir sonucu olarak, bir doğrultuda etkiyen eşdeğer statik yatay yükler düşünülürse, çerçeve ve perde, yüksekliğince yön değiştiren yatay yüklere maruz kalacaktır (Şekil 2.1). Çerçeve ve perde düğüm noktalarında eşit yanal ötelenmenin oluşması zorunluluğundan kaynaklanan bir yük dağılışı sonucu, çerçeve - perde sisteminde yanal ötelenmeler kontrol altında tutulabilir [Atımtay, 2000].



Şekil 2.1: Çerçeve - perde etkileşimi a) Kayma kirişi davranışı gösteren çerçeve, b) Eğilme kirişi davranışı gösteren perde, c) Etkileşim içinde çerçeve ve perde.

Yatay yükü, perde ve çerçeveler bir ortaklık içinde taşırlar. Ancak perde-çerçeve sistemlerinde iki değişik davranışın etkileşimi söz konusudur. Perde duvar yatay yükler altında bir "eğilme kirişi" gibi davranacak, buna karşılık çerçeve bir "kayma kirişi" davranışı gösterecektir [Atımtay, 2000].

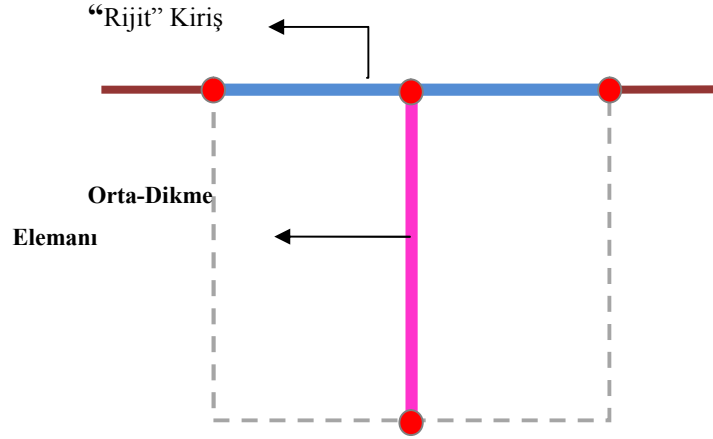
3. PERDE DUVARLAR İÇİN DOĞRUSAL MODELLER

Perde duvarlara sahip bina türü yapısal sistemlerin analizinde sonlu elemanlar yönteminin doğru bir şekilde uygulanması, ancak modelleme yaklaşımlarının doğru anlaşılması ile mümkündür. Bu sistemlerde kullanılan iki modelleme yöntemi ve ilgili varsayımlar aşağıda açıklanmıştır.

3.1. Orta-Dikme Çubuk Modeli

Bu modelde perde duvarlar çubuk eleman kullanılarak oluşturulmaktadır. Perde rijitliğini gösterebilmek için bir orta-dikme çubuk elemanı kullanılır. Ayrıca kesişen kirişler ile döşeme elemanlarının uygun bağlantılarını sağlamak için de yatay çubuk elemanlar (rijit kirişler) kullanılır (Şekil 3.1). Bu yatay çubuk elemanlarının rijitliklerinin doğru bir biçimde atanması, orta-dikme çubuk modelinin en önemli detayıdır. Bu kirişlere çok büyük rijitlik değerleri atandığında (sonsuz rijit kabulü), bu durum özellikle perdeye bağlanan diğer yapısal elemanlarda gerçekçi olmayan kesit etkilerinin oluşmasına neden olur. Orta-dikme çubuk modeli genel olarak, pratikte düzlemsel perde duvarlı binaların doğrusal ve doğrusal olmayan analizlerinde kullanılır. Bu model aşağıdaki durumlarda güvenilir sonuçlar vermemektedir [Fahjan ve ark, 2011]:

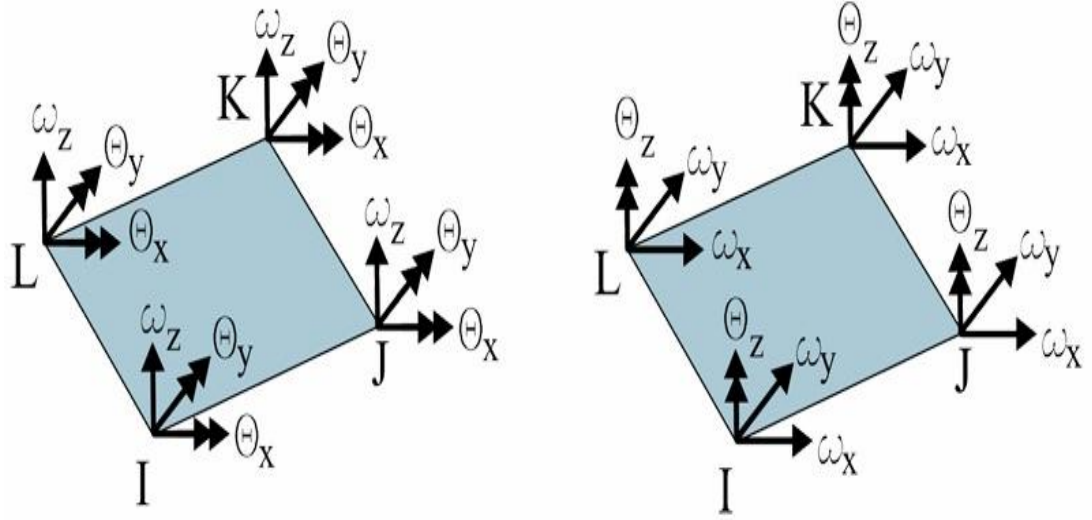
- Birbiriyle etkileşen çekirdek perde sistemler.
- Perde üzerine oturan kolonlar olması durumu.
- Perde duvar uzunluğunun çok büyük olduğu durumlarda bu modelde kullanılan rijit kolların uzunluğu çok fazla olmaktadır. Perdeye düzlemi dışından saplanan kirişler varsa, bu kollar, yeterli burulma rijitliğini sağlayabilmek için gerekli kesit özelliğine sahip olsalar bile, bazı durumlarda yeterli rijitlik sağlanamayabilir.
- Yapı yüksekliği boyunca daralan ya da eğimli perde duvarlar.



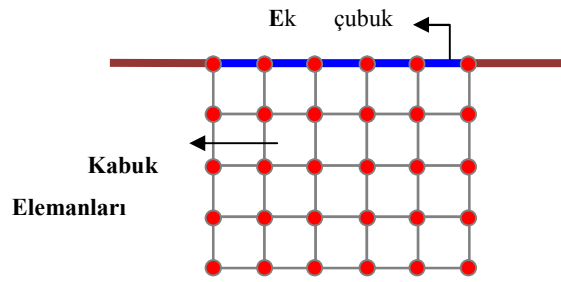
Şekil 3.1: Perde için orta-dikme çubuk modeli.

3.2. Sonlu Elemanlar Kabuk Modeli

Perde duvarlı binaların analizinde kabuk elemanlar kullanılarak daha gerçekçi sonuçlar elde edilebilmektedir. Analiz ve tasarım yazılımlarının çoğunda kabuk elemanlarının düzlem-içi dönme serbestlik derecesiyle (drilling degree of freedom) birlikte her düğümde altı serbestlik derecesine sahip olduğu varsayılır. Bu serbestlik derecelerinin kullanımı, kabuk eleman modelini 3-boyutlu çubuk elemanları ile uyumlu konuma getirir. Dörtgen elemanların yer değiştirme alanını tanımlamak için doğrusal şekil fonksiyonları kullanılır [Wilson, 2002]. Bu nedenle, kabuk elemanlar ile perde duvar modellemesinde gerçekçi bir davranış elde etmek için ağ sistemi oluşturulmasına ihtiyaç duyulur. Kabuk elemanlarını kullanmanın en büyük avantajı, birbiriyle etkileşimli olan karmaşık perde duvar sistemlerinin modellenenebilmesini sağlamasıdır. Kabuk eleman denklemleri düzlem-içi dönme serbestlik derecesini içermesine rağmen, yapılan çözümler göstermektedir ki bu dönme serbestlik derecesinden elde edilen sonuçlar yükleme şartları ve ağ sıklığına karşı tutarsız ve aşırı duyarlıdır (Şekil 3.2). Bu durum, perde duvarla aynı düzlemdeki kirişlerin perde duvara bağlandığı noktadaki eğilme momentinde önemli bir etkiye sahiptir. Bu problemi çözmek için mühendislik uygulamalarında perde duvara bağlı kirişler genellikle perdenin kabuk elemanları içine doğru uzanan ek çubuk elemanları (rijit kirişler) kullanılarak modellenir (Şekil 3.3).



Şekil 3.2: Plak ve membran kabuk elemanlar için serbestlik dereceleri.



Şekil 3.3: Perde için kabuk eleman modeli.

4. PERDE DUVARLAR İÇİN DOĞRUSAL OLMAYAN MODELLER

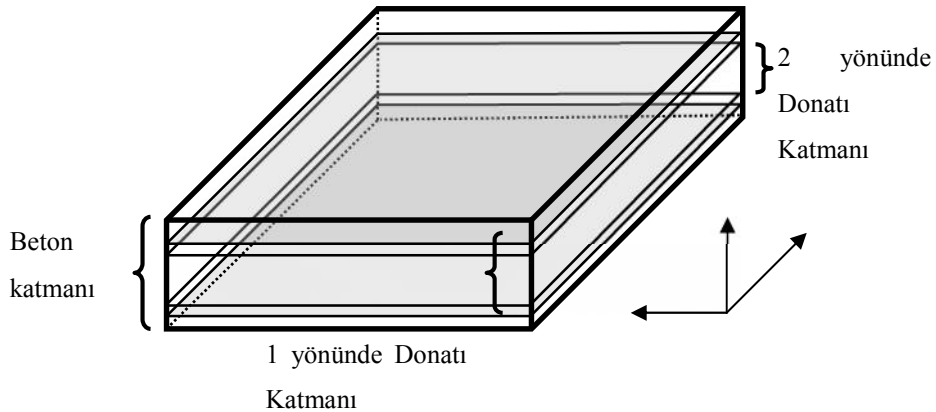
Yapının ya da yapı elemanlarının doğrusal olmayan davranışı, genellikle malzeme ve geometrik bakımdan olmak üzere ikiye ayrılarak incelenir. Geometrik bakımdan doğrusal olmayan davranış incelendiğinde, yer değiştirmelerin önem kazanması sebebiyle denge denklemlerinin cismin şekil değiştirmiş durumu üzerinde yazılması gerekir. Narin kolonlar, ince plaklar gibi yapı elemanlarının stabilite problemleri örnek olarak verilebilir. Çözüm için en basit yöntem problemin iterasyonla çözülmesidir. Bazı durumlarda şekil değiştiren sisteme bir başlangıç konumu verilerek, iterasyonun hızlanması sağlanabilir. Malzeme bakımından doğrusal olmayan davranış; genel olarak betonarme yapı ve elemanların hepsinde görülür. Malzeme davranışını temsil eden gerilme şekil değiştirme bağıntılarının doğrusal olmaması, betonun çatlaması, yükleme şekli gibi sebeplerle ortaya çıkar.

4.1. Sürekli Sonlu Eleman Modeli

Perde duvarlar, doğrusal olmayan katı elemanların kullanıldığı sürekli elemanlarla ANSYS, ABAQUS gibi bazı gelişmiş yazılımlar kullanılarak modellenebilir. Sürekli elemanlar beton ve donatı model detaylarında kesin üstünlük sunarlar [Nicolae and Reynouard, 2000]. Donatı üç farklı yönde tanımlanabilir ve beton modeli elastisite modeli; elastisite akış teorisi, Von Misses verimlilik kriteri, izotropik sertleştirme ve akış kuralına dayanır. Sürekli elemanlar ile; eksenel eğilme etkisi, elastik olmayan perde deformasyonu, beton davranışları üzerinde çeliğin kısıtlayıcı etkisi, beton basıncını yumuşatma ve beton gerilimini sertleştirme gibi önemli davranışsal tepkiler elde edilebilir [Spacone and El-Tawil, 2004]. Sürekli eleman modelleri daha büyük miktarda girdi parametrelerine ihtiyaç duymalarına rağmen bir ya da daha fazla betonarme eleman parçalarının analizinde daha verimli olurlar. Öte yandan, sürekli elemanlar modeli normal büyüklükteki bina yapılarının tasarımı ve analizinde pratik olarak henüz uygulanabilir değildir.

4.2. Çok Katmanlı Kabuk Elemanı

Perdeler modellenirken çok katmanlı kabuk elemanlarının yayıldığı ağlar kullanılır. Çok katmanlı kabuk elemanı, kompozit malzeme mekaniği prensiplerine dayanır ve bu düzlem/düzlem dışı eğilme çifti ve düzlemsel eğilme-kesme çifti gibi betonarme perdelerin doğrusal olmayan davranışlarını simule edebilir [Miao ve ark., 2006]. Kabuk elemanı, farklı kalınlıklardaki bir kaç katmandan oluşur ve bu katmanlar farklı özellikteki malzemelerden meydana gelir (Şekil 4.1). Bu, donatı çeliğinin ya da birden fazla katman içine yayılabilmesi anlamına gelir. Sonlu elemanlar hesabı sırasında bir eleman için eksenel gerilme ve orta katman eğriliği elde edilebilir. Düzlem kesitlerin düzlem kaldığı varsayımına göre, diğer katmanların eğilmeleri ve gerilmeleri hesaplanabilir. Daha sonra buna karşılık gelen basınç gerilmeleri katmanlarda kullanılan malzemenin yapısal bağlantıları vasıtasıyla hesaplanabilir. Üstteki prensiplerden görülmektedir ki, perdenin yapısal performansı malzeme davranışının temel prensipleri ile doğrudan ilgilidir. Performansa dayalı tasarımda kullanmak üzere, sünek betonarme elemanların performans kriterleri ATC 40 ve FEMA 356 belgelerinde eleman uçlarındaki plastik dönme cinsinden tarif edilmiştir. Bu nedenle, mühendislik uygulamalar için bu modelin daha da geliştirilmesi gerekmektedir. Bu durumlarda kayma deformasyonlarının hakim olduğu perde duvarlarda göreceli ötelenme oranı ATC 40'da tanımlanmış deformasyon ölçütleri ile karşılaştırılabilir.



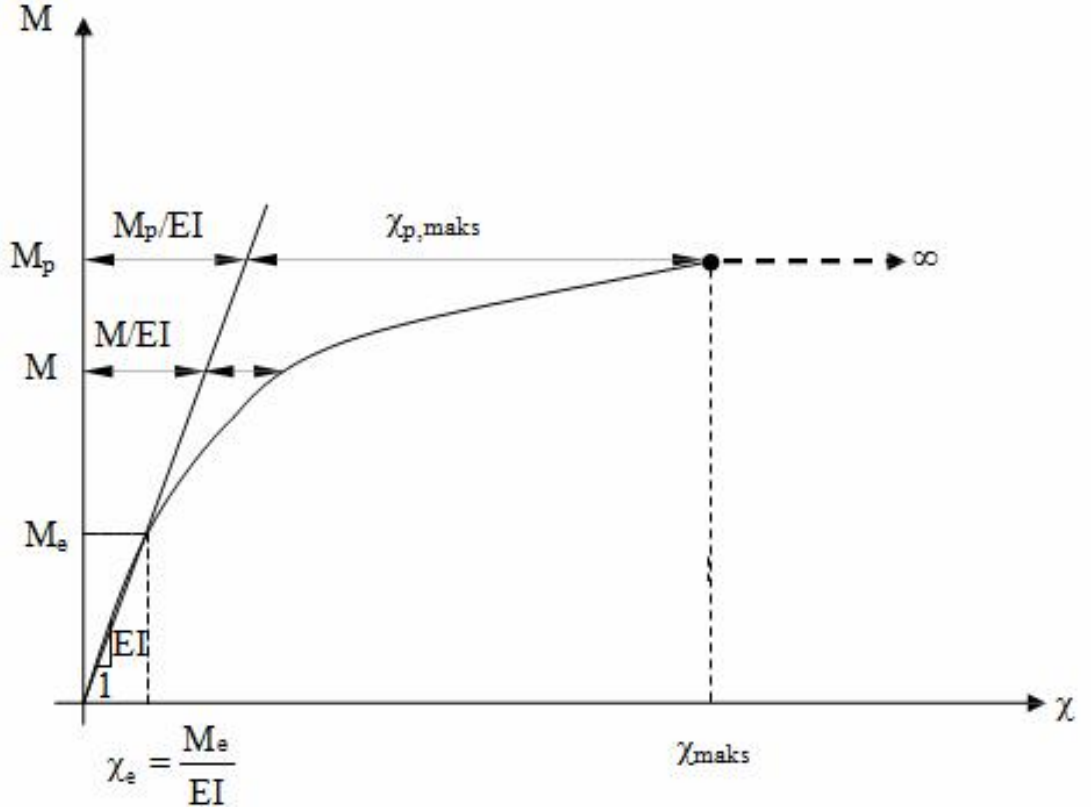
Şekil 4.1: Çok katmanlı kabuk eleman.

4.3. Plastik Mafsallı (P-M-M Etkileşimli) Orta-Dikme Çubuk Modeli

Bu yöntemde perde modeli, orta-dikme ve rijit kiriş elemanlarından oluşmaktadır. Doğrusal olmayan malzeme davranışı, orta-dikme elemanındaki bir plastik mafsallı ile modellenenir. Bunun için önce plastik mafsallı hipotezine biraz değinelim.

4.3.1. Plastik Mafsallı Hipotezi

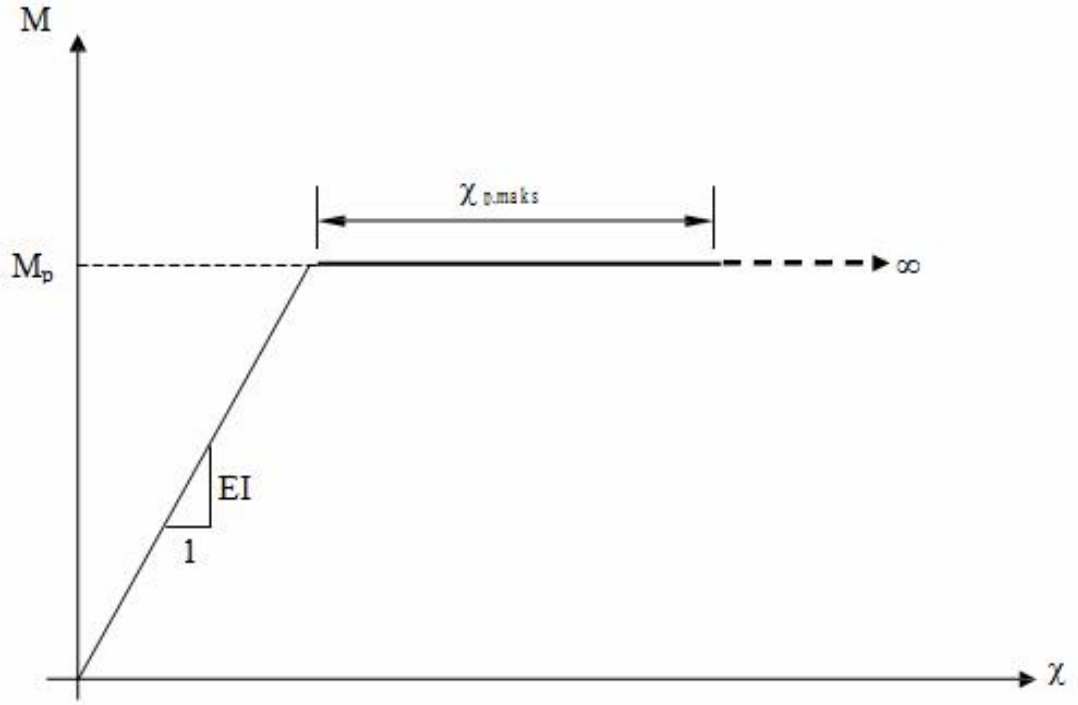
Betonarme kesitlerde moment etkisi altında dönme meydana gelmektedir. Yeterli sünekliğe sahip betonarme kesitlerin eğilme momenti-eğrilik ($M-\chi$) ilişkileri incelendiğinde, eğilme momenti-eğrilik bağıntılarının esasında iki farklı bölgeden oluştukları gözlenmektedir (Şekil 4.2). Birinci bölgede, eğilme momentinin düşük değerleri için, betonarme kesitlerin eğilme momenti-eğrilik bağıntıları doğrusal-elastik olarak kabul edilebilir. Bu bölgede, kesitteki beton ve beton çeliği de doğrusal davranış bölgesinde kalmaktadır. Eğilme momentinin artan değerleri için, sırasıyla kesitte çatlama ve donatıda akma meydana gelmektedir. Kesitteki gerilmelerin artmasıyla birlikte, betonda ve beton çeliğinde doğrusal olmayan gerilme-şekil değiştirme ilişkilerinin kesitin davranışında hakim olmaya başlaması, kesitin eğilme momenti-eğrilik bağıntısının doğrusal davranışı terk etmesine neden olmaktadır. Eğilme momenti-eğrilik bağıntısının ikinci bölgesinde, eğri yataya yakın olmaktadır. Plastik davranışın hakim olduğu bu bölgede, kesite etkiyen eğilme momentinde çok küçük artımlar meydana gelirken kesit dönmeleri ve eğrilik hızlı bir şekilde artmakta ve eğriliğin sınır değerine erişmesi ile kesitte güç tükenmesi meydana gelmektedir [Çakıroğlu ve Özer, 1980].



Şekil 4.2: Eğilme momenti – eğrilik diyagramı.

Plastik mafsal hipotezinde, eğilme momenti-eğrilik bağıntısını oluşturan bu iki bölge, biri yatay olmak üzere iki doğru parçası ile idealleştirilmektedir (Şekil 4.3). Bu iki nokta kesin bir nokta ile birbirinden ayrılmamasına rağmen, çekme donatısının akmaya erişmesi ve betondaki birim kısalmanın ϵ_{co} sınır değerine ulaşması, bu iki doğrusal davranışı birbirinden ayıran nokta olarak kabul edilebilmektedir.

Toplam şekil değiştirmelerin doğrusal şekil değiştirmelere oranı olarak tanımlanan süneklik oranının büyük olduğu ve doğrusal olmayan şekil değiştirmelerin küçük bir bölgeye yayıldığı sistemlerde, doğrusal olmayan şekil değiştirmelerin plastik mafsal (plastik kesit) adı verilen belirli kesitlerde toplandığı, bunun dışındaki bölgelerde sistemin doğrusal elastik davrandığı varsayılabilir. Plastik dönmelerin bu şekilde belirli bir bölgede toplanması plastik mafsal (plastik kesit) olarak adlandırılmaktadır. Plastik mafsallarda kesit dönmeleri eğilme momentinin en büyük değerine (M_p) ulaşması ile ortaya çıkmaktadır. Plastik mafsalı adi mafsaldan ayıran en önemli özellik, plastik mafsal bölgelerinde kesitin moment artışı olmaksızın dönmeye devam etmesidir.



Şekil 4.3: İdealleştirilmiş bünye bağıntısı.

Plastik mafsall hipotezinin uygulanmasında, gerçek eğilme momenti-eğrilik bağıntısı

$$M < M_p \quad \text{için} \quad \chi = \frac{M}{EI} \quad (4.1)$$

$$M = M_p \quad \text{için} \quad \chi \rightarrow \chi_{p,maks} \quad (4.2)$$

şeklinde iki doğru parçası ile idealleştirilmektedir (Şekil 4.3).

Artan dış yükler altında, plastik mafsall dönmelerinin artarak dönme kapasitelerine ulaşması durumunda meydana gelen büyük plastik şekil değiştirmeler nedeniyle kesit kullanılamaz hale gelmektedir. Sistemin bir veya daha çok kesitindeki plastik mafsall dönmelerinin dönme kapasitelerine erişmesi, yapının kullanılamaz hale gelmesine, fiili olarak göçme meydana gelmese de teknik açıdan yapının göçmesine neden olmaktadır.

Plastik mafsall boyu: Plastik mafsall boyunun tanımlanması için literatürde pek çok ampirik bağıntı mevcuttur. Köprü ve viyadük ayakları için yaygın olarak kullanılan ve deprem yönetmeliklerinde yer alan bağıntı aşağıda verilmiştir.

$$L_p = 0.08H + 0.022 f_y d_b \leq 0.044 f_y d_b \quad (4.3)$$

Burada L_p plastik mafsalsal boyu (mm), H konsol ayak boyunu veya ayak tabanı ile moment sıfır noktası arasındaki uzunluğu (mm), f_y ayak kesitindeki tipik donatının karakteristik akma dayanımını (MPa), d_b ise donatı çapını (mm) göstermektedir.

Başlıca plastik mafsalsal türleri aşağıda sıralanmıştır:

M3 Plastik Mafsalsal: M3 mafsalsal betonarme çubuklarda eğilme momenti ve dönme arasındaki ilişkiyi tanımlamaktadır. Sabit eksenel kuvvet ve tek eksenli eğilme etkisi altındaki kesitlerin doğrusal olmayan davranışını tanımlamak için kullanılmaktadır.

PMM Plastik Mafsalsal: Bileşik veya eğik eğilme etkisi altındaki betonarme çubuklarda eğilme momenti normal kuvvet arasındaki etkileşiminin tanımlanması için PMM mafsalsal kullanılmaktadır (Şekil 4.4). Kesite ait elde edilen akma yüzeyi eğrilerinin idealleştirilmiş şekli mafsalsal özellikleri olarak tanımlanmaktadır. Bu tez çalışmasında bu mafsalsal tipi kullanılmıştır.

P Plastik Mafsalsal: Sadece eksenel yük etkisi altındaki çubuk elemanlarda normal kuvvet – şekil değiştirme ilişkisinin tanımlanması için P mafsalsal kullanılmaktadır. Gergi çubukları veya dolgu duvarlar bu mafsalsal tipinin kullanımının uygun olduğu elemanlardır.

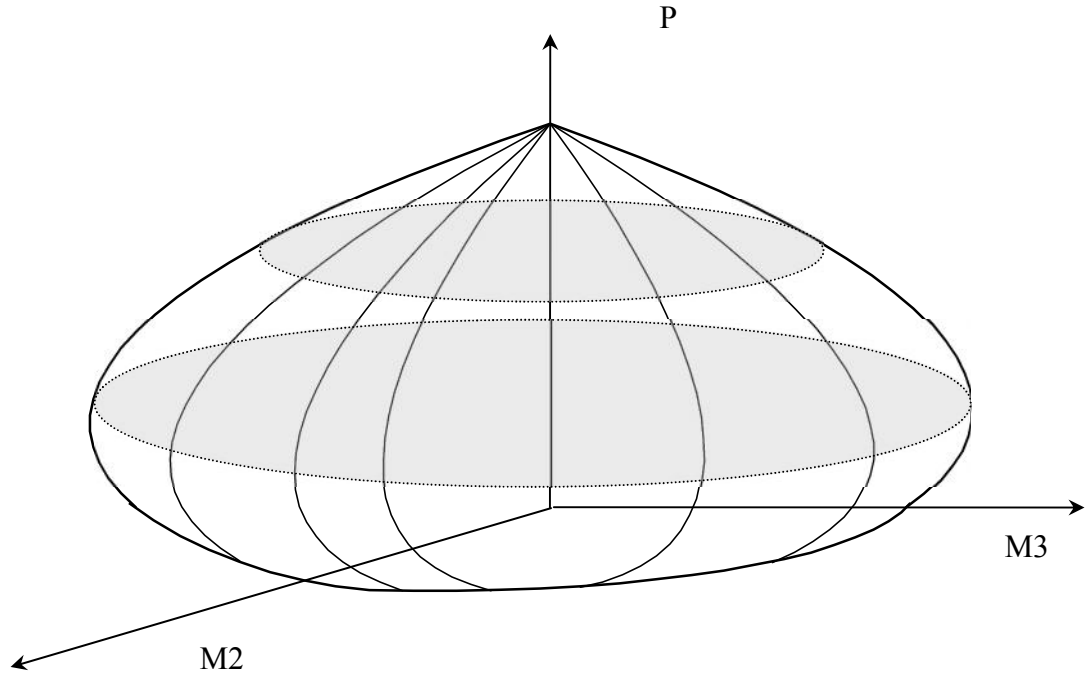
V Plastik Mafsalsal: Kesme kuvveti düzeyinin yüksekliğinden dolayı kesme göçmesi ortaya çıkabilecek elemanlarda kullanılır. Yetersiz etriye bulunan elemanlar, yüksek kirişler, bağ kirişleri, yüksekliği az olan perdeler bu tip elemanlara örnektir.

T Plastik Mafsalsal: Burulma mafsalsalıdır. Saplama kirişlerin bağlandığı çerçeve kirişlerinde kullanılabilir.

4.3.2. PMM Etkileşimli Orta Dikme Çubuk Modeli

Plastik mafsalsal yapısal model, plastik eğilmenin beklendiği bölgeye bir elasto-plastik yay elemanı yerleştirilerek oluşturulur. İki elasto-plastik yay arasındaki eleman elastik olarak modellenir. Elastik olmayan şekil değiştirmelerin tamamının bu

yaylarda meydana geldiği varsayılır [Otani, 1980]. Bu tek bileşenli model, Giberson (1967) tarafından geliştirilmiştir. Orta-dikme çubuk elemanının doğrusal olmayan modeli genellikle iki doğrusal parçalı (bilinear) moment-dönme ilişkisi ve plastik mafsallara dayanır (Şekil 4.4). Plastik mafsalların (P-M-M Etkileşimli), yapı elemanlarının uçlarındaki plastik bölgelerde oluştuğu ya da elemanların hesap açıklığı boyunca dağıldığı kabul edilir [Otani, 1980]. FEMA 356, iki doğrusal parçalı (bilinear) moment-dönme ilişkisine sahip perdeler için kabul kriterleri tanımlamakta ve plastik mafsalları özellikleri önermektedir. Daha kapsamlı plastik mafsalları (P-M-M Etkileşimli) modeli, mafsalları plastik davranışını tarif eden fiber model kullanarak hesaplanabilir. Plastik mafsalları tanımları mühendislik uygulamalarında perdelerin doğrusal olmayan analizinde doğrudan kullanılabilir.



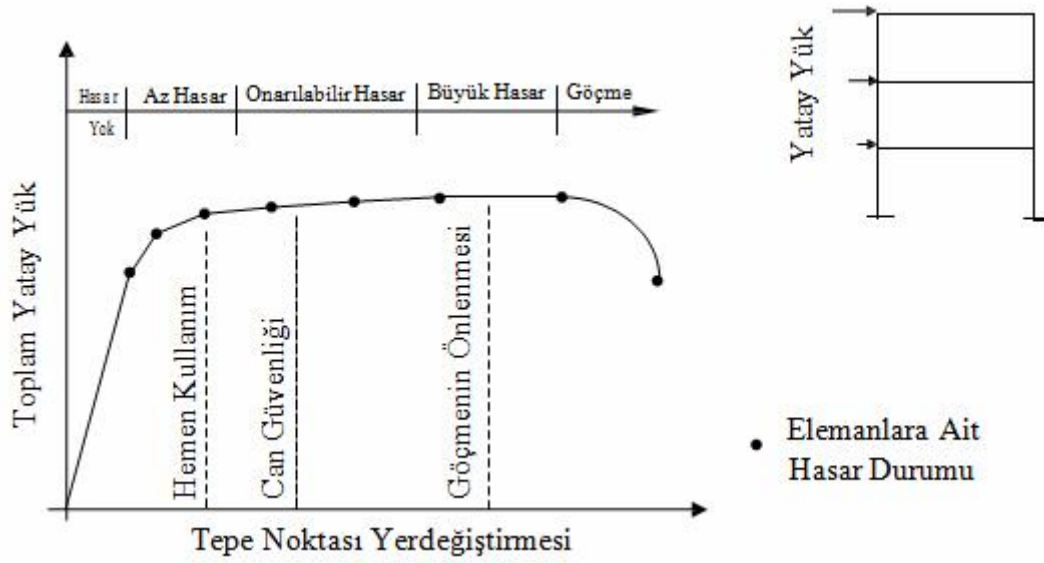
Şekil 4.4: Plastik (P-M-M Etkileşimi) mafsalları.

5. YAPI SİSTEMLERİNİN KAPASİTESİNİ BELİRLEMEDE DOĞRUSAL OLMAYAN STATİK ARTIMSAL İTME (PUSHOVER) ANALİZİ YÖNTEMİ

Doğrusal olmayan statik artımsal itme analizlerinde, yapı sistemleri iki veya üç boyutlu analitik modellerle temsil edilmektedir. Yapıların deprem yükleri altındaki doğrusal olmayan davranışlarının belirlenmesi için kullanılan doğrusal olmayan statik artımsal itme analizi yöntemleri, yapının deprem yükleri altındaki dayanımını temsil eden yatay yük-tepe noktası yer değiştirmesi ilişkisinin, malzeme ve geometri değişimleri bakımında doğrusal olmayan teoriye (ikinci mertebe elastoplastik teori) göre elde edilmesi ve değerlendirilmesi esasına dayanmaktadır.

Doğrusal olmayan statik artımsal itme analizinde, yapı dinamik atalet kuvvetlerini temsil etmek üzere, kat seviyelerine etki eden yatay yükler ile zorlanmaktadır. Yatay yüklerin uygulanması esnasında, yapıda düşey yükler de yer almaktadır. Statik yatay yükler, her adımda aralarındaki oran sabit kalacak şekilde arttırılmakta ve belirli bir yer değiştirme veya göçme durumuna erişilinceye kadar yapıya ait yatay yük-tepe noktası yer değiştirmesi ilişkisi belirlenmektedir.

Pushover analizi olarak da bilinen doğrusal olmayan statik artımsal itme analizi, yapının elastik ötesi deformasyon yeteneği ve hasar durumunu belirlemek üzere, artımsal doğrusal olmayan statik itme analizlerden ibarettir. Yatay yükler aralarındaki oran sabit kalacak şekilde arttırılmaya devam ederken, kesitlerin biri veya birkaçı taşıma kapasitelerine erişmekte ve bu kesitlerde plastik mafsall oluşmaktadır. Plastik mafsall oluşan kesitler, taşıma güçlerinde değişme olmaksızın dönmeye devam etmektedir. Plastik mafsallar arasında sistem, doğrusal-elastik davranmaktadır. Yatay yükler arttırılmaya devam edilerek, yapının bir bölümünü veya tamamını mekanizma durumuna getiren göçme yüküne (limit yük) ulaşılmaktadır. Doğrusal olmayan statik artımsal itme analizinden elde edilen tipik bir yatay yük-tepe noktası yer değiştirmesi ilişkisi Şekil 5.1’de verilmektedir.



Şekil 5.1: Doğrusal olmayan statik analizden elde edilen tipik performans eğrisi.

Kapasite eğrisi olarak adlandırılan yatay yük-tepe noktası yer değıştirmesi ilişkisi sayesinde yapıda veya elemanlarda oluşabilecek hasar, kısmi veya toptan göçme durumları elde edilebilmekte; yapının zayıf elemanlar ve bunların oluşma yerleri, yapı sisteminin göçmesine ait limit yük ve göçme anındaki yer değıştirme değeri, yapı sisteminin ve elemanların deformasyon talepleri belirlenebilmektedir. Ayrıca belirli bir deprem tehlike seviyesi için, yapının kendisinden istenen performans seviyesini sağlayıp sağlamadığı kontrol edilebilmektedir [İrtem ve Türker, 2002].

Değışik yük dağılımları, değışik yatay yük-tepe noktası yerdeğıştirmesi ilişkisi vereceğinden, doğrusal olmayan statik artımsal itme analizi yönteminde uygulanacak yatay yük dağılımının seçimi çok önemli olmaktadır. Bu noktadaki zorluk, dinamik atalet kuvvetlerinin eşdeğer statik kuvvetlerle temsil edilmesinde ortaya çıkmaktadır. Genel olarak birinci mod etkilerinin hakim olduğu düzgün yapılarda, yatay yük dağılımı bu mod şekline benzer bir dağılım olarak seçilebilmektedir. Yüksek mod etkilerinin önemli olabileceği yapılarda ise, doğrusal olmayan statik artımsal itme analizlerinde kullanılacak yatay yük dağılımları, yüksek modların katılımını da içermelidir. Bu yöntemler yüksek mod esaslı yöntemler olarak bilinmektedir (doğrusal olmayan statik modal artımsal itme analizi yöntemi).

Doğrusal olmayan statik artımsal itme analizleri değışik araştırmacılar tarafından çeşitli biçimlerde geliştirilmiş ve uygulanmıştır. Son olarak yapılan çalışmalar ise, doğrusal olmayan statik artımsal itme analizi yöntemlerinin üç

boyutlu yapı sistemlerinde uygulanabilirliğini kapsamaktadır. Burulma etkilerini de içeren, üç boyutlu elastik ötesi analiz programları kullanılarak doğrusal olmayan statik artımsal itme analizleri, simetrik olmayan yapılarda da uygulanabilmektedir.

Genel olarak, doğrusal olmayan statik artımsal itme analizi yöntemi yapının yatay yük dağılımını belirlemek için basit bir yaklaşımdır. Doğrusal olmayan statik artımsal itme analizi yöntemi, doğrusal-elastik analiz yöntemlerindeki yetersizlikler ve doğrusal olmayan dinamik analiz yöntemlerinin karmaşıklıkları ve uygulamadaki zorlukları arasında bir ara kesit oluşturmaktadır. Unutulmaması gereklidir ki, doğrusal olmayan statik artımsal itme analizlerinden elde edilecek sonuçların hassasiyeti, yapının modellenmesindeki başarıya ve bu modelin değişik elemanların elastik ötesi özelliklerini yansıttasındaki hassasiyete bağlıdır.

5.1. Tek Modlu Doğrusal Olmayan Analiz

Genel olarak birinci mod etkilerinin hakim olduğu düzgün yapılarda doğrusal olmayan statik artımsal itme analizi yöntemi uygulanmaktadır. Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi'nin amacı, birinci (deprem doğrultusunda hakim) titreşim mod şekli ile orantılı olacak şekilde, deprem istem sınırına kadar monolitik olarak adım adım arttırılan eşdeğer deprem yüklerinin etkisi altında doğrusal olmayan itme analizi yapılmasıdır. Düşey yük analizini izleyen itme analizinin herbir adımında taşıyıcı sistemde meydana gelen yer değiştirme, plastik şekil değiştirme ve iç kuvvet artımları ile bunlara ait birikimli (kümülatif) değerler ve son adımda deprem istemine karşı gelen maksimum değerler hesaplanır [Aydınoğlu, 2005].

DBYBHY (2007)'de bu yöntemin uygulanabilmesi için aşağıdaki şartlar öne sürülmüştür:

- Toplam kat adedi 8'i aşmamalı,
- Burulma düzensizlik katsayısı 1,4'den küçük olmalı,
- Deprem doğrultusundaki birinci titreşim moduna ait etkin kütle oranı 0,70'den büyük olmalıdır.

Yöntem, taşıyıcı sistemin yatay yük kapasitesi ile deprem etkisi talebinin buluşturularak, depremlili duruma karşı gelen performans durumunun belirlenmesi olup, üç adımdan ibaret kabul edilebilir:

- Kapasite eğrisinin belirlenmesi,
- Deprem etkisi ile oluşan talep eğrisinin belirlenmesi,
- İki eğrinin kesiştirilerek taşıyıcı sistemde dengenin oluştuğu bina performans durumunun belirlenmesi [Celep, 2008].

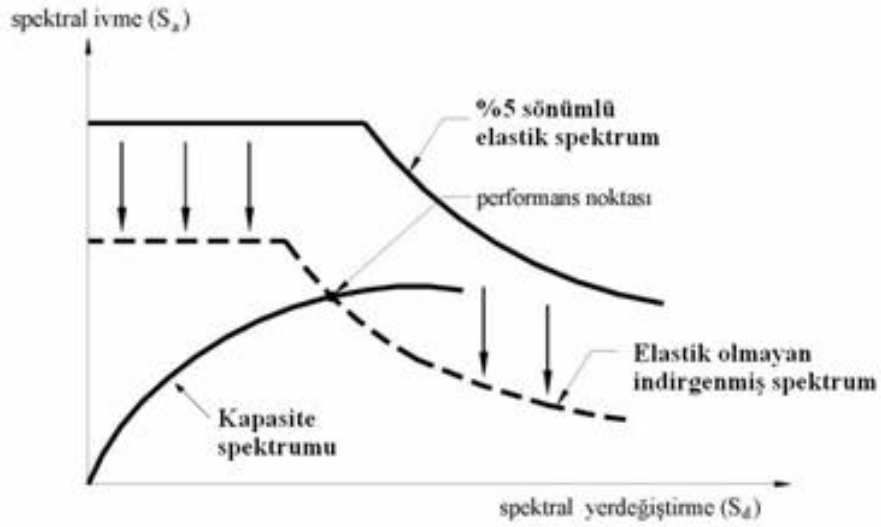
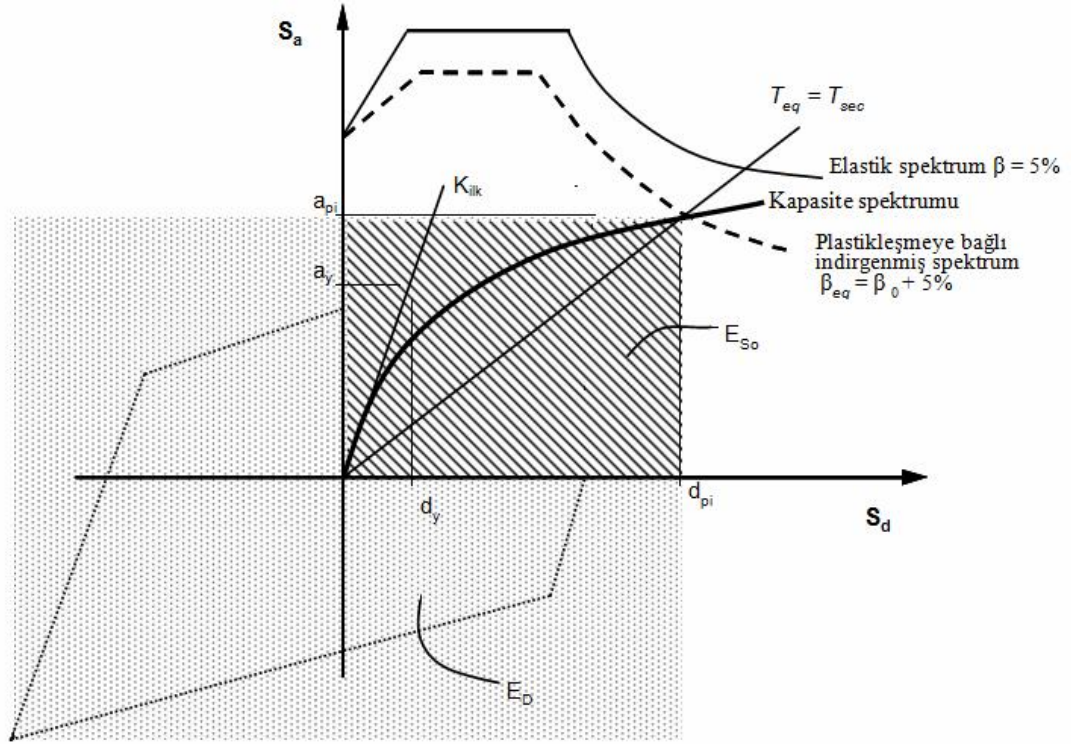
5.1.1. Kapasite Spektrumu Yöntemi ile Performans Noktasının Belirlenmesi

Kapasite spektrum yöntemi, yapının genel kuvvet deplasman spektrum eğrisi ile talep spektrum eğrisinin indirgenmesi ile elde edilen indirgenmiş tasarım spektrumu eğrisinin grafiksel olarak bir arada görülmesini sağlamaktadır. Yapının kapasitesi, elastik ötesi statik itme analizi ile belirlenen kuvvet-deplasman eğrisi (kapasite eğrisi) ile temsil edilmektedir. İtme analizinde elde edilen taban kesme kuvvetleri ve tepe deplasmanları (5.1) denklemi kullanılarak eşdeğer tek serbestlik dereceli bir sistemin spektral ivmelerine ve spektral deplasmanlarına dönüştürülür.

Bu spektral değerler kapasite spektrumunu tanımlar. Deprem talepleri yüksek sönümlü elastik spektrum ile tanımlanmaktadır (Denklem 5.2). Ancak bu spektrumda kapasite spektrumu gibi spektral ivme-spektral deplasman formatında ifade edilir. Aynı grafik üzerinde çizilen talep ve kapasite spektrumlarının kesişimi (performans noktası), elastik olmayan dayanım ve deplasman talebini verir, (Şekil 5.2). Tepe deplasmanı performans noktasına ulaşmış yapıda, kesitlerdeki iç kuvvet-şekil değiştirme bağıntıları, yapısal ve yapısal olmayan elemanlardaki hasar seviyesini ifade eden sınır değerler ile karşılaştırılarak yapının performans düzeyi belirlenir [ATC 40, 1996].

$$S_a = \frac{V_T / W}{\alpha_1} \quad S_d = \frac{\delta_{\max}}{PF_1 \phi_{tepe,1}} \quad (5.1)$$

$$SR_A = \frac{3.21 - 0.68 \ln(\beta_{eff})}{2.12} \quad SR_V = \frac{2.31 - 0.41 \ln(\beta_{eff})}{1.65} \quad (5.2)$$



Şekil 5.2: Kapasite Spektrumu Yöntemi ile Performans Noktasının Belirlenmesi.

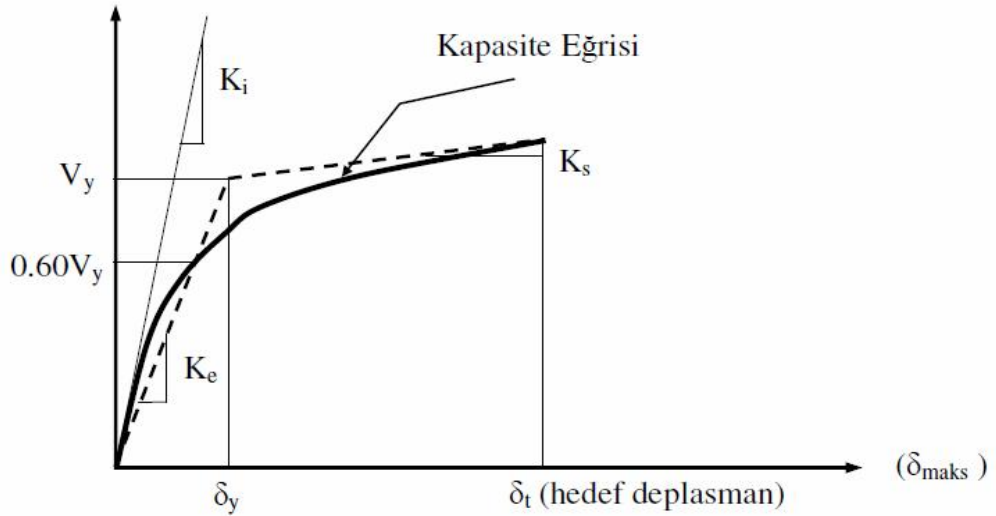
5.1.2. Yerdeğiştirme Katsayıları Yöntemi ile Performans Noktasının Belirlenmesi

Kapasite spektrumuna benzer olarak bu yöntemin de temelinde yatan kapasite ve istemlerin birbirine bağlı olmasıdır. Bu metotta, taşıyıcı sistemin özelliklerine bağlı olarak belirlenen, yapının periyodunu ve histeristik davranışını gösteren

katsayılar yardımıyla yer değiştirme istemine grafik yerine sayısal olarak ulaşılmaktadır. Bu durumda spektrum grafiğine dönüştürmeye de gerek kalmamaktadır.

Unutulmaması gereken, kapasite eğrisinin çizilmesinde, yapının birinci doğal periyotuna ve etkin olan modlara bağlı olarak uygun bir yatay yük dağılımı seçilmesi gerektiğidir. Sabit düşey yükler ve orantılı olarak artan yatay yükler altında, malzeme ve geometri değişimi bakımından doğrusal olmayan teoriye göre hesap yapılarak taban kesme kuvveti - tepe noktası yer değiştirmesi kapasite eğrisi elde edilir. Daha sonra bu eğri, birincisinin eğimi elastik rijitliği “ K_e ”, ikincisinin eğimi ise elastoplastik rijitliği “ K_s ” temsil eden iki doğru parçasından oluşacak şekilde idealleştirilir. İdealleştirme yapılırken eşit alanlar ilkesine dikkat edilmesi gerekliliği ile “ K_e ” eğimli doğrunun kapasite eğrisini kestiği noktanın ordinatının, “ K_e ” ve “ K_s ” eğimli doğruların kesiştiği noktanın ordinatının 0,60 katı olması koşulları esas alınır (Şekil 5.3).

Taban Kesme Kuvveti (V_T)



Şekil 5.3: İki doğru parçası ile kapasite eğrisinin idealleştirilmesi.

Kapasite eğrisi bu şekilde idealleştirildikten sonra, sistemin T_e etkin doğal periyodu aşağıda verilen bağıntı ile hesaplanmaktadır.

$$T_e = T_i \sqrt{\frac{K_i}{K_e}} \quad (5.3)$$

Burada T_i hesap yapılan doğrultuda yapının elastik dinamik analizi ile bulunan birinci doğal periyodunu, K_i yapının elastik yanal rijitliğini, K_e ise elastik efektif rijitliğini göstermektedir.

Yapı sisteminin T_e etkin doğal periyodu bulunduktan sonra, yapının performans kontrolünün yapılacağı hedef deplasmanı (δ_T)

$$\delta_T = C_0 C_1 C_2 S_a \frac{T_e^2}{4\pi^2} g \quad (5.4)$$

formülü ile elde edilir. (4.25) ifadesinde “g” yerçekimi ivmesini, “ T_e ” etkin doğal periyodu, “ S_a ” göz önüne alınan yapının etkin doğal periyoduna ve sönüm oranına bağlı olarak belirlenen spektral ivme katsayısını ve “ δ_t ” hedef yer değiştirmeyi temsil etmektedir. “ C_0 ”, “ C_1 ” ve “ C_2 ” taşıyıcı sistemin karakteristiğine bağlı olarak belirlenen katsayılardır [FEMA 356, 2000].

5.2. Çok Modlu Doğrusal Olmayan İtme Analizi

Yüksek mod etkilerinin önemli olabileceği yapılarda, yüksek mod etkilerinin katılımını da içeren doğrusal olmayan statik modal artımsal itme analizi yöntemi daha doğru sonuçlar vermektedir. Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi’nin amacı, taşıyıcı sistemin davranışını temsil eden yeterli sayıda titreşim mod şekli ile orantılı olacak şekilde monotonik olarak adım adım arttırılan ve birbirleri ile uygun biçimde ölçeklendiren modal yer değiştirmeler veya onlarla uyumlu modal deprem yükleri esas alınarak Mod Birleştirme Yöntemi’nin artımsal olarak uygulanmasıdır [Aydınoğlu, 2005].

5.3. DBYBHY'e Göre Doğrusal Olmayan Spektral Yerdeğiştirmenin Belirlenmesi

İtme analiz sonucunda elde edilen modal kapasite diyagramı ile birlikte, bölüm 3.1.3’e göre seçilen deprem düzeyine karşı gelen elastik davranış spektrumu göz önüne alınarak, birinci (hakim) moda ait maksimum modal yer değiştirme, diğer bir deyişle modal yerdeğiştirme istemi, $d_I^{(p)}$ doğrusal olmayan spektral yer

değiştirme S_{di1} 'e eşit alınacaktır:

$$d_I^{(p)} = S_{di1} \quad (5.5)$$

Doğrusal elastik olmayan (doğrusal olmayan) spektral yer değiştirme, S_{di1} , itme analizinin ilk adımında, doğrusal elastik davranış esas alınarak hesaplanan birinci (hakim) moda ait T_1 başlangıç periyoduna karşı gelen doğrusal elastik (doğrusal) spektral yer değiştirme S_{di1} 'e bağlı olarak aşağıdaki şekilde elde edilebilir:

$$S_{di1} = C_{R1} S_{de} \quad (5.6)$$

Burada, C_{R1} , “spektral yer değiştirme oranı”nı göstermektedir. Doğrusal elastik doğrusal spektral yer değiştirme S_{de1} , itme analizinin ilk adımında birinci moda ait elastik spektral ivme S_{ae1} 'den hesaplanır:

$$S_{de1} = \frac{S_{ae1}}{(\omega_1^{(1)})^2} \quad (5.7)$$

Burada $\omega_1^{(1)} = 2\pi / T^{(1)}$ olarak hesaplanan doğal açısal frekanstır. Denklem (5.3.1)'de gösterilen spektral yer değiştirme oranı C_{R1} , başlangıç periyodu $T^{(1)}$ 'in değerine ($T^{(1)} = 2\pi / \omega^{(1)}$) bağlı olarak aşağıdaki hususlara göre belirlenir:

a) T_1 başlangıç periyodunun, standart ivme spektrumundaki karakteristik periyot T_B ' ye eşit veya daha uzun olması durumunda ($T_1 \geq T_B$) veya $(\omega_1^{(1)})^2 \leq (\omega_B^{(1)})^2$, doğrusal elastik olmayan (nonlinear) spektral yer değiştirme S_{di1} , eşit yer değiştirme kuralı uyarınca doğal periyodu yine T_1 olan eşlenik doğrusal elastik sistem'e ait doğrusal elastik spektral yer değiştirme S_{de1} 'e eşit alınacaktır. Diğer bir deyişle denklem (4.5)'teki spektral yer değiştirme oranı aşağıdaki gibi alınabilir:

$$C_{R1} = 1 \quad (5.8)$$

Şekil 5.4'te ve onu izleyen Şekil 5.5'te birinci (hakim) titreşim moduna ait ve

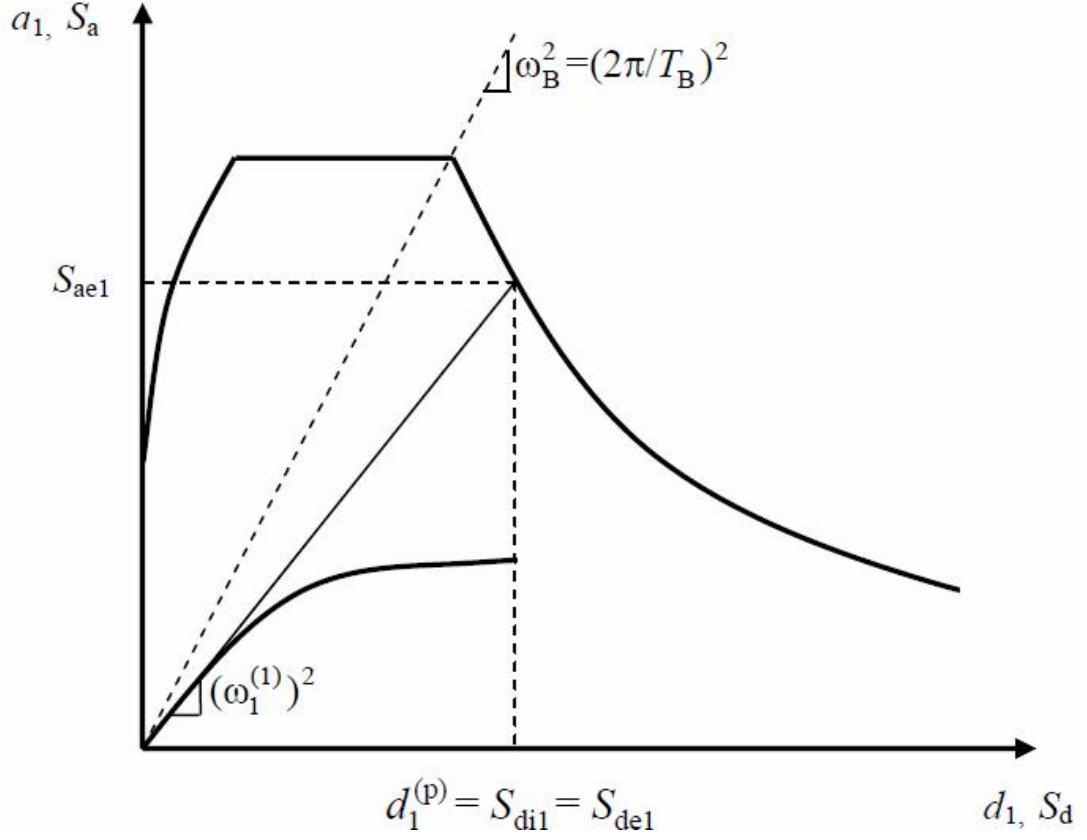
koordinatları (d_1, a_1) olan modal kapasite diyagramı ile koordinatları “spektral yer değiştirme (S_d) –spektral ivme (S_a)” olan davranış spektrumu bir arada çizilmiştir.

b) T_1 başlangıç periyodunun standart ivme spektrumundaki karakteristik periyot T_B 'den daha kısa olması durumunda ($T_1 < T_B$ veya $(\omega_1^{(1)})^2 > (\omega_B^{(1)})^2$) ise denklem (5.3.1)'deki spektral yer değiştirme oranı C_{R1} ardışık yaklaşımla aşağıdaki şekilde hesaplanacaktır.

- İtme analizi sonucunda elde edilen modal kapasite diyagramı, Şekil 5.5 (a)'da gösterildiği üzere, yaklaşık olarak iki doğrulu (bi lineer)”bir diyagrama dönüştürülür. Bu diyagramın başlangıç doğrusunun eğimi, itme analizinin ilk adımındaki ($i=1$) doğrunu eğimi olan birinci moda ait öz değere, $(\omega_1^{(1)})^2$, eşit alınır.

- İlk yaklaşımın ilk adımında $C_{R1} = 1$ kabulü yapılarak, diğer bir deyişle denklem (4.7) kullanılarak eşdeğer akma noktası'nın koordinatları eşit alanlar kuralı ile belirlenir. Şekil 5.5(a)'da görülen a_{y1}^0 esas alınarak C_{R1} aşağıdaki şekilde tanımlanabilir:

$$C_{R1} = \frac{1 + (R_{y1} - 1)T_B / T_1}{R_{y1}} \geq 1 \quad (5.9)$$

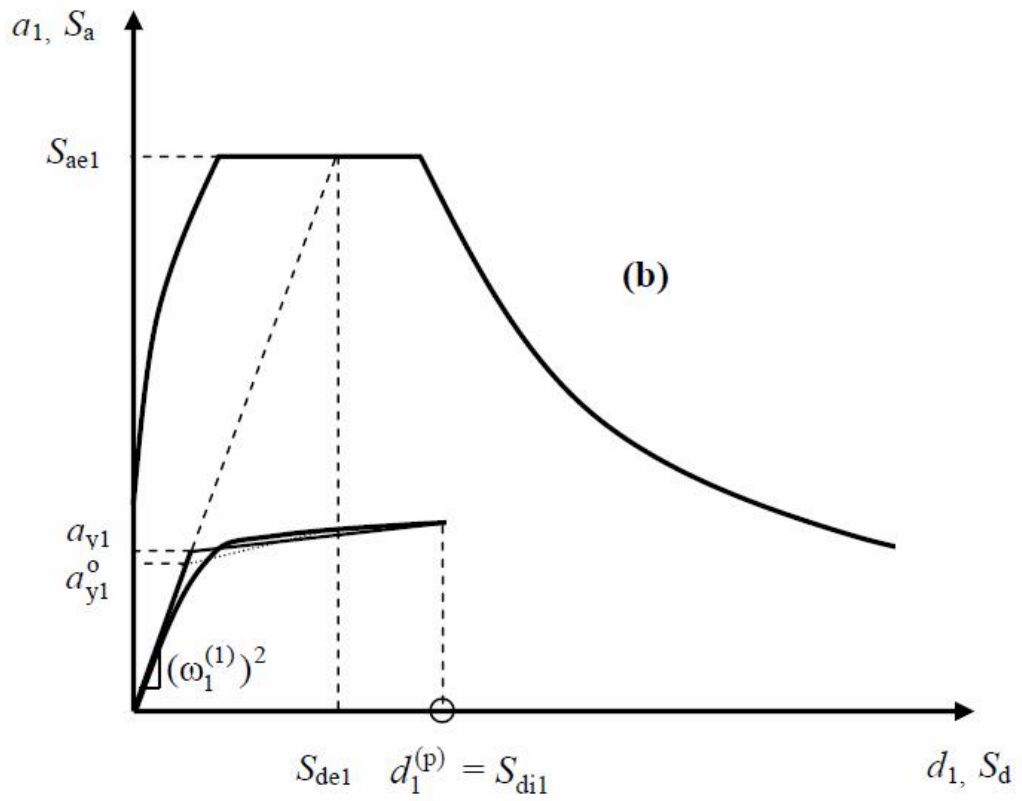
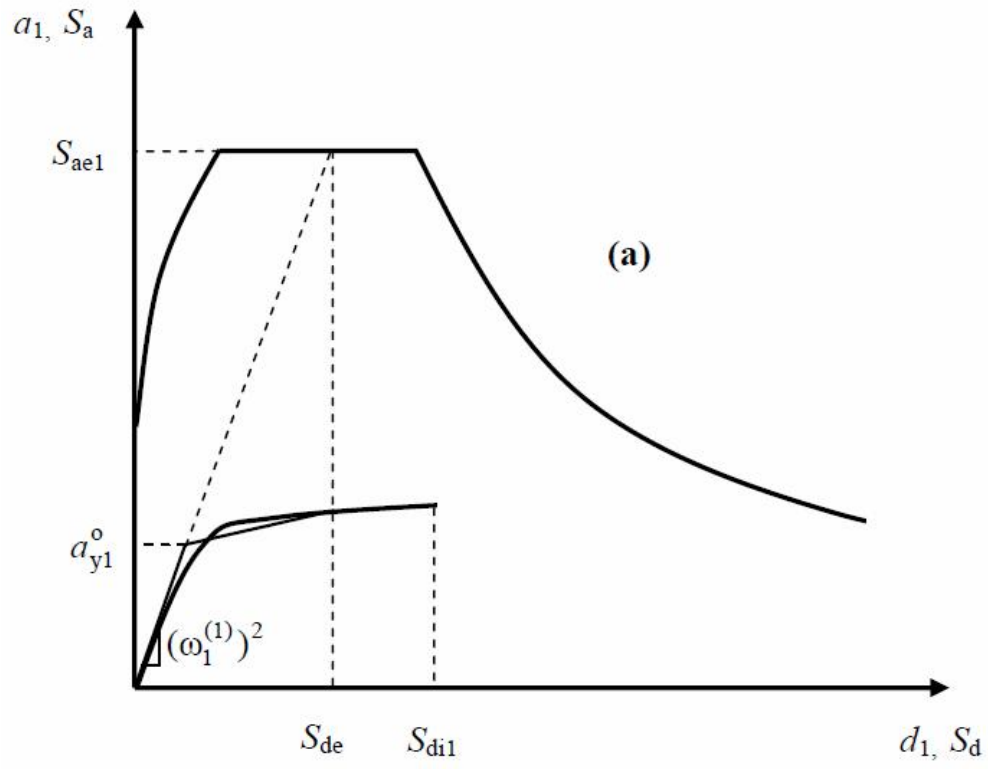


Şekil 5.4: $T_1 \geq T_B$ Olması Durumunda Doğrusal olmayan Spektral Yer değıştirmenin Belirlenmesi.

Bu bağıntıda R_{y1} birinci moda ait dayanım azaltma katsayısını göstermektedir:

$$R_{y1} = \frac{S_{ae1}}{a_{y1}} \quad (5.10)$$

- Denklem (3.8)'den bulunan C_{R1} kullanılarak Denklem (3.5)'e göre hesaplanan S_{d1} esas alınır ve eşdeğer akma noktası'nın koordinatları, Şekil 5.5 (b)'de gösterildiği üzere eşit alanlar kuralı ile yeniden belirlenir ve bunlara göre a_{y1} , R_{y1} ve C_{R1} tekrar hesaplanır. Ardışık iki adımda elde edilen sonuçların kabul edilebilir ölçüde birbirlerine yaklaştıkları adımda ardışık yaklaşıma son verilir.



Şekil 5.5: $T_1 < T_B$ Olması Durumunda Doğrusal Olmayan Yer Değiştirmenin Belirlenmesi.

6. SAYISAL ÖRNEK

Bu çalışmada kullanılan örnek, 5 katlı bir okul binasıdır. Bu bina ve özellikleri esas alınarak 3 ve 7 katlı iki bina daha modellenmiştir. Böylece farklı yükseklik ve benzer özellikte üç tane model oluşturulmuştur.

6.1. Geometri ve Malzeme Bilgisi

Yapılardaki kolon, perde duvar ve kiriş boyutları ve döşeme kalınlıkları Tablo 1’de özetlenmiştir. Düşey taşıyıcı yapı elemanlarının kesitleri yükseklik boyunca sabittir. Binalar; 3, 5 ve 7 katlıdır ve kat yükseklikleri 3,5 m’dir. Bina içinden alınan numune örneklerinin değerlendirilmesi sonucu mevcut beton sınıfının C14 olduğu belirlenmiştir. Buna karşılık gelen elastisite modülü, Türk Betonarme Standartları’na (TS500) göre 2.615×10^7 kN/m²’dir. Yapı elemanlarında kullanılan donatı çeliği sınıfı S420 olarak belirlenmiştir. Tablo 2’de bina elemanlarında bulunan donatı miktarları belirtilmiştir. Kat kütleleri zati ağırlıkları (G) ve hareketli yükün %30’u (Q) alınarak hesaplanmıştır. Binanın kütle merkezi her düğüm noktasındaki kütle dağılımı baz alınarak hesaplanmıştır. Örnek binanın 3-boyutlu modelinin oluşturulması ve yapısal analizi amacıyla Probina Orion 2011 yazılımı kullanılmıştır. Bu yazılımda kullanılan kabuk elemanları Wilson (2002) tarafından önerilen formülasyonlara dayanmaktadır.

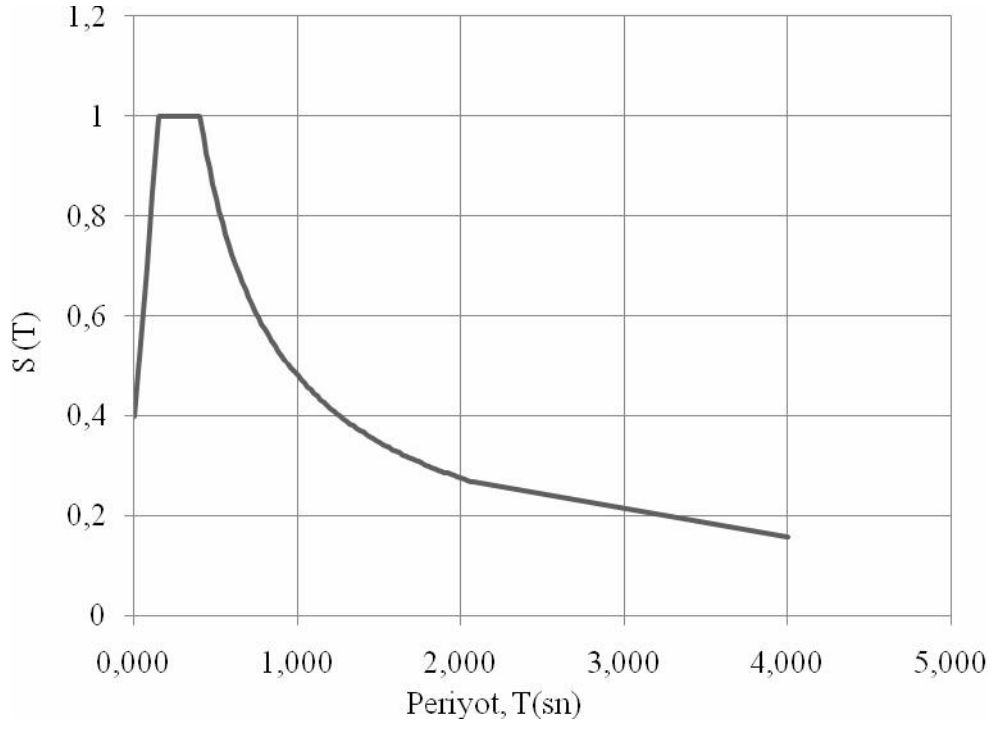
Tablo 6.1: Örnek binanın eleman boyutları.

	Boyutlar (mm)	
	En	Boy
Kolonlar	300	600
Perdeler	250	3250
	250	5250
Kirişler	250	600
Döşemeler	120	

Tablo 6.2: Örnek bina elemanlarında bulunan donatı.

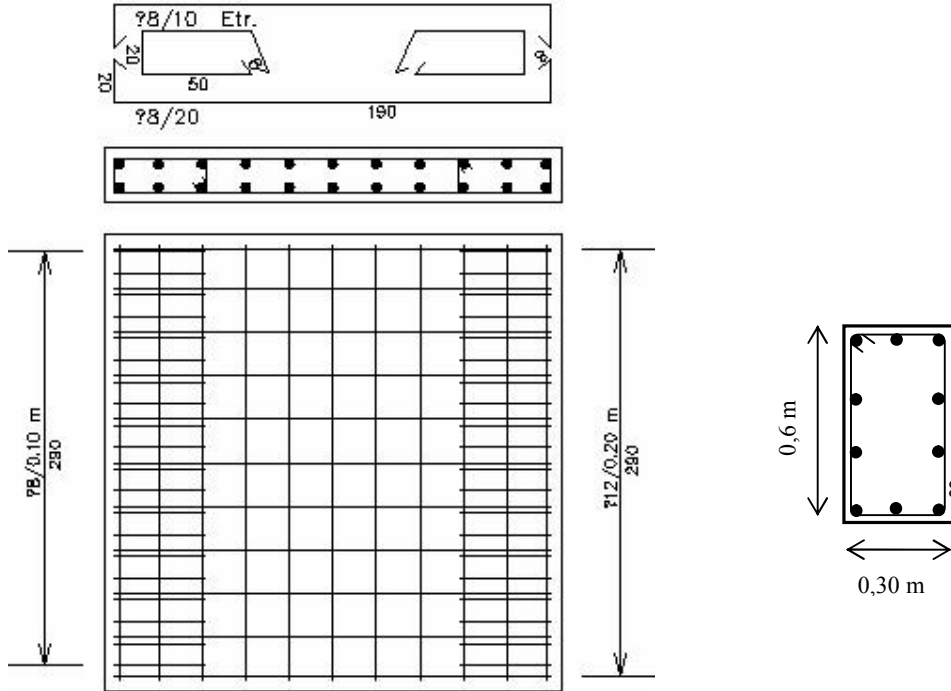
	Donatılar (mm)				
	Boyuna	Enine	Etriye	Alt	Üst
Kolonlar	8Ø16		Ø8/20		
Perdeler	Ø12/20	Ø12/20	Ø8/10		
Kirişler				%0.8	%0.4

Bina, birinci derece deprem bölgesinde bulunmaktadır ($A_0=0.40$). Yerel zemin sınıfı Z2 ($T_A=0.15$, $T_B=0.40$), bina önem katsayısı (I) 1,5 olarak kullanılmıştır. Bu değerler ışığında, tasarım spektrumu DDYBHY (2007) esaslarına göre hesaplanmıştır. Şekil 6.1'de elde edilen tasarım ivme spektrumu eğrisi gösterilmiştir.



Şekil 6.1: Tasarım ivme spektrumu (1. derece deprem bölgesi, Z2 sınıfı zemin).

Örnek binadaki kolon ve perde duvarlarda bulunan donatı dağılımı Şekil 6.2’de gösterilmiştir.



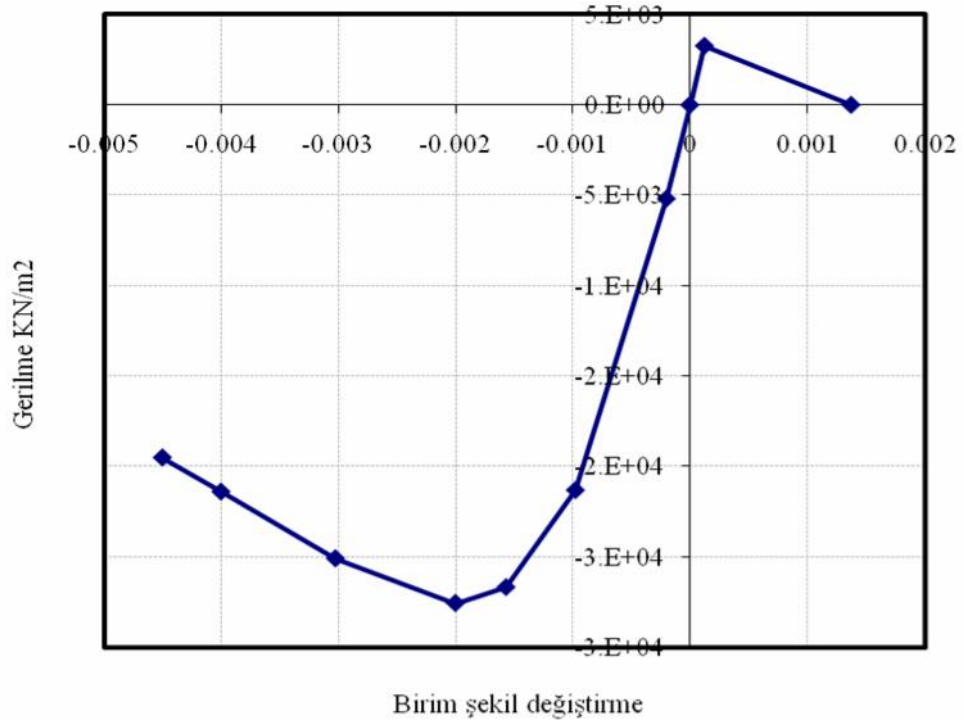
Şekil 6.2: Başlıklı perde ve kolon elemanlarında donatı dağılımının örneği.

34

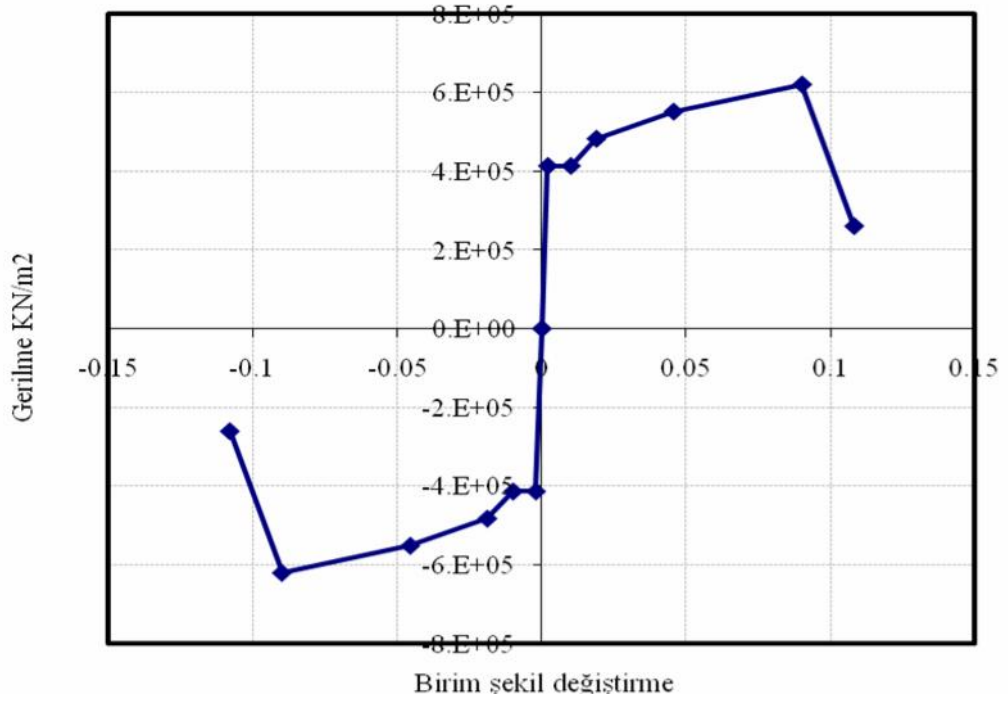
6.2. Perdelerin Modellenmesi

Bu örnekte, perde duvarlar farklı teknikler ile modellenerek 3 ayrı analiz modeli oluşturulmuştur:

- Perde duvarlar çok katmanlı kabuk elemanlar ile modellenmiştir; 3.25 m ve 5.25 m genişliğindeki perdelerde 75x87 ve 83x87 cm ağ (mesh) boyutlarına sahip kabuk elemanlar kullanılmıştır. Doğrusal olmayan çok katmanlı malzeme modelinde, Mander gerilme-birim şekil değiştirme ilişkisi (Mander ve ark., 1988) gözönüne alınarak, basınç gerilmesinin maksimum gerilmeye oranının 0.002 ve maksimum gerilmenin 0.005 olduğu beton modeli benimsenmiştir (Şekil 6.4). Kinematik doğrusal olmayan model ise, donatı çeliğinin pekleşme başlangıcındaki şekil değiştirmesi 0.01; en yüksek gerilim kapasitesi 0.09 olacak şekilde seçilmiştir (Şekil 6.5). Her iki yöndeki enine ve boyuna donatı, ayrı birer katman olarak kabul edilmiştir. Kesitteki üst ve alt donatının etkisini gözönüne alabilmek için her yönde iki katman kabul edilmiştir.



Şekil 6.4: Örnek bina için doğrusal olmayan malzeme -beton- modeli.

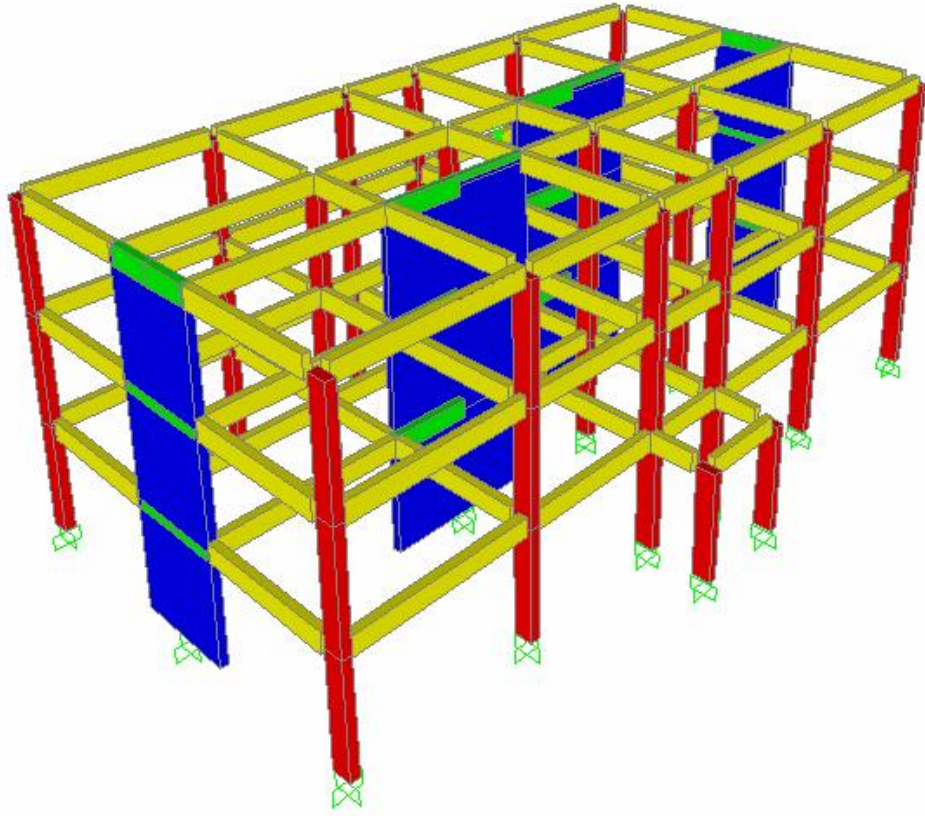


Şekil 6.5: Örnek bina için doğrusal olmayan malzeme – donatı çeliği modeli.

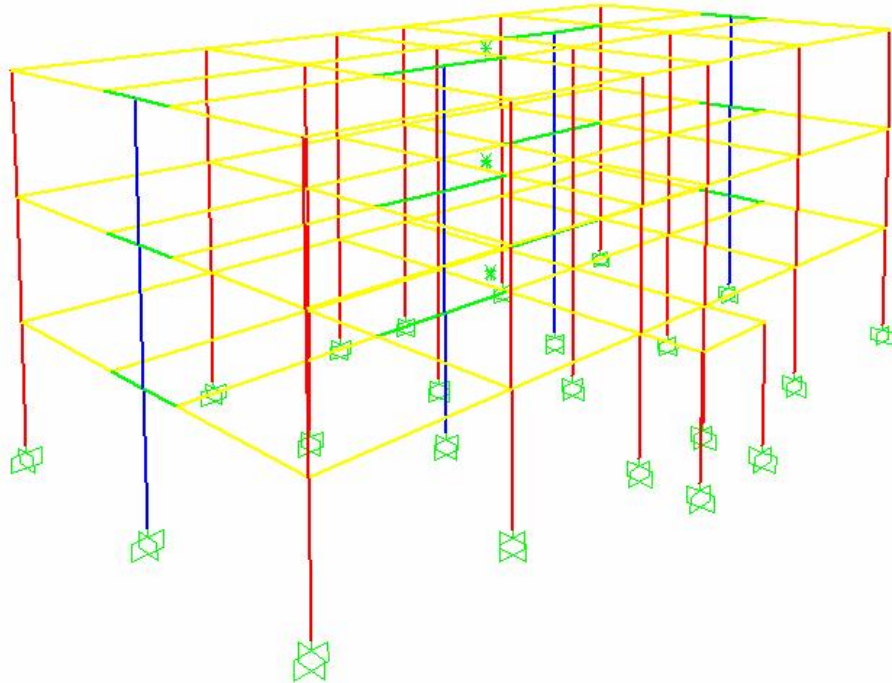
- Perde duvarlar, FEMA 356'ya göre tanımlanan plastik mafsallı atanmış orta-dikme çerçevesi kullanılarak modellenmiştir. Orta-dikme, perde duvarın kesit özelliklerine sahip çerçeve elemanı olarak modellenmiştir. Dikdörtgen rijit kiriş kesitinin kalınlığı duvarın kendisiyle aynı olarak görülebilir. Plastik P-M-M mafsallarının özellikleri FEMA 356'ya göre Tablo 2'de verilmiş donatı çeliği dağılımı ile tanımlanmıştır. Eksenel kuvvet seviyesi hareketli ve ölü yüklerin ($G+0.3Q$) bir birleşiminden edilmiştir. Enine donatı yeterli sargılamayı sağlamamaktadır.

- Perde duvarların kesit özellikleri dikkate alınarak fiber modelleri oluşturulmuştur. Orta dikme elemanlarına bu fiber modeli kullanan plastik mafsallar tanımlanmıştır. Orta-dikme elemanı, Model-2'de olduğu gibi perde duvarın kesit özelliklerine sahip çerçeve elemanları kullanılarak modellenmiştir. Fiber model kullanan plastik mafsallar Model-1'de tarif edilen donatı çeliği dağılımını kullanarak oluşturulmuştur. Beton ve donatı çeliğine ait doğrusal olmayan malzeme modelleri, Model-1'de olduğu gibi Mander ve Kinematik model olarak kullanılmıştır.

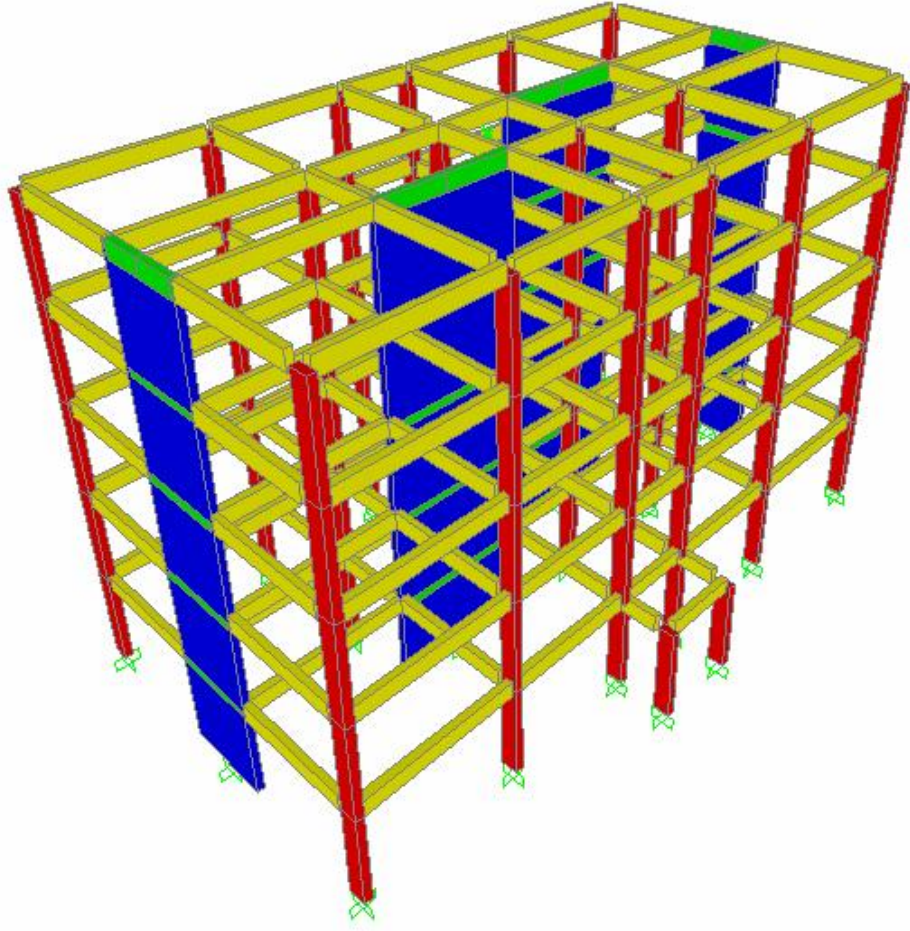
Aşağıda FEMA 356'ya göre modellenen, 3, 5 ve 7 katlı örnek binaların fiziksel ve analitik modelleri görülmektedir.



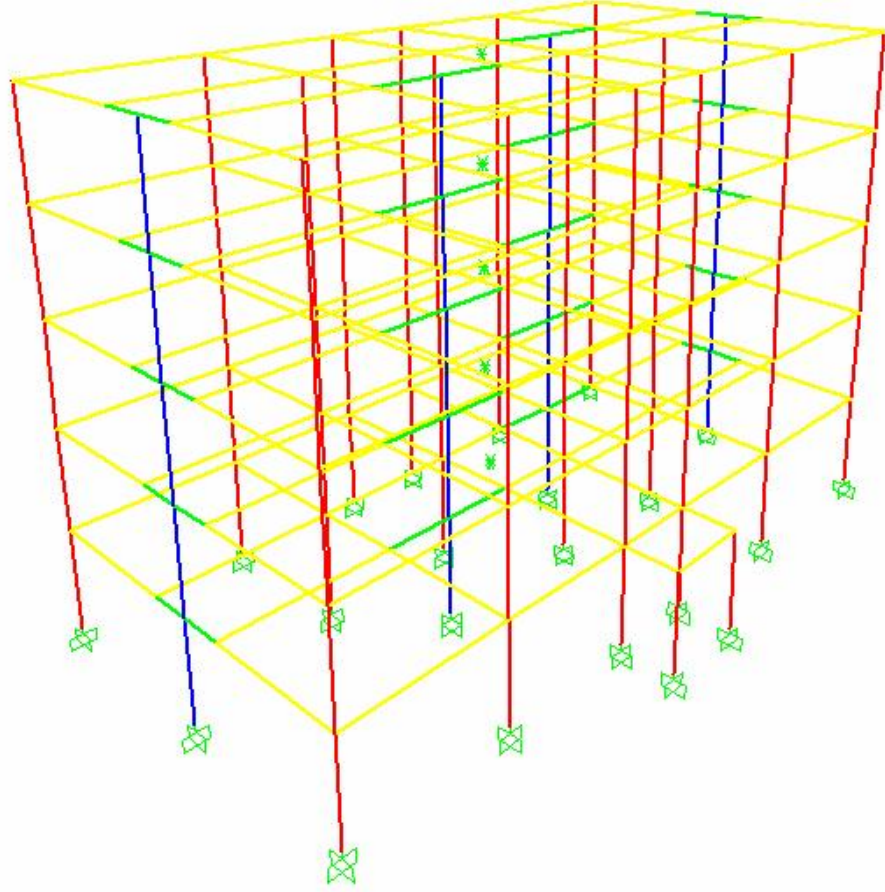
Şekil 6.6: FEMA 356 modeli 3 katlı örnek binanın 3 boyutlu fiziksel modeli.



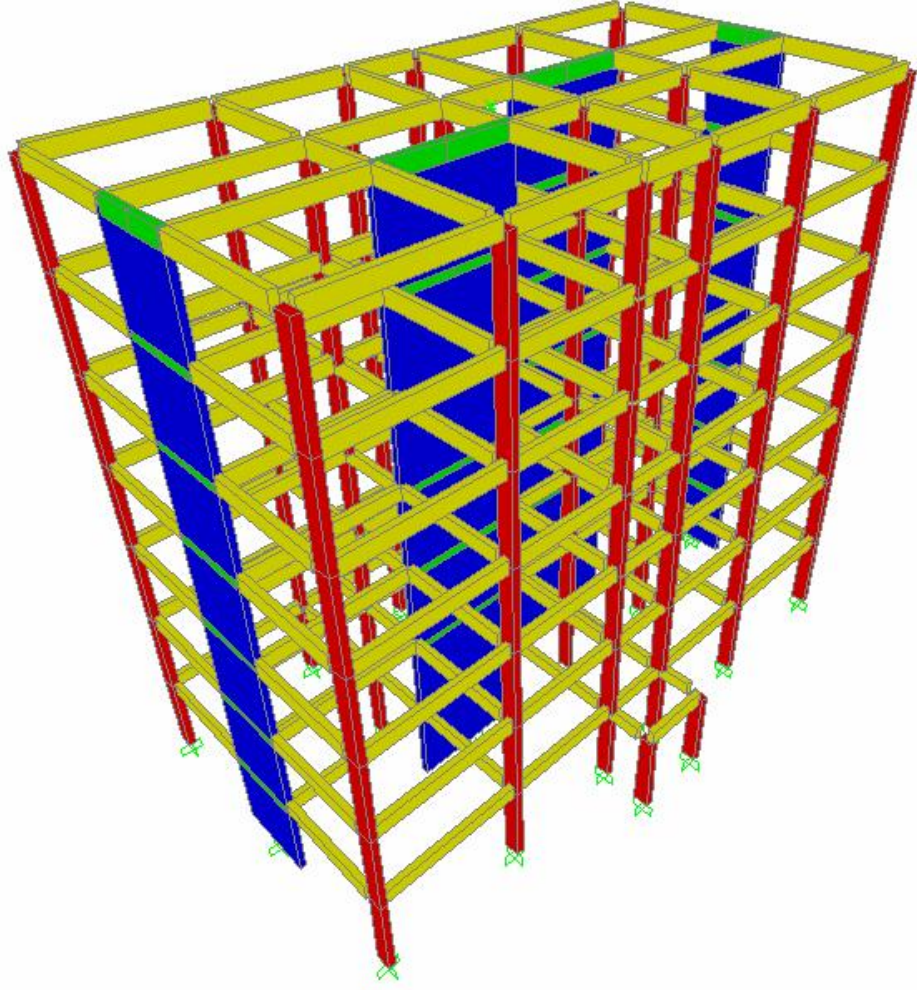
Şekil 6.7: FEMA 356 modeli 3 katlı örnek binanın 3 boyutlu analitik modeli.



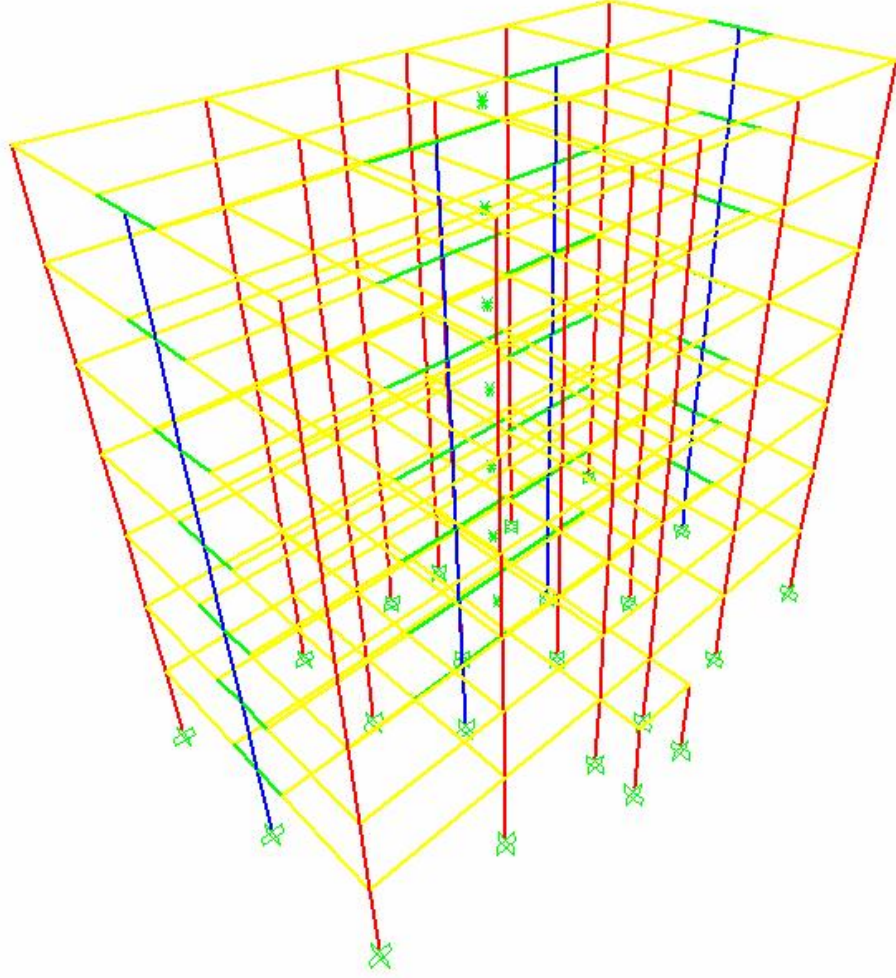
Şekil 6.8: FEMA 356 modeli 5 katlı örnek binanın 3 boyutlu fiziksel modeli.



Şekil 6.9: FEMA 356 modeli 5 katlı örnek binanın 3 boyutlu analitik modeli.

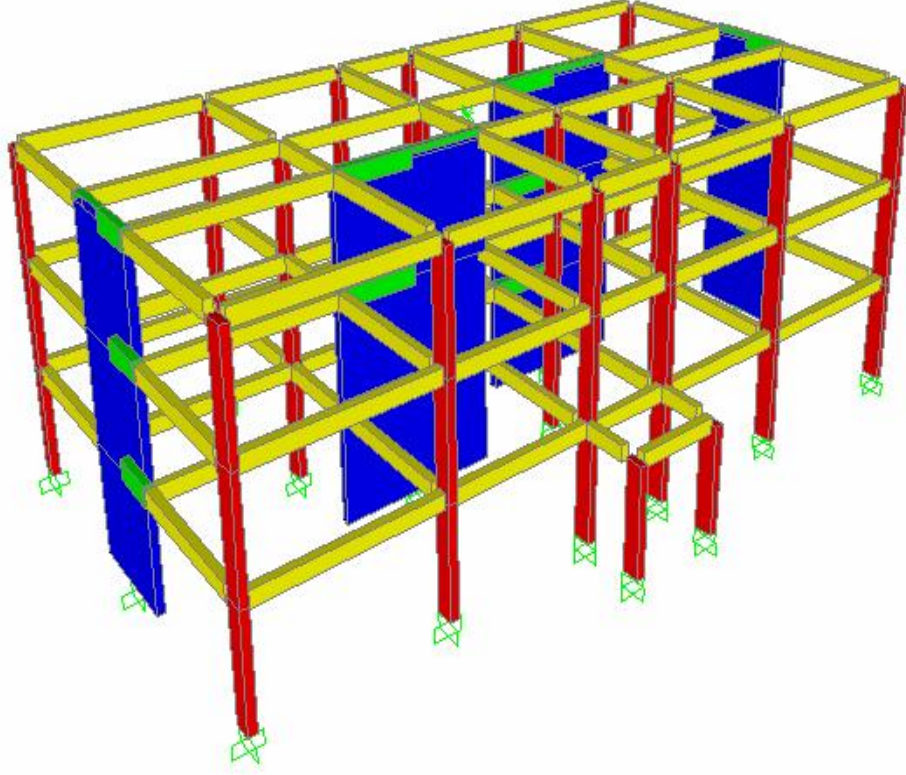


Şekil 6.10: FEMA 356 modeli 7 katlı örnek binanın 3 boyutlu fiziksel modeli.

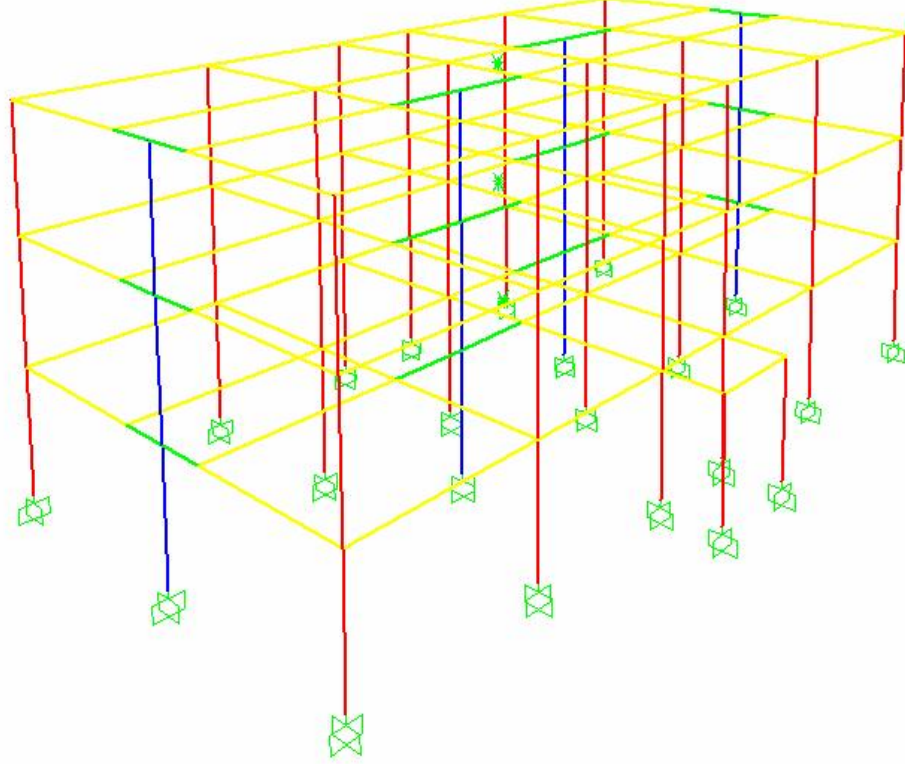


Şekil 6.11: FEMA 356 modeli 7 katlı örnek binanın 3 boyutlu analitik modeli.

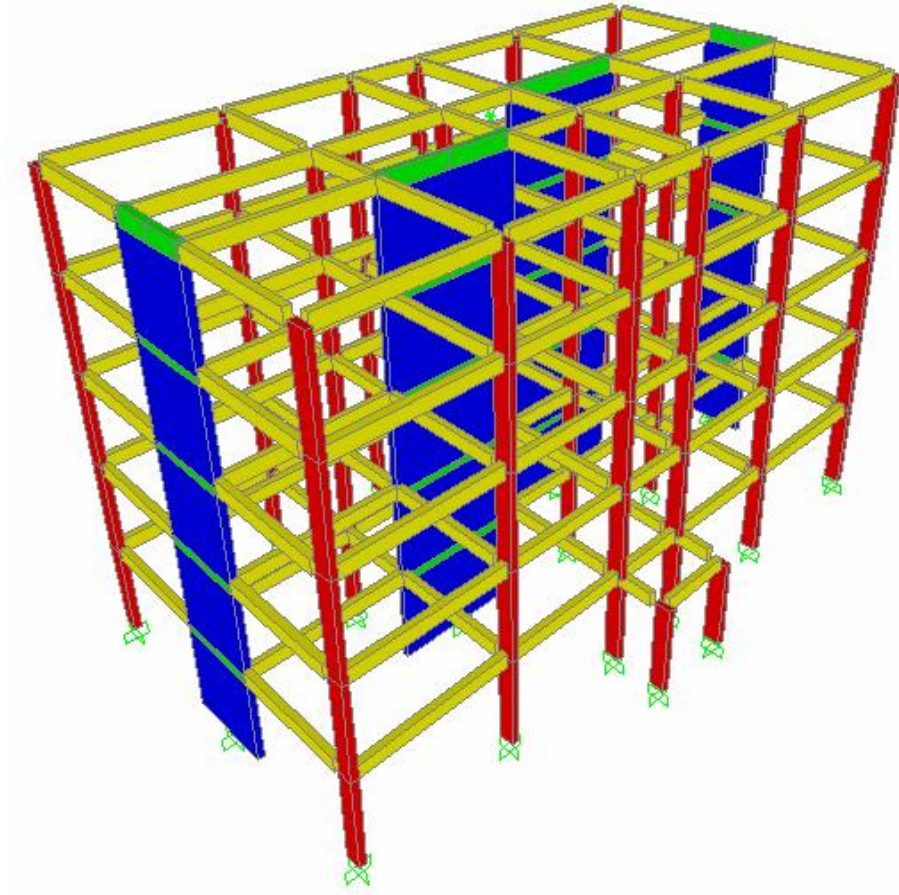
Aşağıda fiber modele sahip, 3, 5 ve 7 katlı örnek binaların fiziksel ve analitik modelleri verilmiştir.



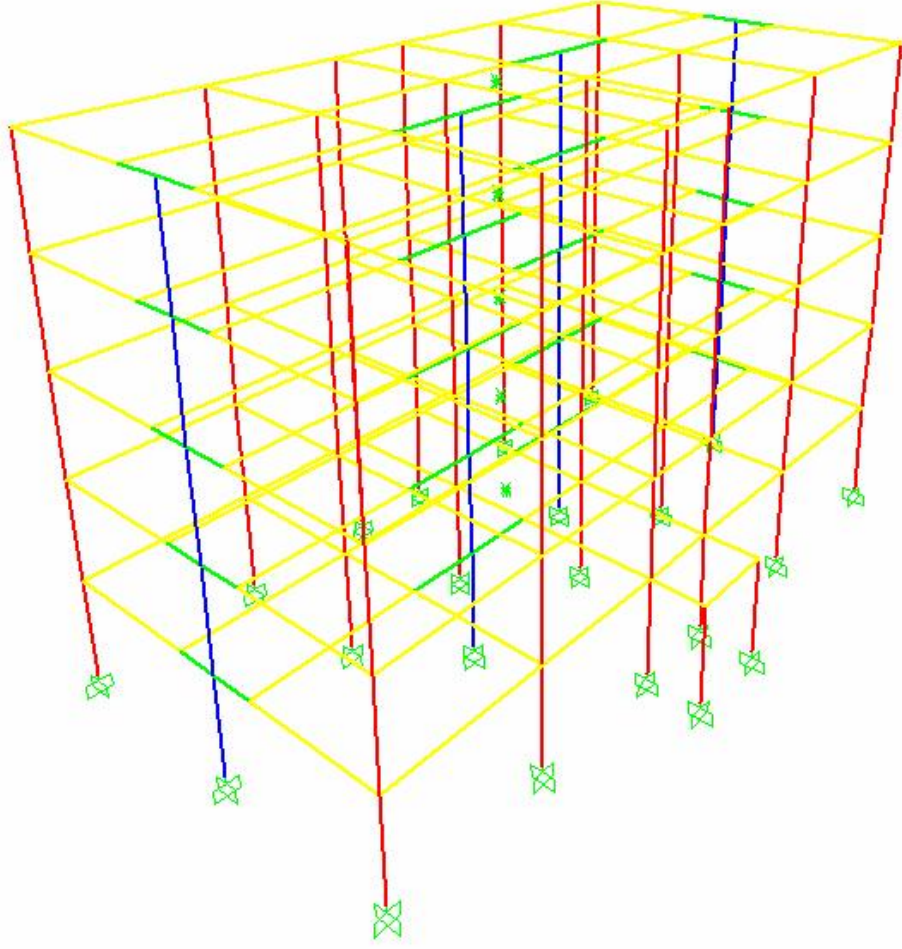
Şekil 6.12: Fiber modeli 3 katlı örnek binanın 3 boyutlu fiziksel modeli.



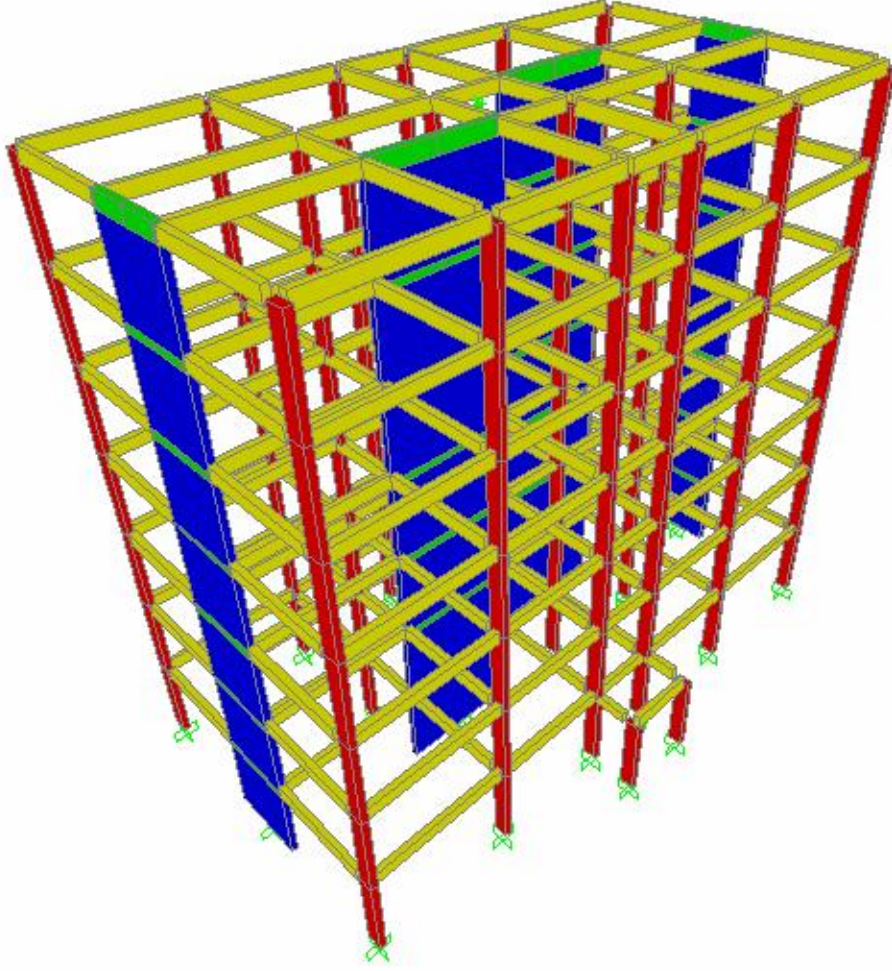
Şekil 6.13: Fiber modeli 3 katlı örnek binanın 3 boyutlu analitik modeli.



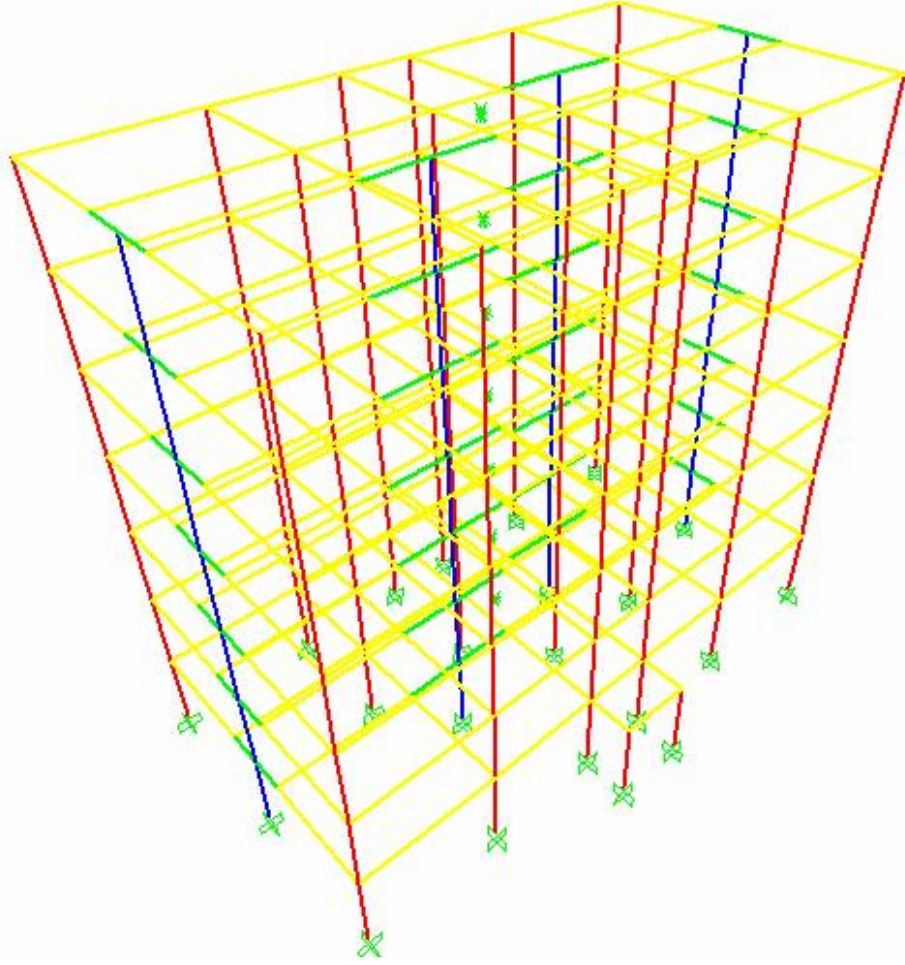
Şekil 6.14: Fiber modeli 5 katlı örnek binanın 3 boyutlu fiziksel modeli.



Şekil 6.15: Fiber modeli 5 katlı örnek binanın 3 boyutlu analitik modeli.

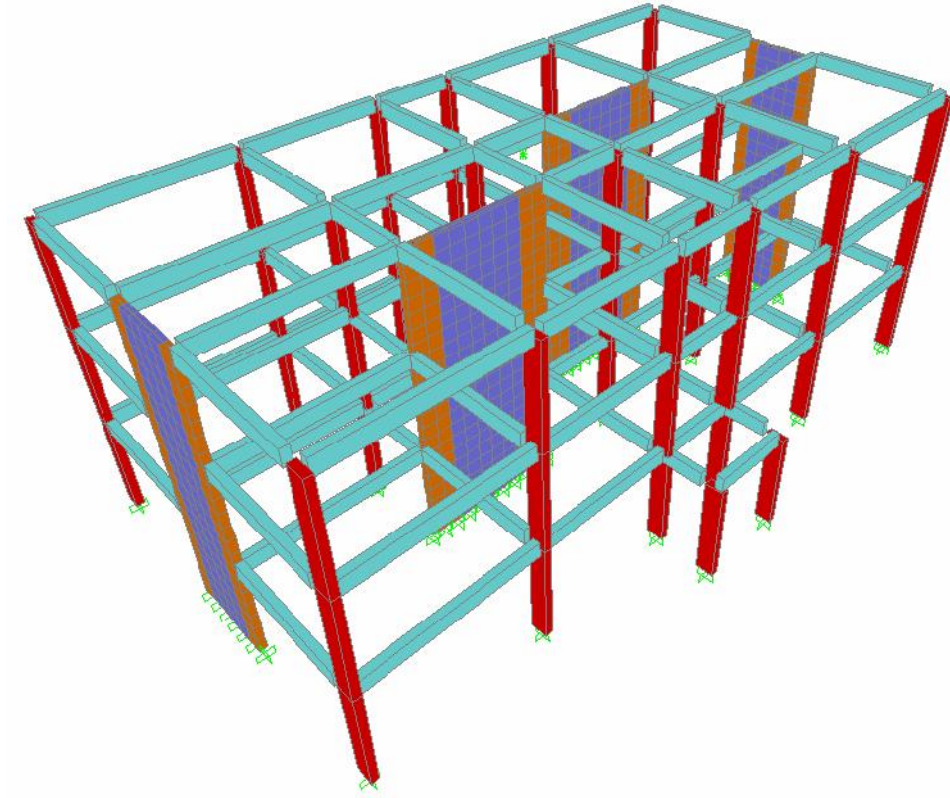


Şekil 6.16: Fiber modeli 7 katlı örnek binanın 3 boyutlu fiziksel modeli.

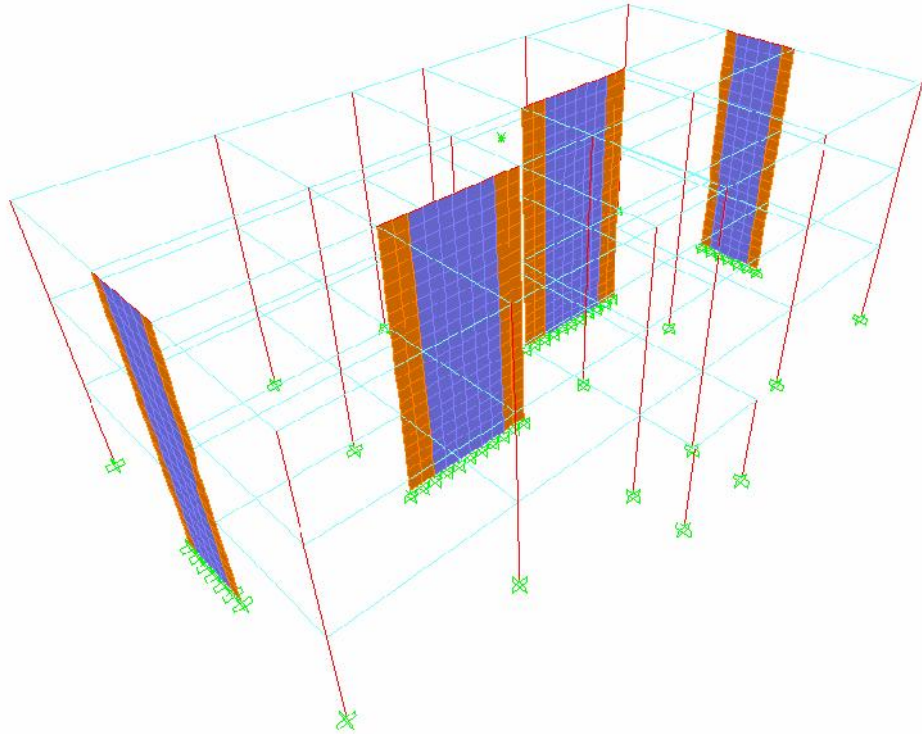


Şekil 6.17: Fiber modeli 7 katlı örnek binanın 3 boyutlu analitik modeli.

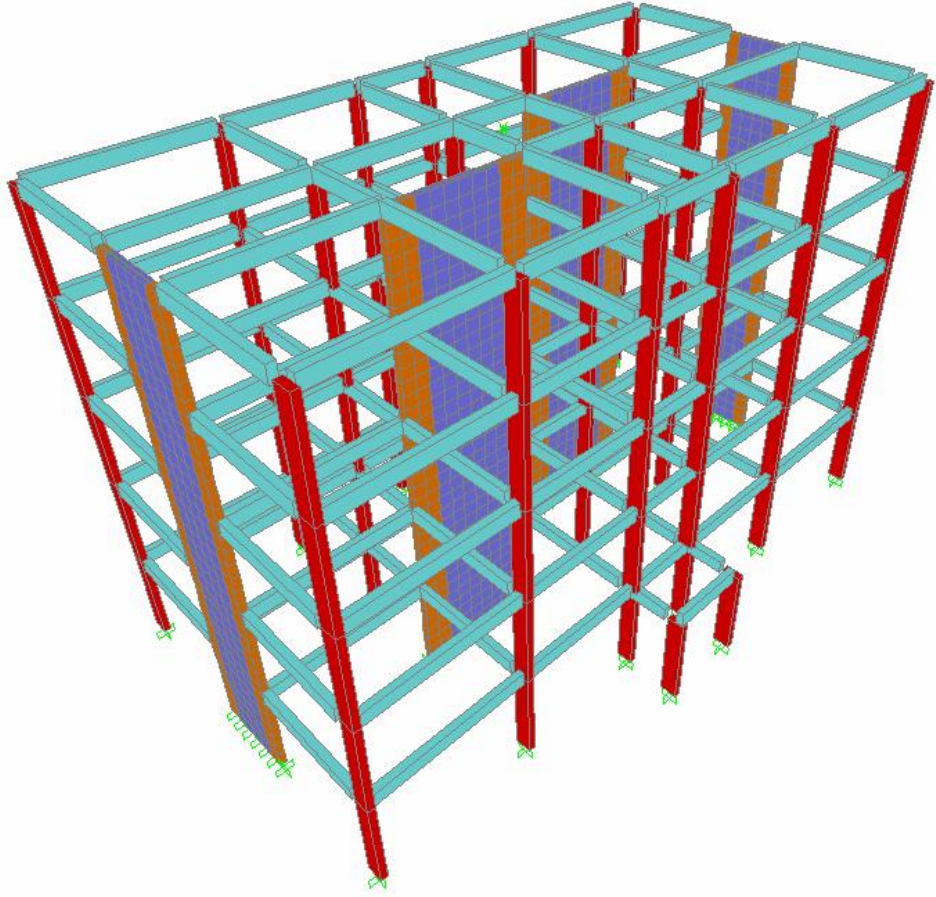
Aşağıda çok katmanlı modele sahip, 3, 5 ve 7 katlı örnek binaların fiziksel ve analitik modelleri verilmiştir.



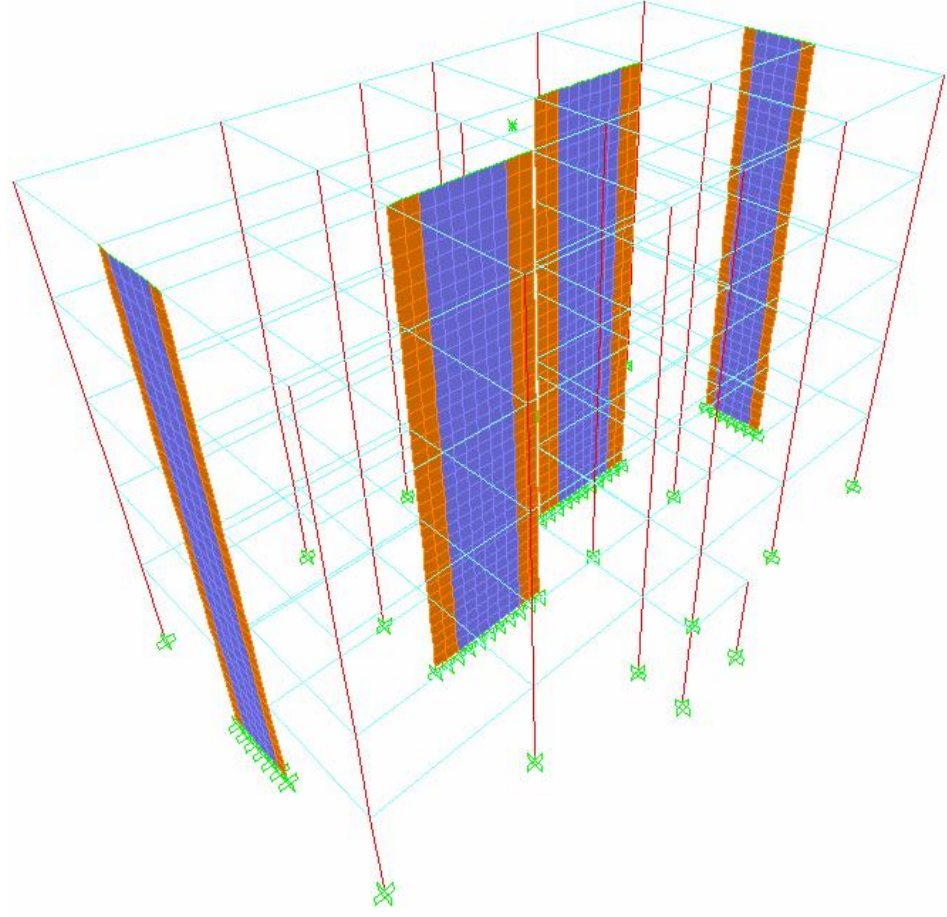
Şekil 6.18: Çok katmanlı modeli 3 katlı örnek binanın 3 boyutlu fiziksel modeli.



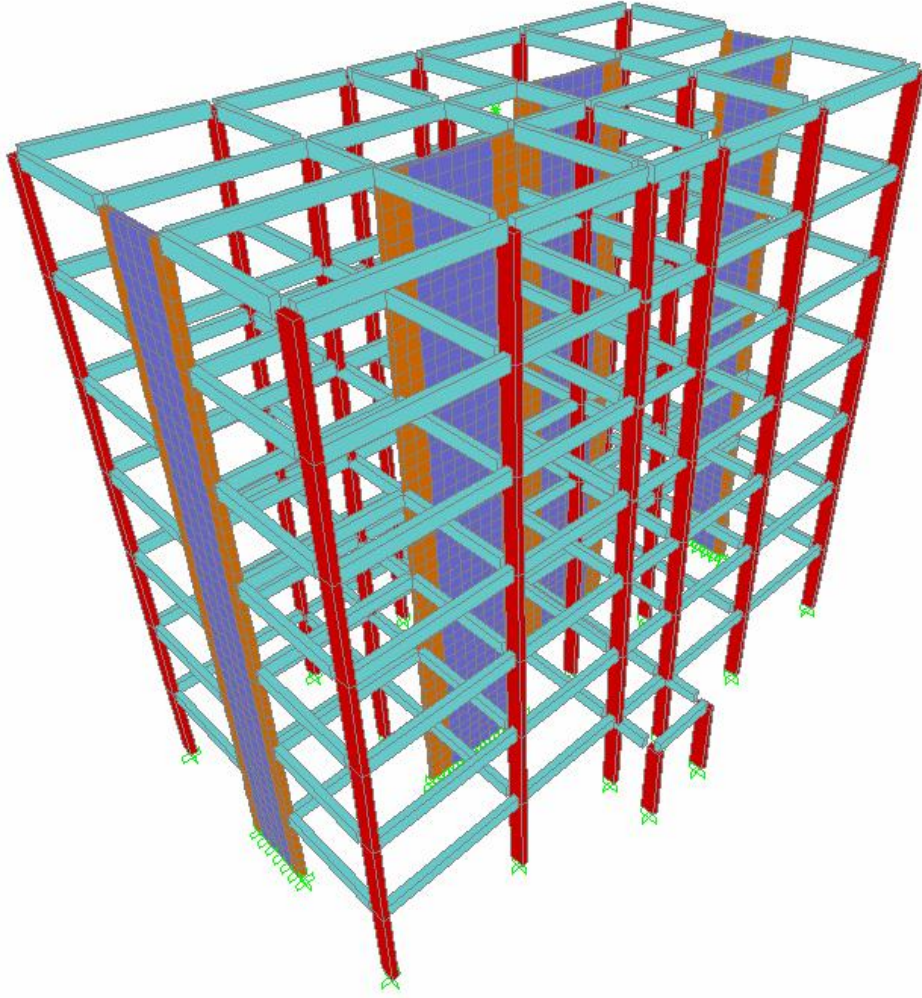
Şekil 6.19: Çok katmanlı modeli 3 katlı örnek binanın 3 boyutlu analitik modeli.



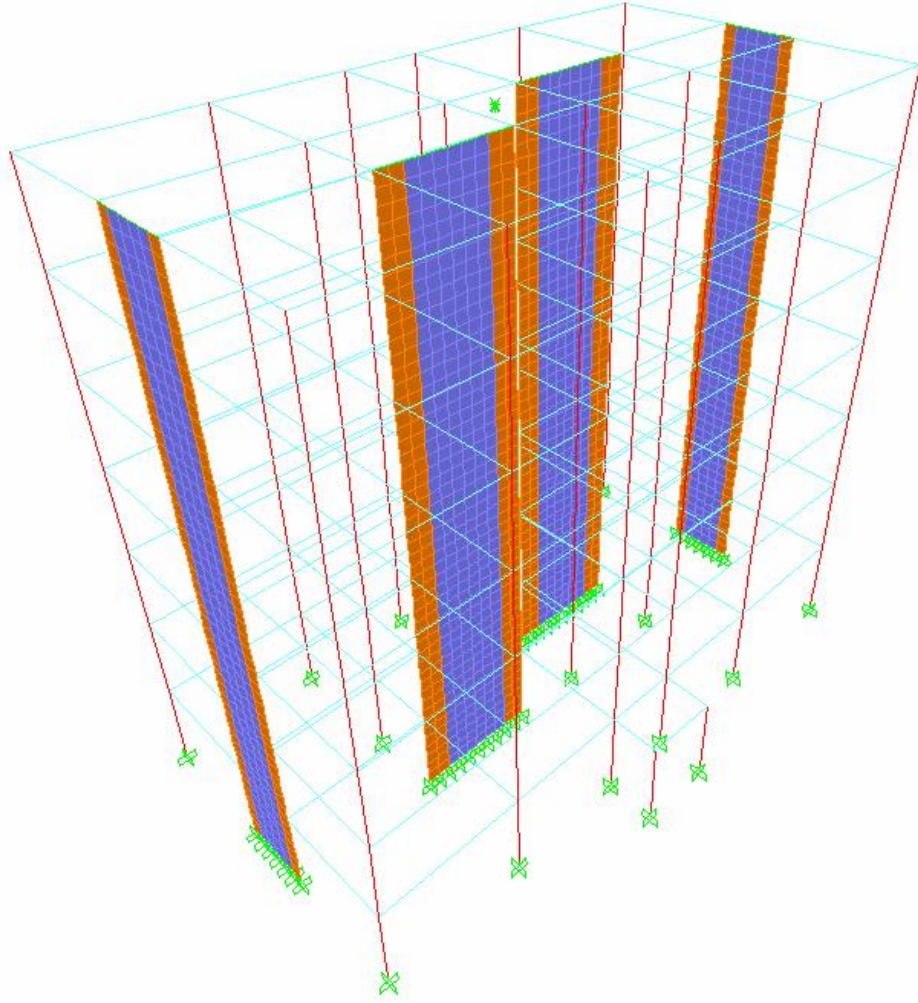
Şekil 6.20: Çok katmanlı modeli 5 katlı örnek binanın 3 boyutlu fiziksel modeli.



Şekil 6.21: Çok katmanlı modeli 5 katlı örnek binanın 3 boyutlu analitik modeli.



Şekil 6.22: Çok katmanlı modeli 7 katlı örnek binanın 3 boyutlu fiziksel modeli.



Şekil 6.23: Çok katmanlı modeli 7 katlı örnek binanın 3 boyutlu analitik modeli.

6.3. Modellere Doğrusal Olmayan Statik İtme Analizi Yöntemi Uygulanması

Önerilen üç perde, ürettiği sonuçları ve davranışlarını incelemek için, doğrusal olmayan statik analiz (artımsal itme) yöntemi ile analiz edilmiştir. Artımsal itme analizinde yapıya hakim titreşim modu ile uyumlu statik bir yatay yük deseni uygulanmış ve bu yük deseni adım adım artırılarak yapı kararsız duruma geçinceye kadar itilmiştir. Her itme adımında, yapının kritik bölgelerinde aktifleşen plastik mafsalları not edilmiş, mafsal oluşum mekanizmaları gözlemlenmiştir. Her adımda elde edilen tepe yerdeğiştirmesi ve taban kesme kuvveti itme eğrisi olarak çizilebilir. Tasarım spektrumu ile tanımlanmış, belirli deprem yükü seviyesi altındaki binaların performansını incelemek için, performans noktası kavramı kullanılmaktadır. FEMA 356 ve ATC40'nın performans noktasını hesaplamak için farklı yaklaşımları vardır.

Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY, 2007), eşit yer değiştirme kuralına cevap veren bir performans noktası hesabı önerir.

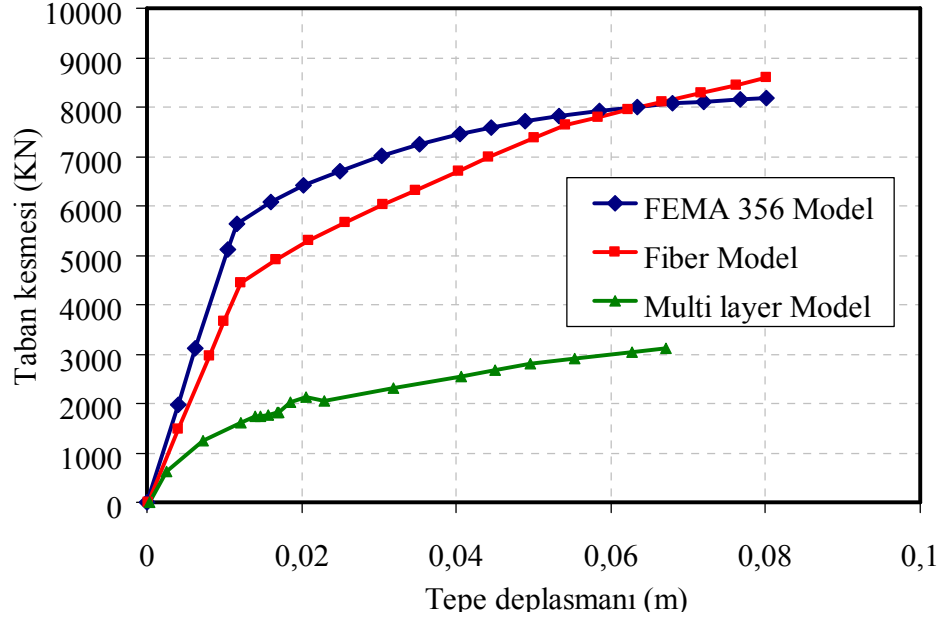
Oluşturulan bu farklı modellerin doğrusal olmayan analizleri SAP2000 (CSI, 2009) kullanılarak yapılmıştır. Kolonlarda doğrusal olmayan özellikler P-M-M mafsalları yardımıyla tanımlanmıştır. Kirişler için ise eksenel yükle etkileşimsiz moment mafsalları yeterli olmaktadır. Plastik mafsallar, Tablo 2’de verilen donatı dağılımı ile FEMA 356’ya göre tanımlanmıştır. Mafsallar hazırlanırken kolonlardaki eksenel kuvvet ve kirişlerdeki kesme kuvveti, hareketli ve ölü yüklerin ($G+0.3Q$) kombinasyonundan hesaplanmıştır. Enine donatı gerekli sargılama koşullarını sağlamamaktadır.

Başlıklı perde duvarlara sahip modellere ait artımsal itme eğrileri Şekil 6.24., 6.25. ve 6.26.’da verilmektedir. Performans noktasını hesaplamak için, sistemin tipik modal karakteristiklerinden yola çıkılarak artımsal itme eğrileri kapasite eğrilerine dönüştürülmüştür. Tüm modeller için TDY (2007) prosedürüne göre hesaplanan performans noktası değerleri Tablo 3’te özetlenmiştir. Başlıklı perde duvarlara sahip betonarme bina modellerinde hesaplanan görece kat öteleme oranları Şekil 6.36., 6.37. ve 6.38.’de verilmiştir. Çok katmanlı kabuk ve orta-dikme çubuk modelleri için başlıklı perde duvarlara sahip modellerdeki kolon ve kirişlerde performans noktası isteminde oluşan plastik mafsalları durumları ise Şekil 6.39.’dan 6.47’ye kadar olan şekillerde gösterilmiştir.

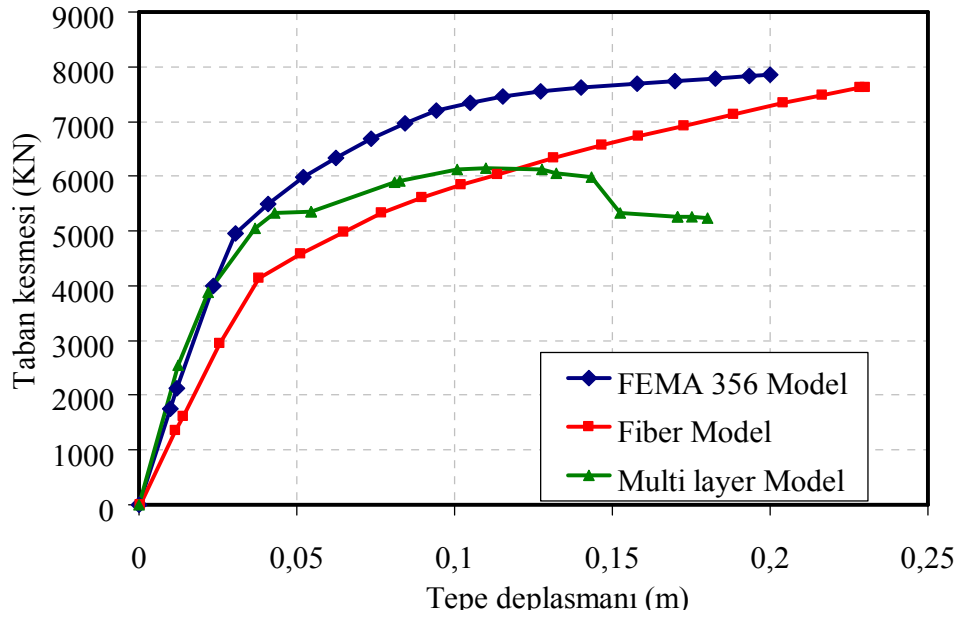
6.3.1. İtme Eğrileri

Doğrusal olmayan statik analiz (artımsal itme) yöntemi ile itilen binalardan her adımda elde edilen tepe yerdeğiştirmesi ve taban kesme kuvveti değişimlerini gösteren itme eğrileri elde edilmiştir. Statik itme eğrisi, tamamen sistemin özelliklerine bağlı olup, taşıyıcı sistemin doğrusal olmayan davranışla karşıladığı yatay kuvvet altında oluşan yatay yer değiştirme ile arasındaki ilişkiyi gösterir. Statik itme eğrisinde yatay kuvvet arttıkça plastik şekil değiştirmeler ve yatay yerdeğiştirmeler büyümekte ve sistemde hasar artarak ortaya çıkmaktadır. Bu eğrinin adımlarında kesitlerde plastik mafsalların ortaya çıkış sırasının izlenmesi, sistemin davranışının belirlenmesi bakımından önemli bilgiler içerir.

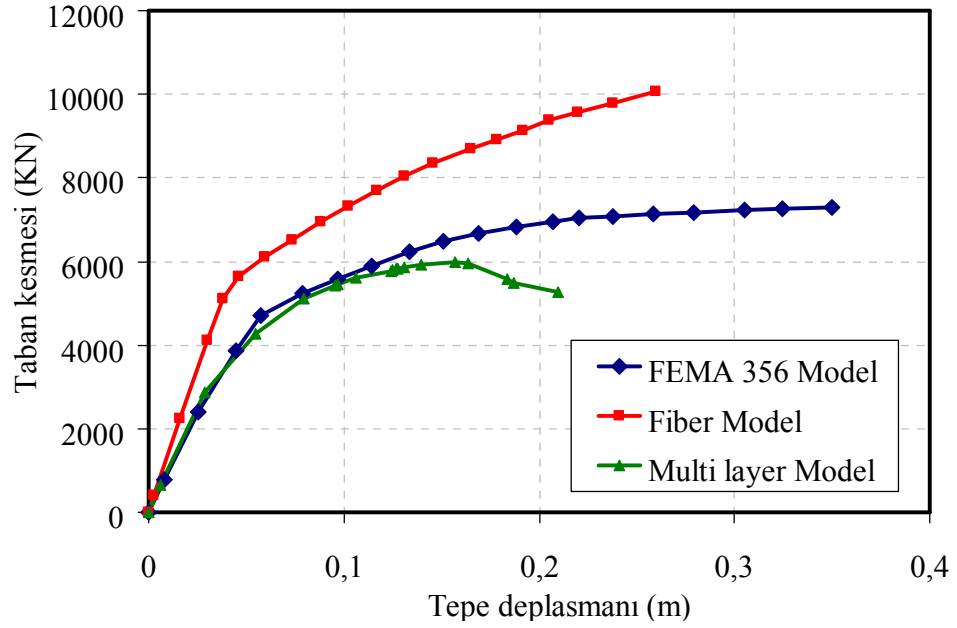
Her bir bina için elde edilen itme eğrileri aşağıda verilmiştir.



Şekil 6.24: Farklı başlıklı perde modelleri kullanan 3 katlı betonarme binalar için itme eğrileri.



Şekil 6.25: Farklı başlıklı perde modelleri kullanan 5 katlı betonarme binalar için itme eğrileri.

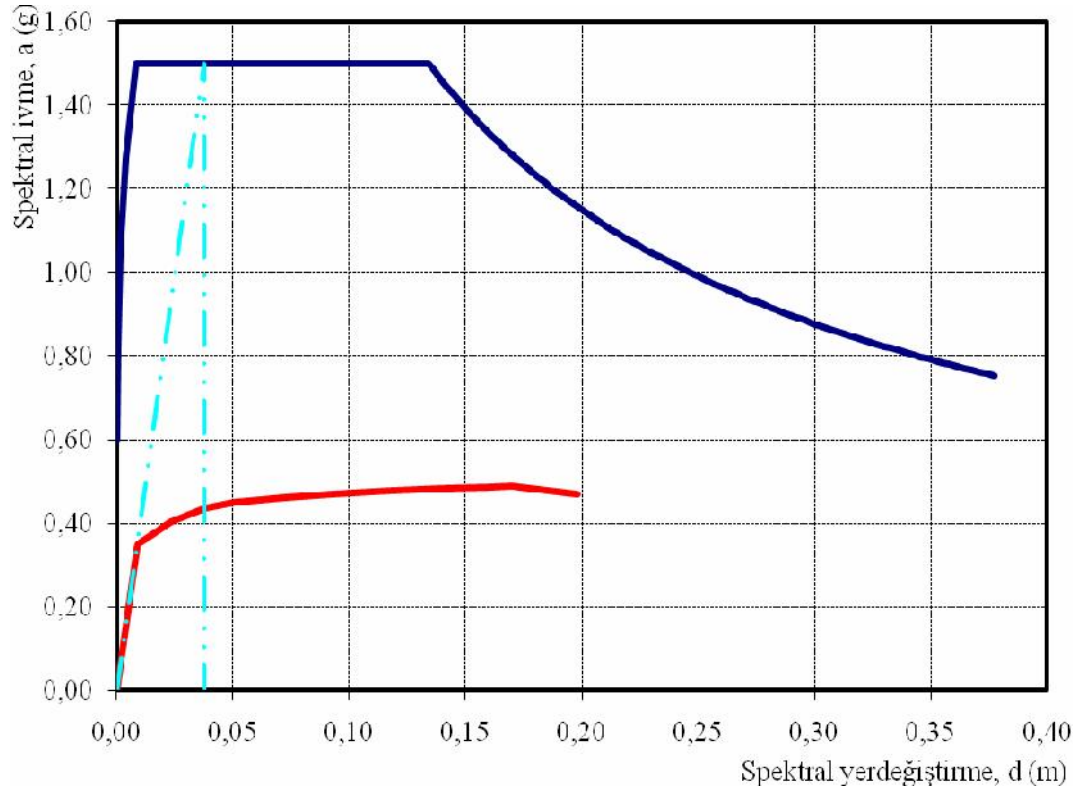


Şekil 6.26: Farklı başlıklı perde modelleri kullanan 7 katlı betonarme binalar için itme eğrileri.

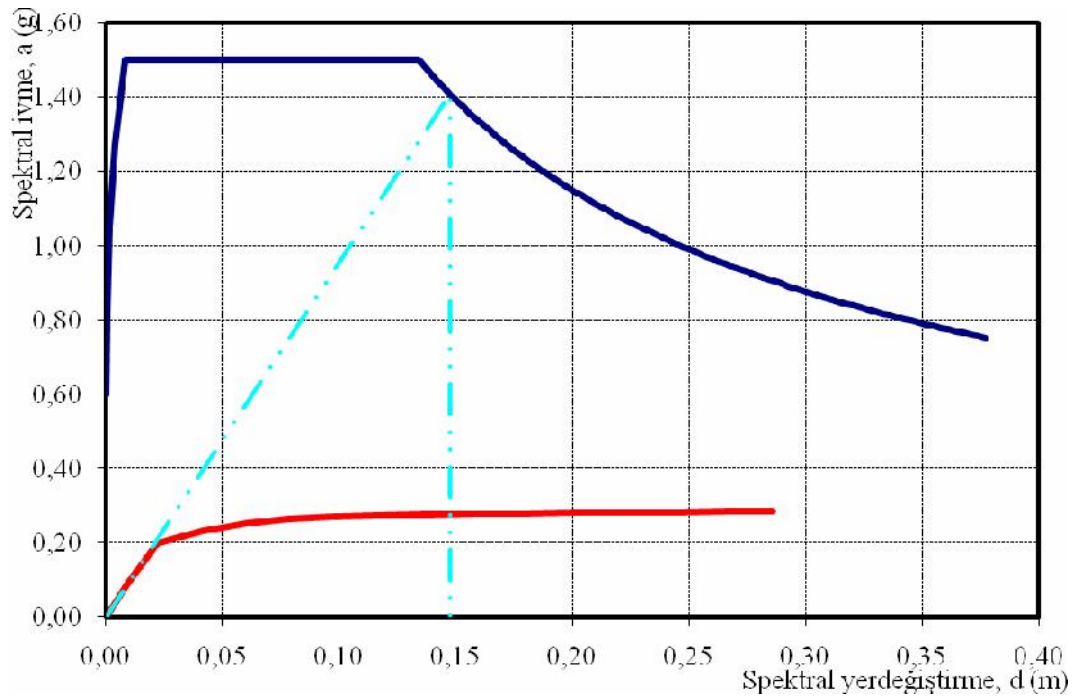
6.3.2. Kapasite ve Talep Eğrileri

Kapasite ve talep eğrilerinin kesiştirilmesi ile depremin talebine sistemin verdiği cevap yani karşı gelen denge konumu bulunur. Ancak, bu kesişmenin yapılabilmesi iki eğrinin de aynı türden olmasını gerektirir. DBYBHY (2007)'de kapasite eğrisinin talep eğrisi gibi elastik duruma çevrilmesi ile dönüşümün yapılması önerilir. Bu işlem kapasite eğrisinin başlangıç teğetinin çizilmesi ile kolayca yapılır. Bu teğetle elastik talep (spektrum) eğrisinin kesimi ile hem gözönüne alınan depremin talebi ve hem de sistemin ona verdiği yatay yerdeğiştirme elde edilir.

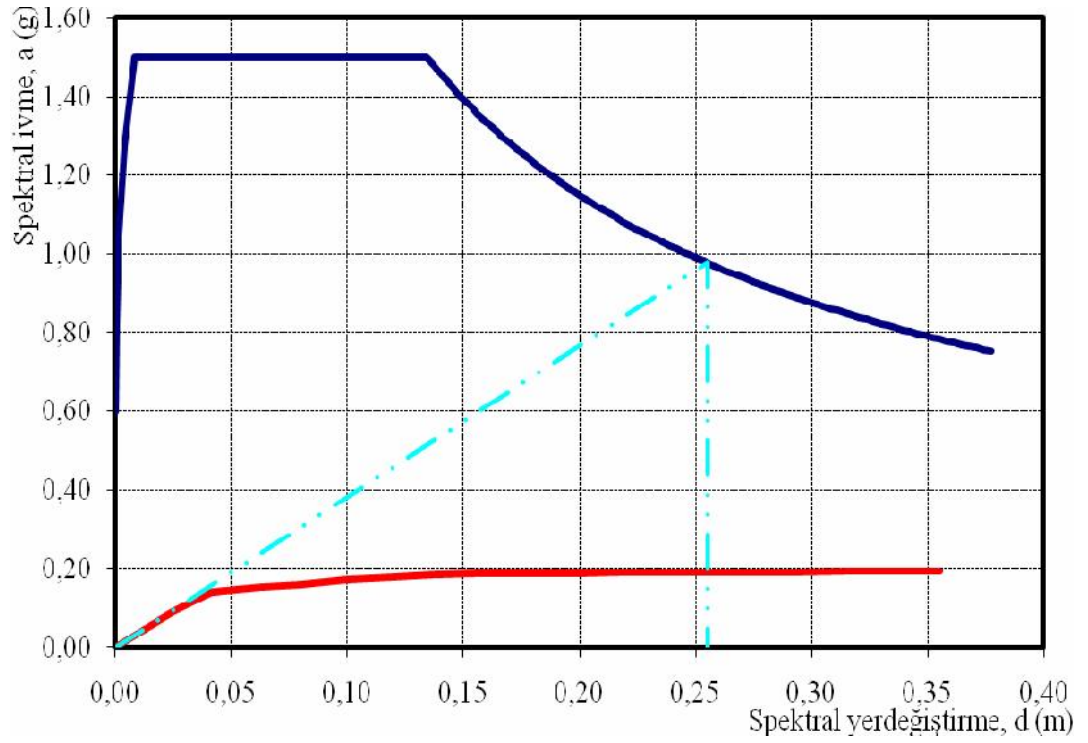
Aşağıda ilk olarak, FEMA 356'ya göre modellenen 3, 5 ve 7 katlı örnek binalar için elde edilen kapasite ve talep eğrileri verilmiştir.



Şekil 6.27: FEMA 356 modeli 3 katlı bina için kapasite ve talep eğrileri.

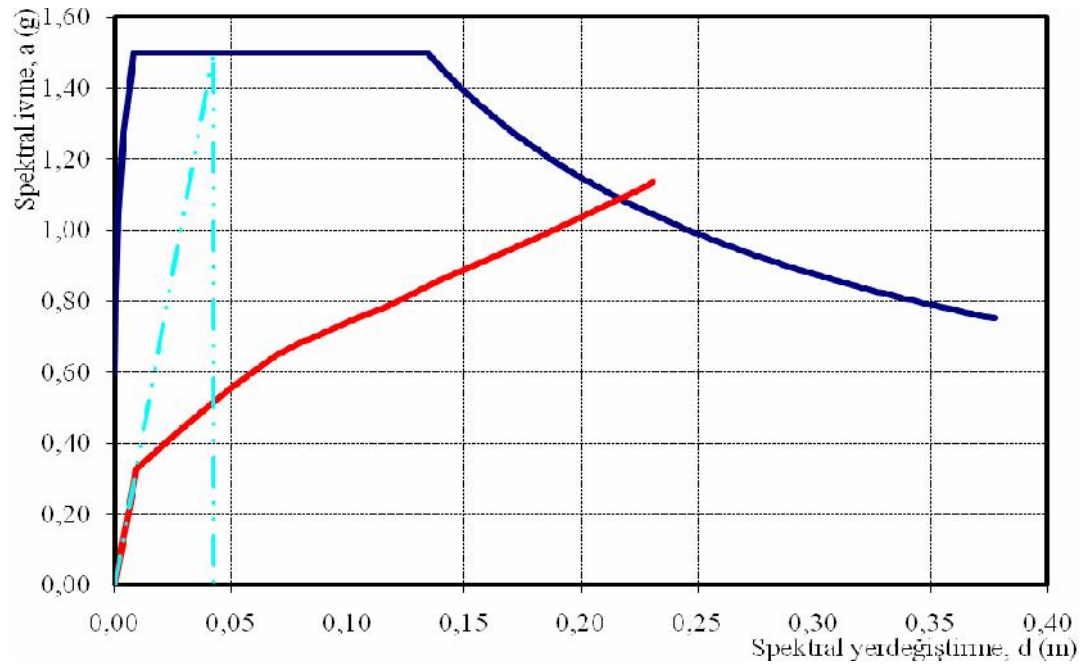


Şekil 6.28: FEMA 356 modeli 5 katlı bina için kapasite ve talep eğrileri.

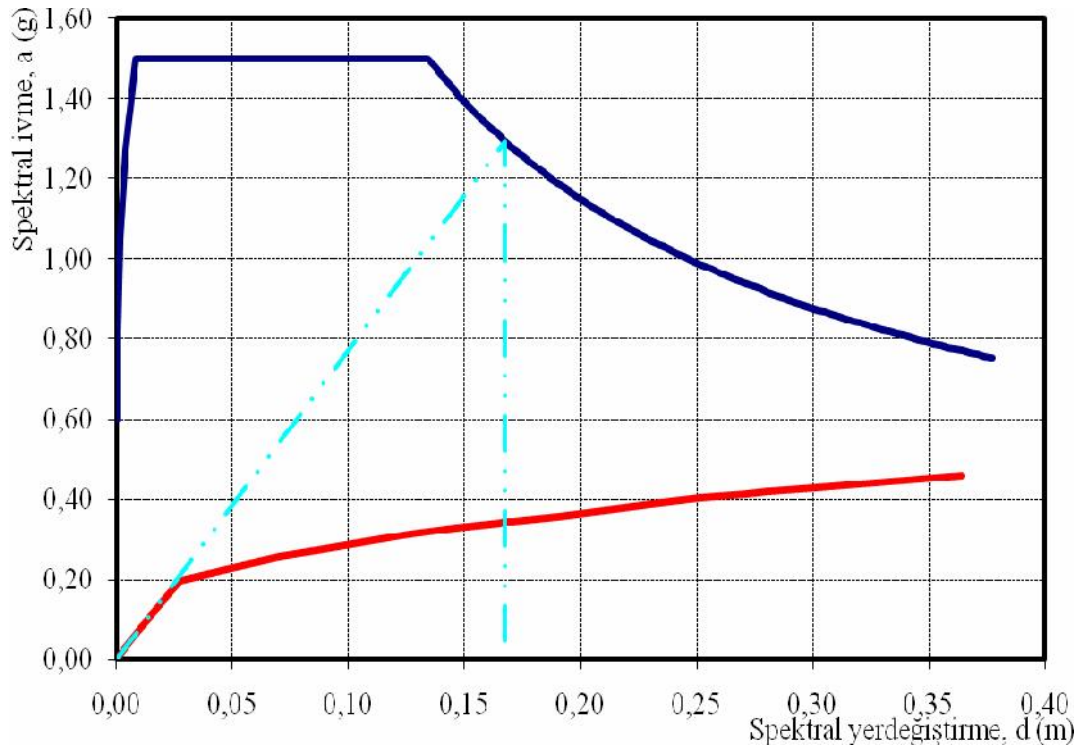


Şekil 6.29: FEMA 356 modeli 7 katlı bina için kapasite ve talep eğrileri.

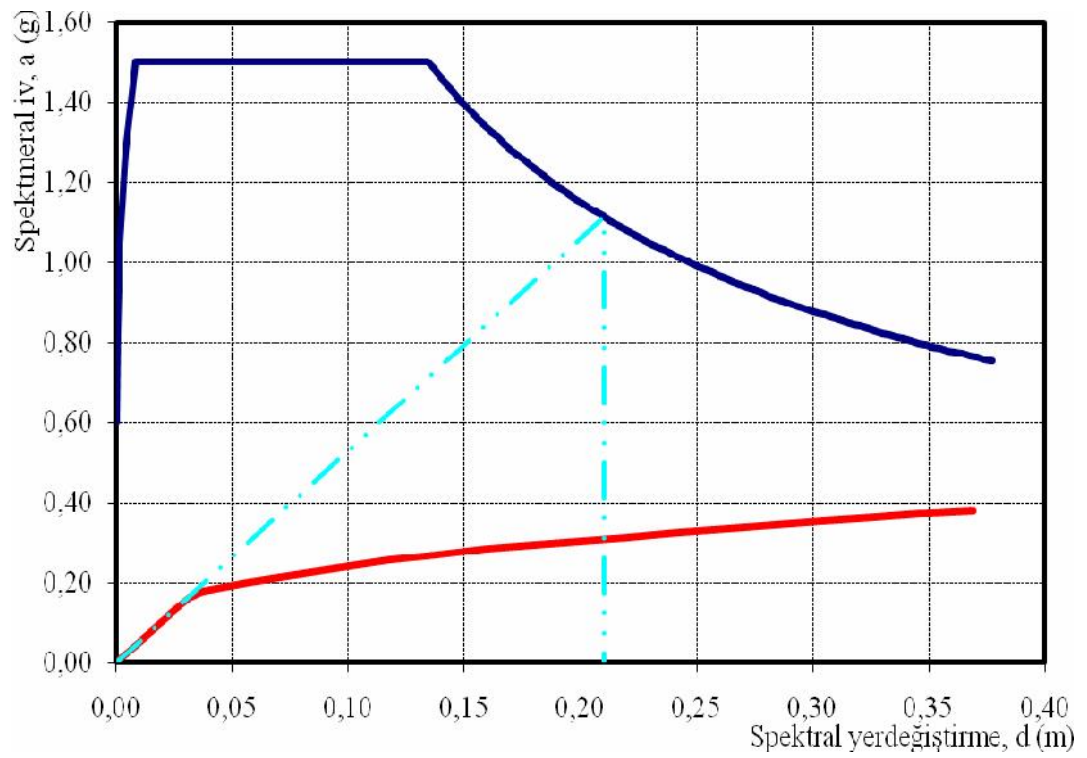
Aşağıda fiber modele göre kurgulanan 3, 5 ve 7 katlı örnek binalar için elde edilen kapasite ve talep eğrileri verilmiştir.



Şekil 6.30: Fiber modeli 3 katlı bina için kapasite ve talep eğrileri.

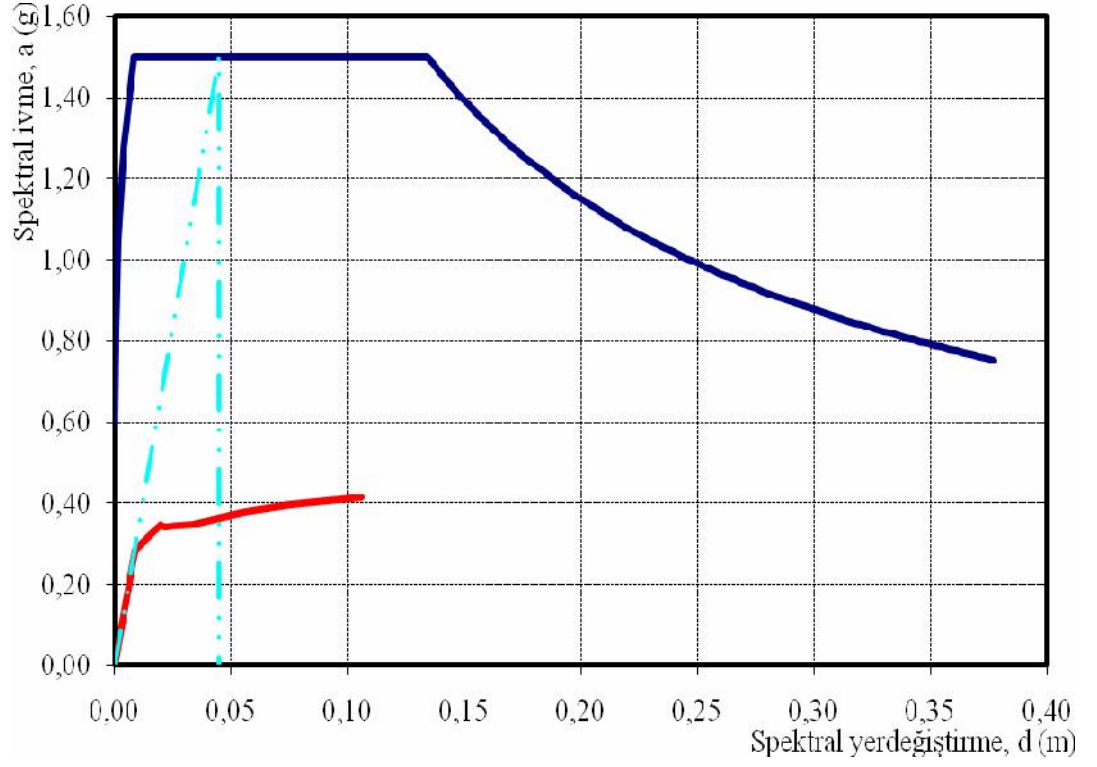


Şekil 6.31: Fiber modeli 5 katlı bina için kapasite ve talep eğrileri.

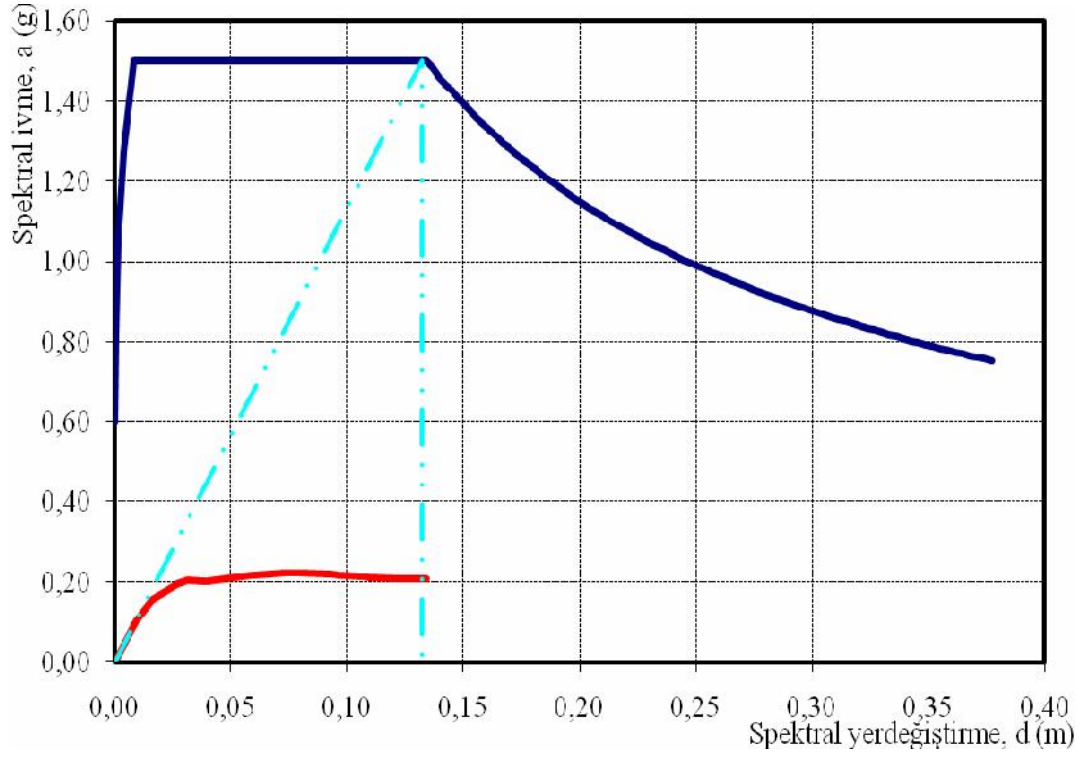


Şekil 6.32: Fiber modeli 7 katlı bina için kapasite ve talep eğrileri.

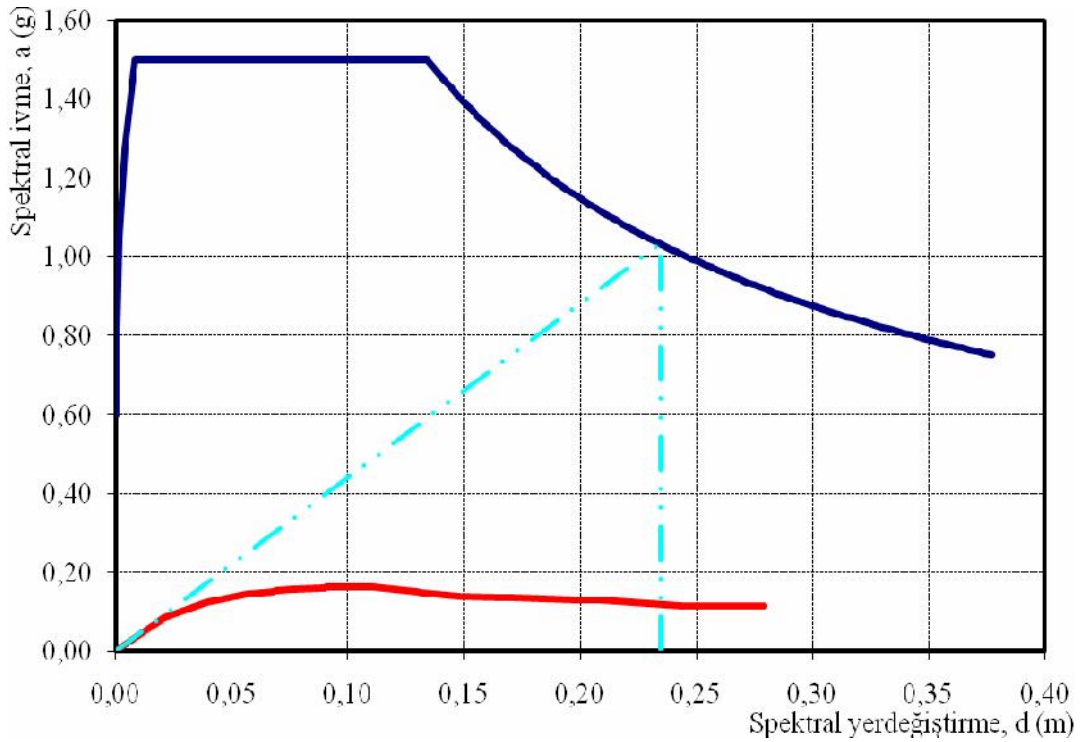
Son olarak da, çok katmanlı modele göre kurgulanan 3, 5 ve 7 katlı örnek binalar için elde edilen kapasite ve talep eğrileri görülmektedir.



Şekil 6.33: Çok katmanlı modeli 3 katlı bina için kapasite ve talep eğrileri.



Şekil 6.34: Çok katmanlı modeli 5 katlı bina için kapasite ve talep eğrileri.



Şekil 6.35: Çok katmanlı modeli 7 katlı bina için kapasite ve talep eğrileri.

Her model için yukarıda şekilleri verilen kapasite ve talep eğrileri ile hesaplanan performans noktaları aşağıda verilmiştir.

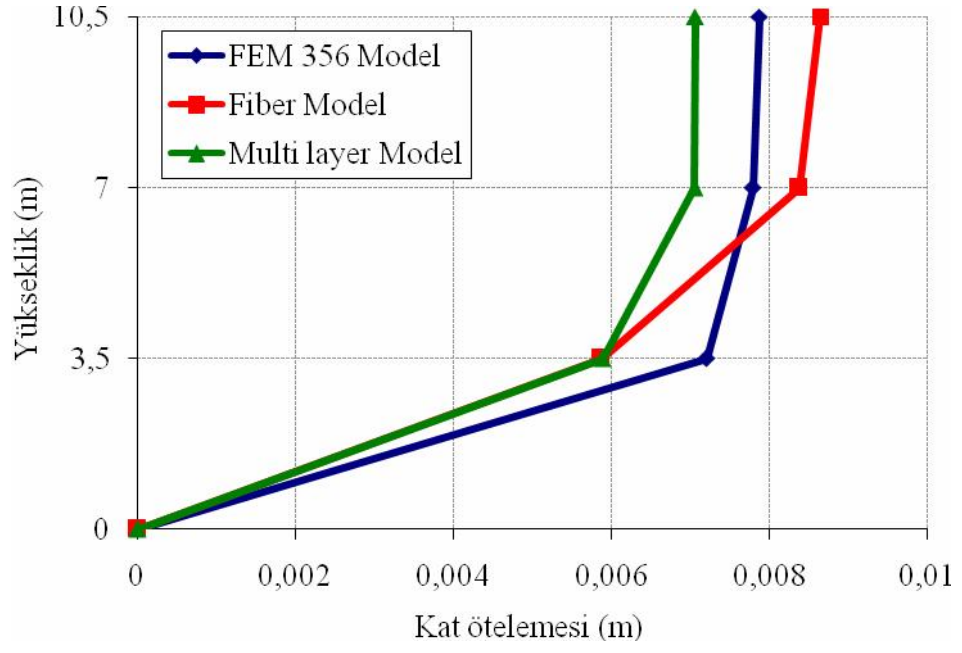
Tablo 6.3: Tüm modeller için hesaplanan performans noktası değerleri

	Performans Noktaları (cm)		
	3 Katlı Bina	5 Katlı Bina	7 Katlı Bina
FEMA 356 Modeli	3.7	14.7	25.6
Fiber Model	4.2	16.6	21.0
Kabuk Model	4.5	13.2	23.5

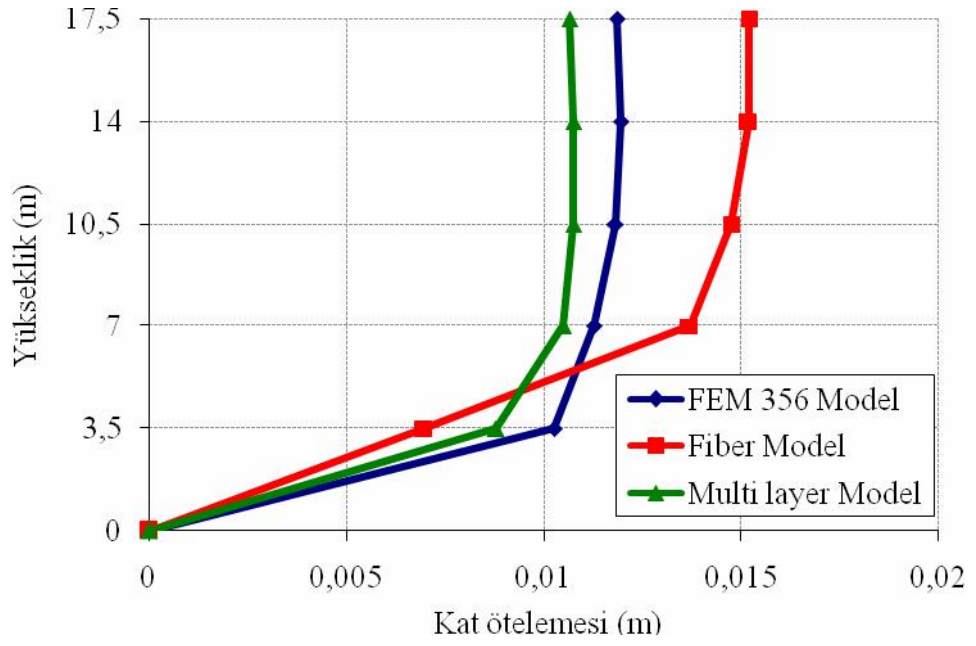
6.3.3. Göreli Kat Öteleme Diyagramları

Tasarlanan bina modelleri için elde edilen karşılıklı kat eğilim oranları hesaplanmıştır. Aşağıda her bir kat yüksekliği için farklı şekilde modellenen binalara ait kat öteleme diyagramları yer almaktadır.

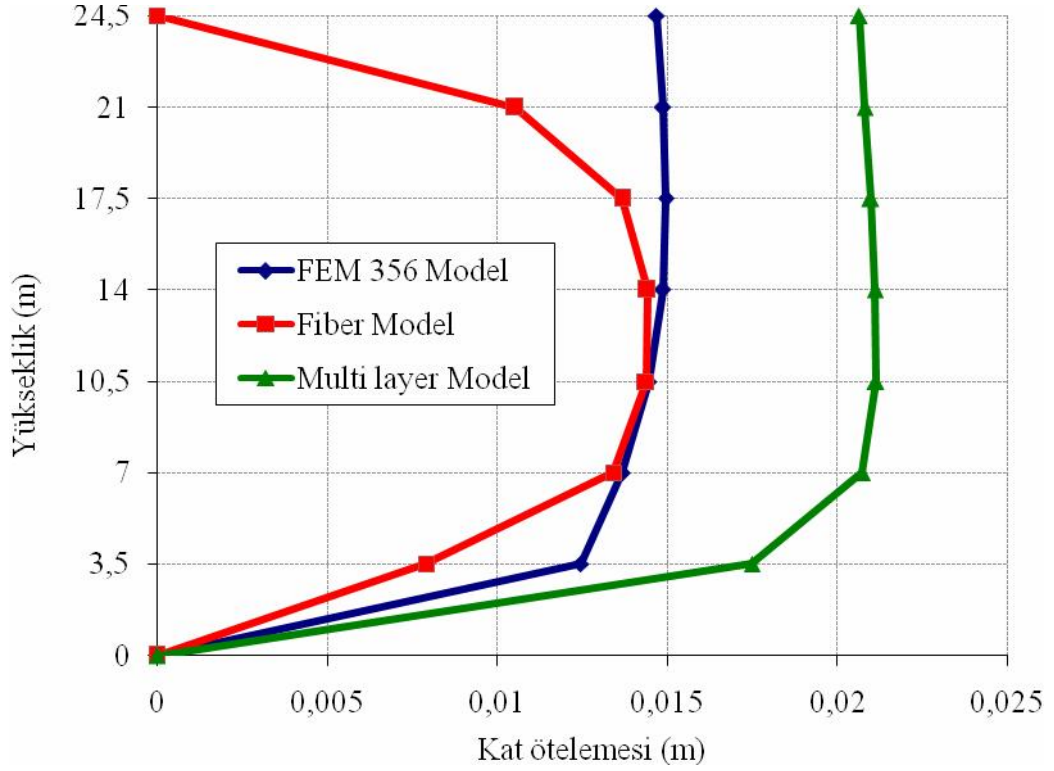
7 katlı örnek binalara ait göreli kat ötelemelerinin yer aldığı Şekil 6.38'e bakıldığında; Fiber modele sahip binanın üst katlarda çok az göreli kat ötelemesi yaptığı görülmektedir. 7 katlı binaya ait plastik mafsalları dağılımını (Şekil 6.46) incelediğimizde, alt katlarda çok fazla plastikleşme olduğundan dolayı üst katlardaki plastikleşmeler daha sınırlı olmuştur. Bu sebeple, bu modelin üst katlarında daha az göreli kat ötelemesi meydana gelmiştir.



Şekil 6.36: Farklı başlıklı perde duvar modelleri kullanan 3 katlı betonarme binalar için karşılıklı kat eğilim oranları.



Şekil 6.37: Farklı başlıklı perde duvar modelleri kullanan 5 katlı betonarme binalar için karşılıklı kat eğilim oranları.

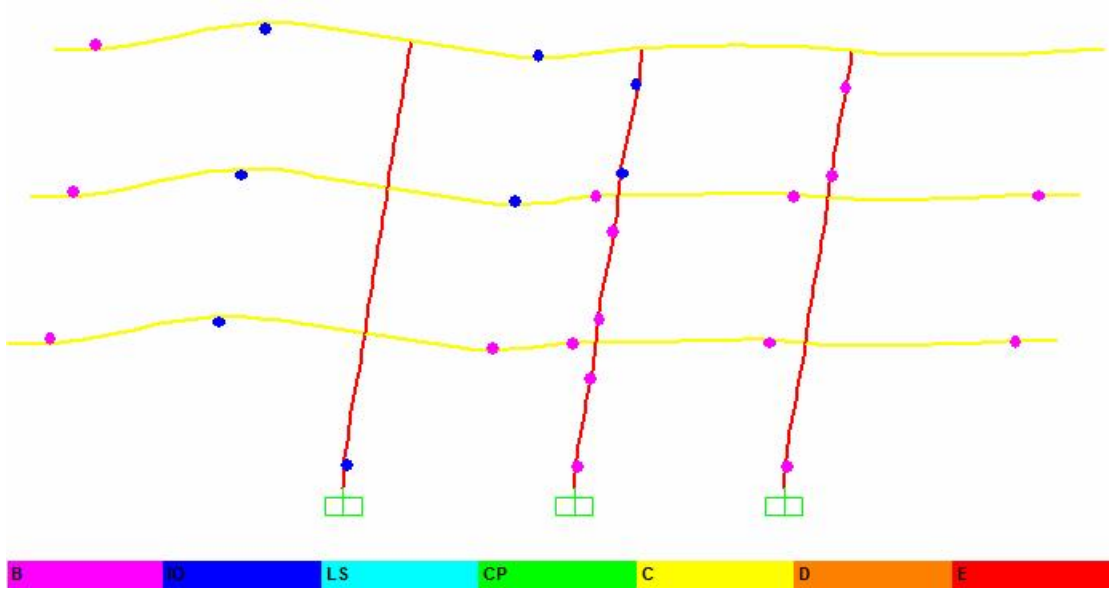


Şekil 6.38: Farklı başlıklı perde duvar modelleri kullanan 7 katlı betonarme binalar için karşılıklı kat eğilim oranları.

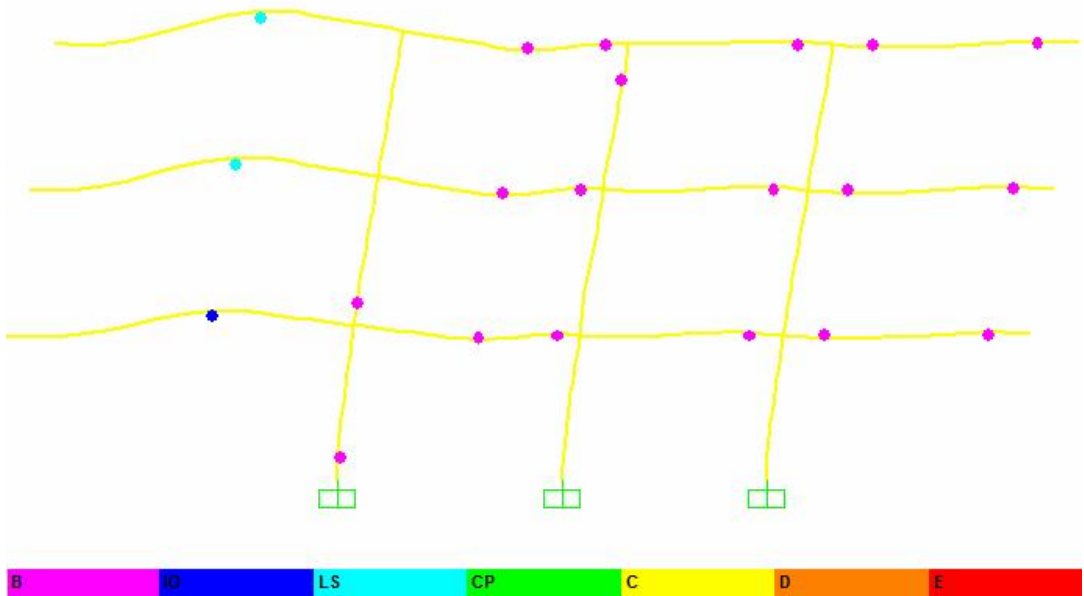
6.3.4. Perde Modellerinde Oluşan Mafsalların Dağılımı

Analiz sonucunda binalarda oluşan plastik mafsallar belirlenmiştir. Bu sayede perdelerin deprem yükleri altındaki davranışı izlenebilir. Böylece, yapının zayıf elemanları ve yerleri, varsa kısmi veya toptan göçme mekanizması durumları, elemanlara ve tüm yapıya ait deformasyon talepleri belirlenebilir.

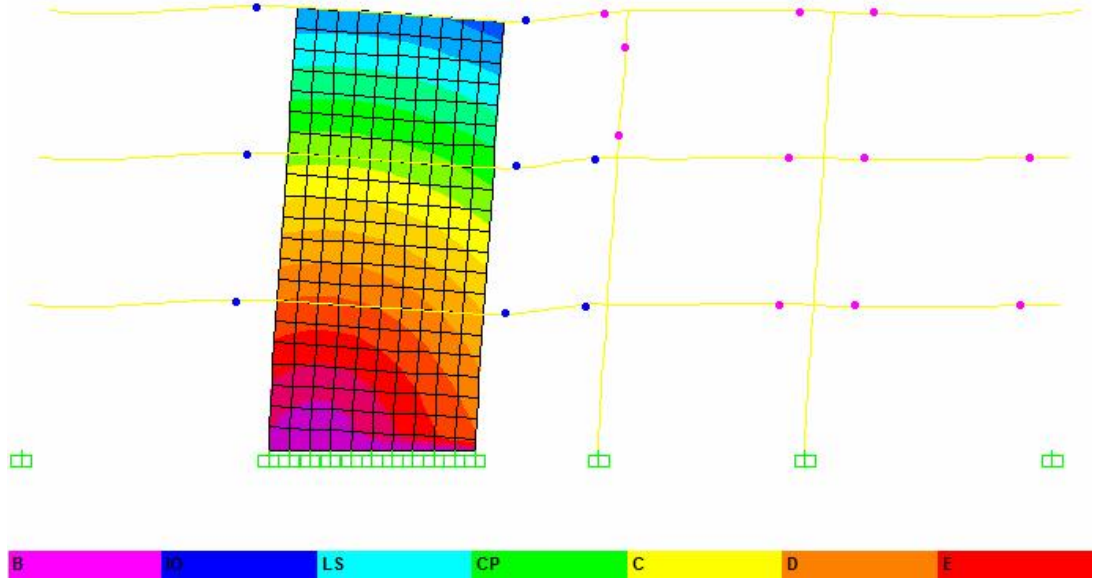
Aşağıda farklı şekillerde modellenen 3 katlı binalar için perdelerin bulunduğu akslarda oluşan plastik mafsallar gösterilmiştir.



Şekil 6.39: Başlıklı perdeli ve 3 katlı bina için orta-dikme çerçeve FEMA 356 modelleri için performans noktasındaki plastik mafsıl durumu.

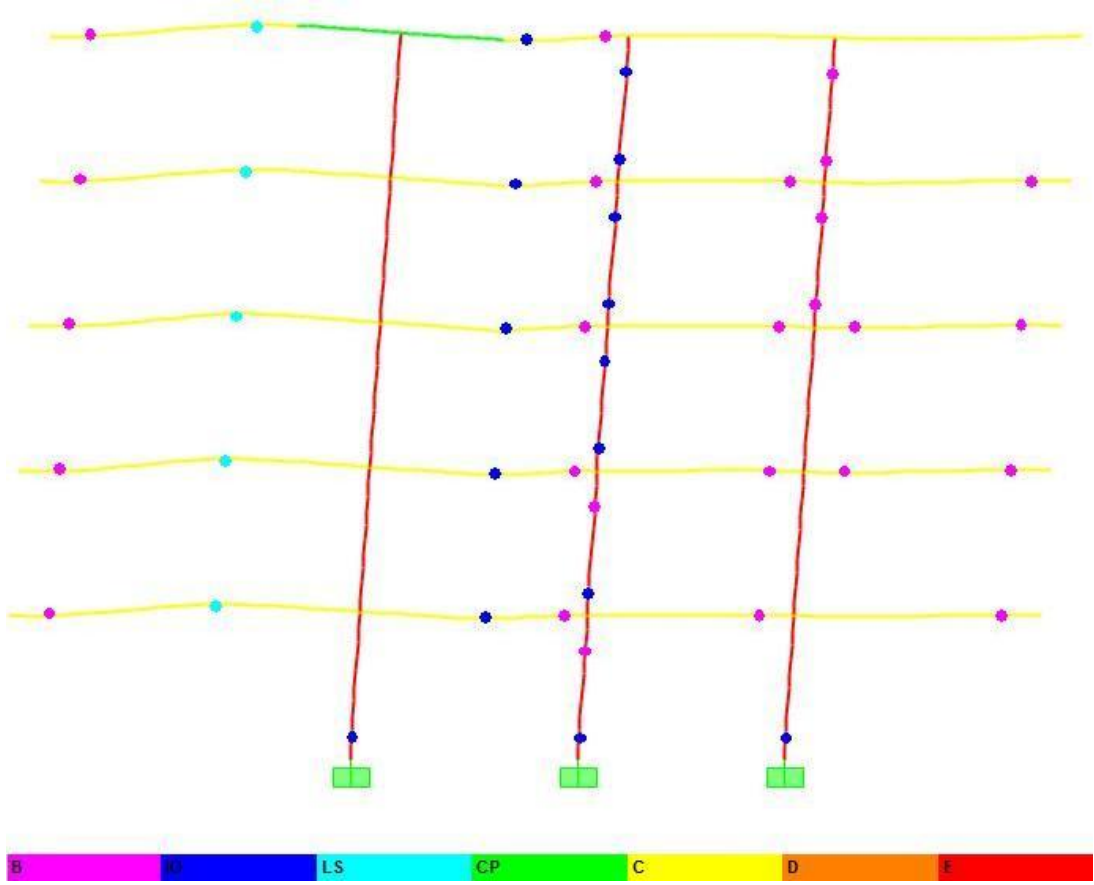


Şekil 6.40: Başlıklı perdeli ve 3 katlı bina için orta-dikme çerçeve Fiber modelleri için performans noktasındaki plastik mafsıl durumu.

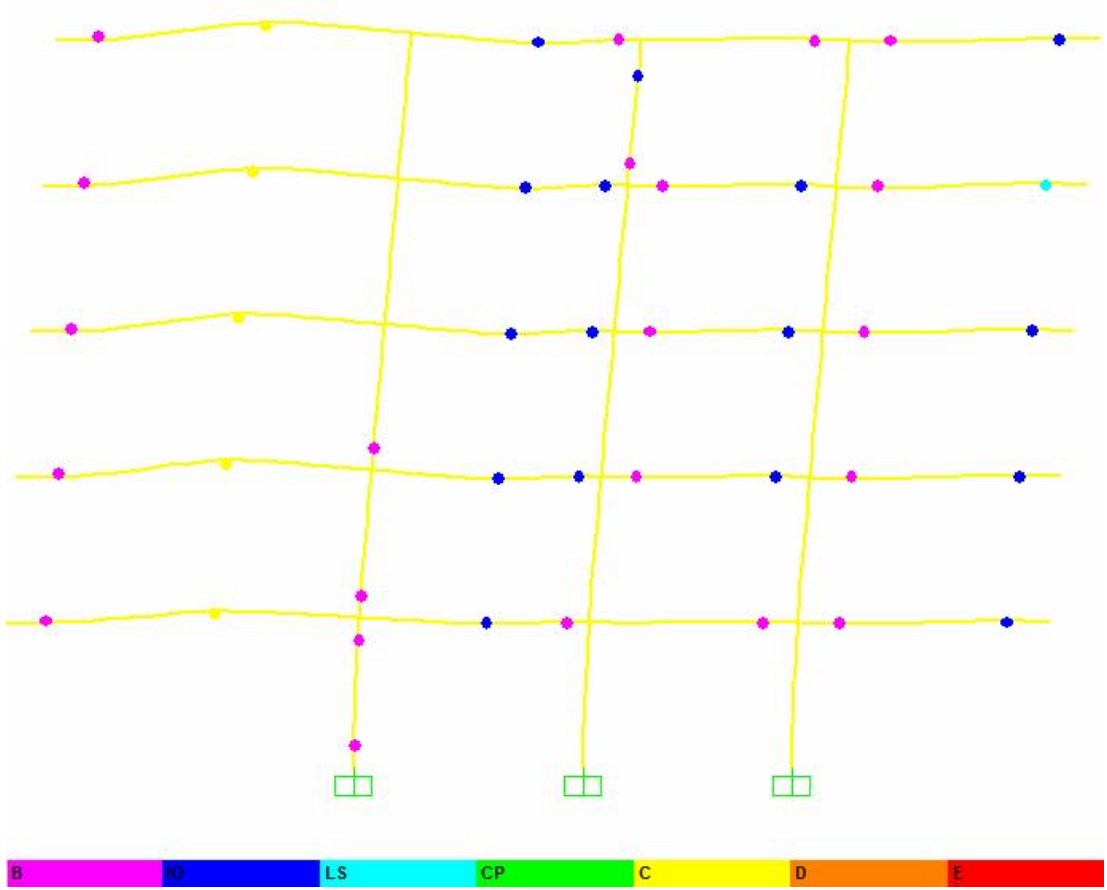


Şekil 6.41: Başlıklı perdeli ve 3 katlı bina için çok katmanlı modelleri için performans noktasındaki plastik mafsalları durumu.

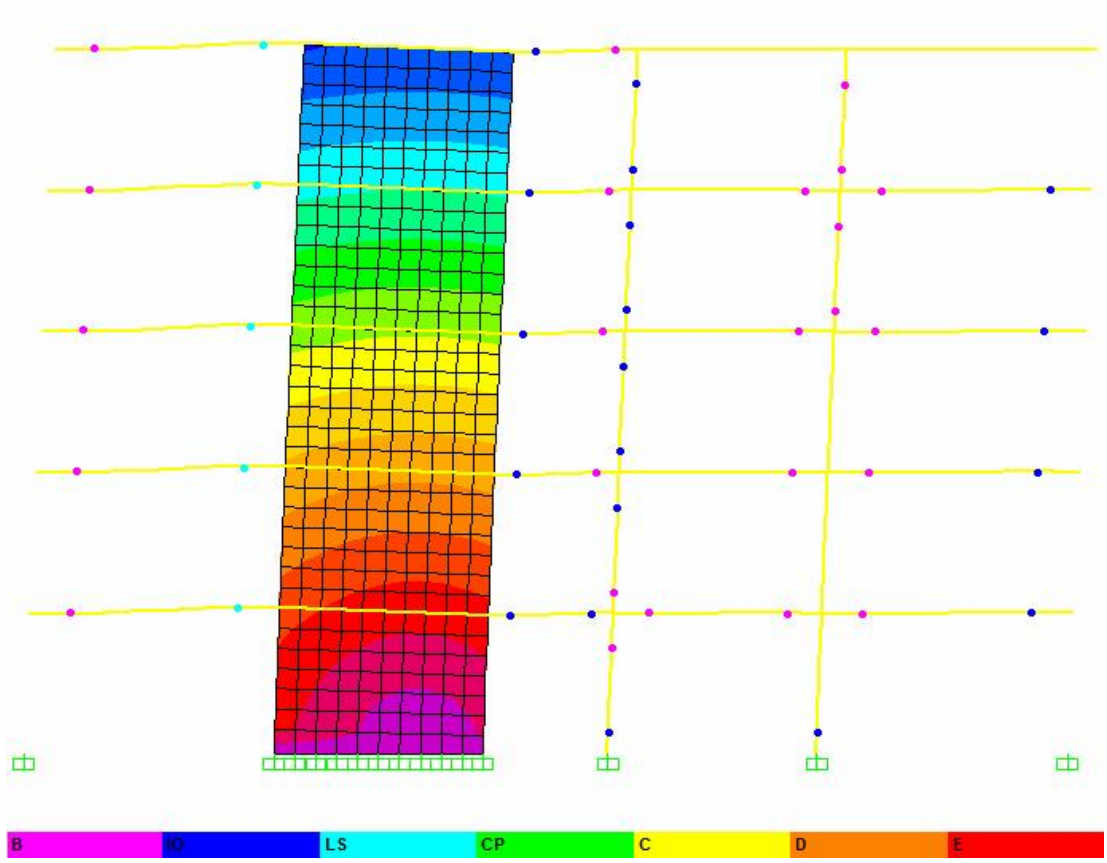
Aşağıda farklı şekillerde modellenen 5 katlı binalar için perdelerin bulunduğu akslarda elde edilen plastik mafsallar görülmektedir.



Şekil 6.42: Başlıklı perdeli ve 5 katlı bina için orta-dikme çerçeve FEMA 356 modelleri için performans noktasındaki plastik mafsalları durumu.

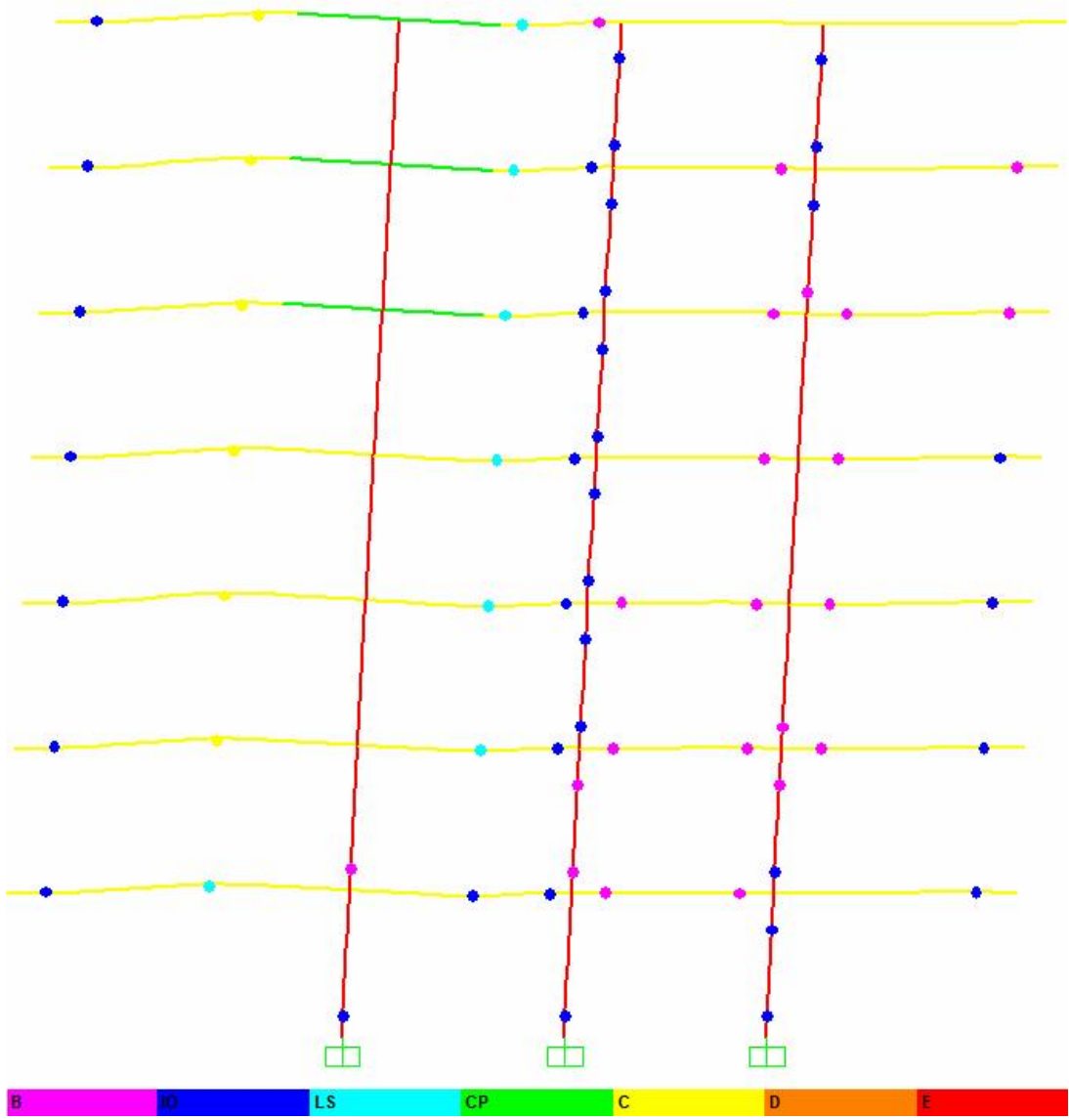


Şekil 6.43: Başlıklı perdeli ve 5 katlı bina için orta-dikme çerçeve Fiber modelleri için performans noktasındaki plastik mafsalları durumu.

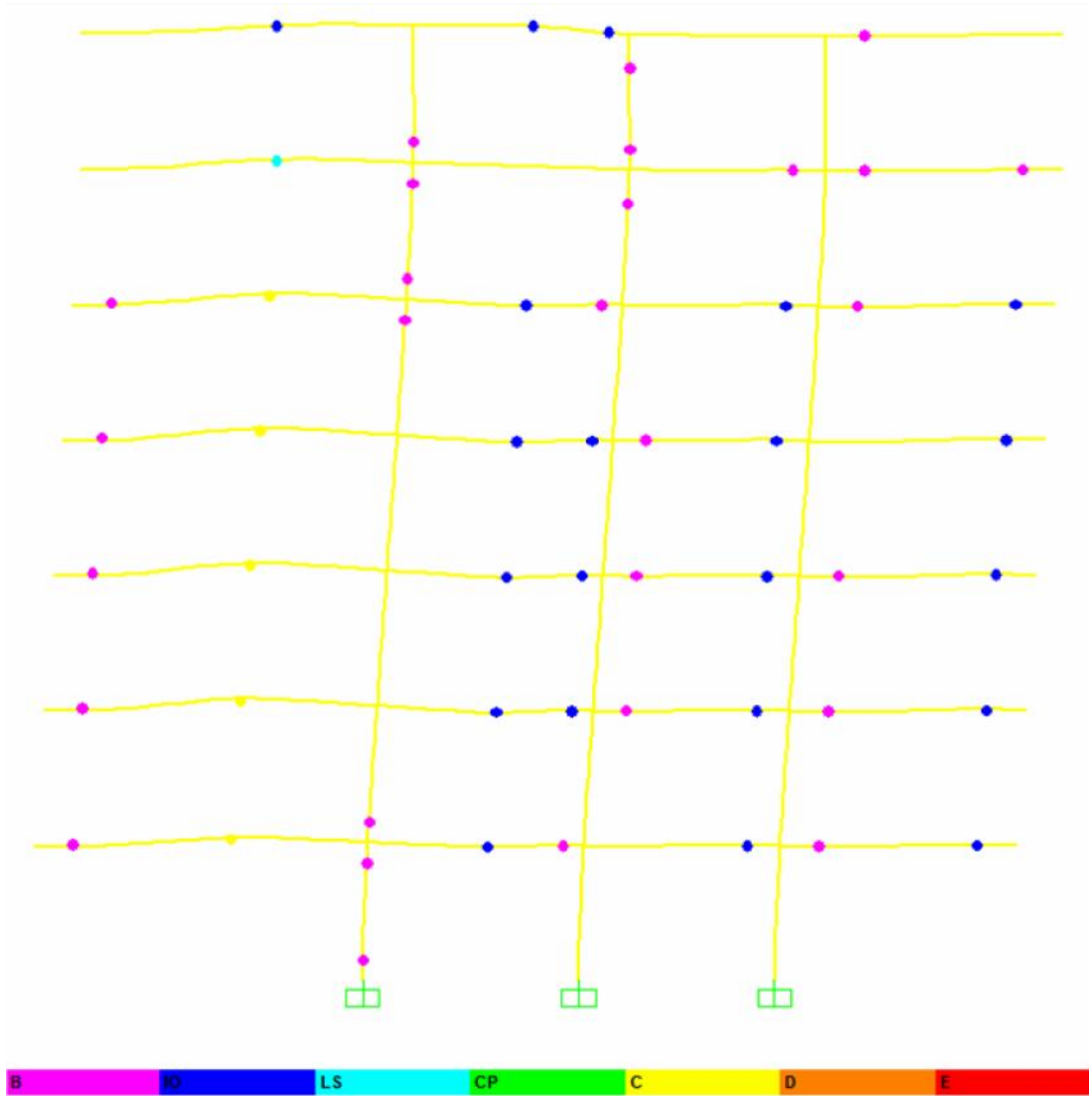


Şekil 6.44: Başlıklı perdeli ve 5 katlı bina için çok katmanlı modelleri için performans noktasındaki plastik mafsalları durumu.

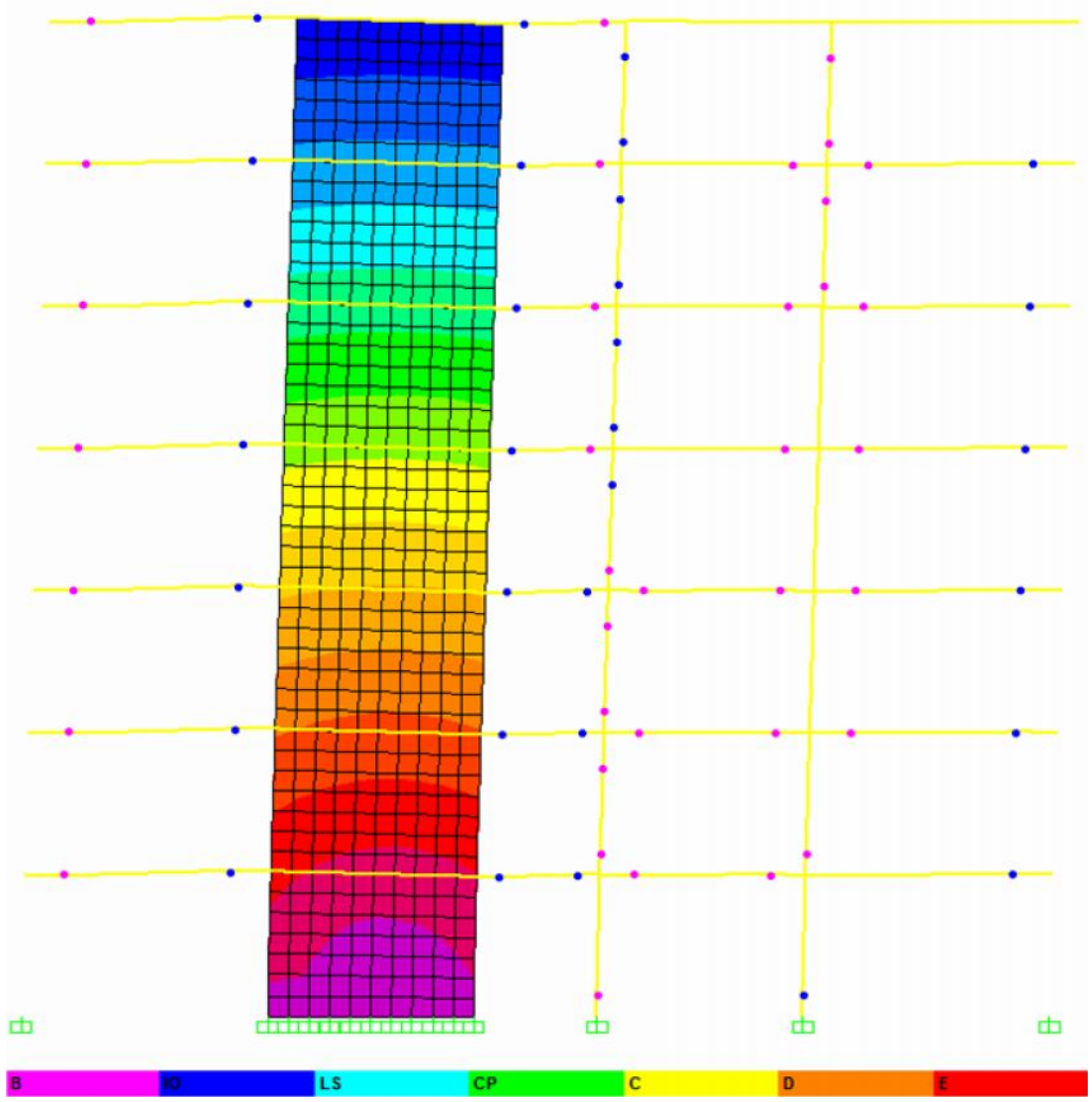
Aşağıda farklı şekillerde modellenen 7 katlı binalar için perdelerin bulunduğu akslarda elde edilen plastik mafsallar görülmektedir.



Şekil 6.45: Başlıklı perdeli ve 7 katlı bina için orta-dikme çerçeve FEMA 356 modelleri için performans noktasındaki plastik mafsalları durumu.



Şekil 6.46: Başlıklı perdeli ve 7 katlı bina için orta-dikme çerçeve Fiber modelleri için performans noktasındaki plastik mafsalları durumu.



Şekil 6.47: Başlıklı perdeli ve 7 katlı bina için çok katmanlı modelleri için performans noktasındaki plastik mafsalları durumu.

7. TARTIŞMALAR VE SONUÇLAR

Perde modellerinin davranışını kıyaslamak için bir okul binası 3, 5 ve yedi katlı olmak üzere üç farklı yükseklikte tasarlanmıştır. Tasarlanan her bir binadaki perdeler de yine üç farklı perde modeli kullanılarak oluşturulmuştur. SAP 2000 programında; FEMA 356, fiber model ve çok katmanlı kabuk modeli ile oluşturulan perde modeli toplam 9 farklı binaya itme analizi uygulanmıştır. Analiz sonucunda elde edilen; performans noktası, kat ötelemesi ve plastik mafsallık dağılımı sonuçları gözönüne alınarak binalar kıyaslanmıştır.

Performans noktalarına bakıldığında; 3 katlı bina için çok katmanlı kabuk modelin performans noktasının 4.5 cm'de olduğu görülmüştür. Çok katmanlı kabuk modele göre; fiber model %10, FEMA 356 modeli ise %15 daha az yerdeğiştirme yapmıştır. 5 katlı binada ise çok katmanlı kabuk modelin performans noktası yerdeğiştirmesi 13.2 cm'de olurken; fiber modelde %20, FEMA 356 modelde de %10 daha büyük değerde performans noktası elde edilmiştir. 7 katlı binalara bakıldığında ise; çok katmanlı kabuk modelin performans noktası 23.5 cm olmuştur. Diğer modeller çok katmanlı kabuk modele göre kıyaslandığında; fiber modelin performans noktası %10 daha düşük seviyede olurken FEMA 356 modelin performans noktası ise %10 daha yüksek noktada olduğu tespit edilmiştir.

Binalar kat ötelemelerine göre kıyaslandığında ise; 3 ve 5 katlı binalarda çok katmanlı kabuk modele göre FEMA 356 modeli %10 daha çok kat ötelemesi yaparken, fiber modelde %20 daha fazla kat ötelemesi elde edilmiştir. 7 katlı binada ise, çok katmanlı modelin diğer iki modelden %25 daha fazla kat ötelemesi yaptığı görülmüştür.

Plastik mafsallık dağılımına bakıldığında; 3 katlı binada, her üç modelde de oluşan plastik mafsalların minimum hasar sınırında kaldığı görülmüştür. 5 katlı binada; çok katmanlı kabuk modeli ile FEMA 356 modelinde plastik mafsallar minimum hasar sınırına yakın çıkarken fiber modelde oluşan plastik mafsallar kesit güvenlik sınırında oluşmuştur. 7 katlı binada ise; çok katmanlı kabuk modelin her yanında bulunan kirişlerde oluşan plastik mafsallar minimum hasar sınırında kalırken diğer iki modelin komşu kirişlerinin kesit güvenlik sınırına ulaştığı görülmüştür.

KAYNAKLAR

Akkaya Y., (2007), "Deprem Kuvvetlerine Karşı Betonarme Perdelerin Davranışı ve Boyutlandırılması", Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Aktan S. ve Kırac N., (2010), "Betonarme Binalarda Perdelerin Davranışa Etkileri", Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt: XXIII, Sayı: 1, 15-32.

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

Arslan M. H., Köroğlu M. A. ve Köken A., (2008), "Binaların Yapısal Performansının Statik İtme Analizi İle Belirlenmesi", Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi (2), 71-84.

Atımtay E., (2000), "Çerçevesiz ve Perdeli Betonarme Sistemlerin Tasarımı", Cilt 2, ODTÜ, Ankara.

Aydinoğlu M. N., (2005), "Mevcut veya Güçlendirilen Köprü ve Viyadüklerinin Deprem Performanslarının Nonlinear Analiz Yöntemleri ile Değerlendirilmesi", TC Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Karayolları Genel Müdürlüğü Raporu, İstanbul.

Celep Z., (2008), "Betonarme Taşıyıcı Sistemlerde Doğrusal Olmayan Davranış ve Çözümleme", Beta Dağıtım, İstanbul.

Celep Z. ve Kumbasar N., (1998), "Betonarme Yapılar", Sema Matbaacılık, İstanbul.

CSI, (2009), SAP2000, Static and Dynamic Finite Element Analysis of Structures 14.0, Computers and Structures, Inc., Berkeley, California.

Çakıroğlu A. ve Özer E., (1980), "Malzeme ve Geometri Değişimleri Bakımından Lineer Olmayan Sistemler" Matbaa Teknisyenleri Basımevi, Ankara.

Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, (2007), DBYBHY, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara.

Doğangün A., (2005), "Betonarme Yapıların Hesap ve Tasarımı", Birsan Yayınevi, İstanbul.

Fahjan Y. M., Başak K., Kubin J. ve Tan M. T., (2011), "Perdeli Betonarme Yapılar İçin Doğrusal Olmayan Analiz Metotları", Yedinci Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, İstanbul, 30 Mayıs - 3 Haziran.

FEMA 356, (2000), Pre-standard and commentary for the seismic rehabilitation of buildings, american society of Civil Engineers, Reston, Virginia.

İrtem E. ve Türker K., (2002), "Yapıların Deprem Yükleri Altındaki Lineer Olmayan Davranışının Belirlenmesinde Kullanılan Statik Yöntemlerin Karşılaştırılması", Balıkesir Üniversitesi IV. Mühendislik-Mimarlık Sempozyumu, 425-436.

Miao Z. W., Lu X. Z., Jiang J. J. and Ye L. P., (2006), "Nonlinear FE Model for RC Shear Walls Based on Multi-layer Shell Element and Microplane Constitutive Model", Computational Methods in Engineering And Science, EPMESC X, Sanya, Hainan, China, 21-23 August.

Nicolae I. and Reynouard J. M., (2000), "Nonlinear Analysis of Reinforced Concrete Shear Wall Under Earthquake Loading", Journal Of Earthquake Engineering, 4: 2, 183- 213.

Orion Building Design Software (2010), (Version 15) Software for Finite Element Analysis, Design and Detailing for Reinforce Concrete Buildings, CSC (UK) Ltd., Pudsey, UK / Prota Software Ltd., Ankara.

Otani S., (1980), "Nonlinear Dynamic Analysis of Reinforced Concrete Building Structures", Canadian J Civil Eng. V7 I2. 333-344.

Spacone E. and El-Tawil S., (2004), "Nonlinear Analysis of Steel-Concrete Composite Structures: State of-the-Art" ASCE Journal of Structural Engineering. Vol. 130, No. 2, pp. 159-168.

Wilson E. L., (2002), "Three-Dimensional Static and Dynamic Analysis of Structures, A Physical Approach With Emphasis on Earthquake Engineering", Third edition, Computers and Structures Inc, U.S.A.

ÖZGEÇMİŞ

1979'da İstanbul'da doğmuştur. 2002'de Sakarya Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği bölümünden mezun olmuştur. 2009 yılında GYTE Deprem ve Yapı Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans öğrenimine başlamıştır.