

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

PERDELİ TAŞIYICI SİSTEMLERİN
ZAMAN TANIM ALANINDA
DOĞRUSAL OLMAYAN ANALİZİ

ASIM TEPENÇELİK
YÜKSEK LİSANS TEZİ
DEPREM VE YAPI MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

GEBZE
2015

**T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**PERDELİ TAŞIYICI SİSTEMLERİN
ZAMAN TANIM ALANINDA
DOĞRUSAL OLMAYAN ANALİZİ**

**ASIM TEPENÇELİK
YÜKSEK LİSANS TEZİ
DEPREM VE YAPI MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DANIŞMANI
DOÇ. DR. YASİN FAHJAN**

**GEBZE
2015**

T.R.
GEBZE TECHNICAL UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

NONLINEAR TIME HISTORY ANALYSIS
FOR REINFORCED CONCRETE
BUILDINGS WITH SHEAR WALLS

ASIM TEPENÇELİK
A THESIS SUBMITTED FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE
DEPARTMENT OF EARTHQUAKE AND STRUCTURAL ENGINEERING

THESIS SUPERVISOR
ASSOC. PROF. DR. YASİN FAHJAN

GEBZE

2015

GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

YÜKSEK LİSANS JÜRİ ONAY FORMU

GTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 14/01/2015 tarih ve 2015/03 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 23/01/2015 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Asım Tepençelik'in tez çalışması Deprem ve Yapı Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI)

: Doç Dr. Yasin FAHJAN



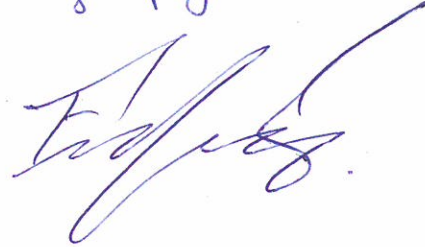
ÜYE

: Prof. Dr. Bilge SİYAHİ



ÜYE

: Yrd. Doç. Dr. Ferhat PAKDAMAR



ONAY

Gebze Teknik Üniversitesi 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. Daha kapsamlı bir şekilde perde duvarlar fiber elemanlar ile modellenebilir. Bu çalışmada, bina türü yapıların yapısal analizlerinde başlıklı ve başlıksız perdelerin doğrusal ve doğrusal olmayan modelleri üzerinde çalışılmıştır. Orta-dikme çubuk ve fiber elemanlar için bahsedilen farklı modelleme yaklaşımlarının sonucunda elde edilen analiz sonuçları, yapı sistemlerinin genel davranışı ve sayısal olarak kat deplasmanları karşılaştırılmıştır. Fiber elemanların zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizinde Perform-3D programı kullanılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Betonarme Perde, Doğrusal Olmayan Analiz, Plastik Mafsallık, Fiber Eleman.

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. Shearwalls can be modeled in a more comprehensive manner with fiber elements. Concrete and steel are defined respectively in fiber element modelling. 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 floor displacements and overall behavior of the structural systems. Perform- 3D software was used in the nonlinear time history analysis of the fiber element.

Key Words: Reinforced Concrete Shearwall, Nonlinear Analysis, Plastic Hinge, Fiber Element.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimin boyunca tecrübesiyle beni yönlendiren İnş. Y. Mühendisi Onur Őeker'e, desteğini hiçbir zaman esirgemeyen değerli hocam Doç. Dr. Yasin Fahjan'a teşekkür ederim.

Eđitim-öğretim hayatım boyunca her zaman yanımda olan aileme...

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	v
SUMMARY	vi
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	viii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
TABLolar DİZİNİ	xiv
1. GİRİŞ	1
1.1. Tezin Amacı, Katkısı ve İçeriği	2
2. DEPREME DAYANIKLI YAPI TASARIMININ TEMEL İLKELERİ VE PERDE DAVRANIŞI	4
2.1. Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımının Temel İlkeleri	4
2.1.1. Dayanım	4
2.1.2. Rijitlik	4
2.1.3. Süneklik	5
2.2. Perde Davranışı	5
2.2. Perdeli-Çerçeveli Taşıyıcı Sistemler	7
3. BETONARME PERDELERİN MODELLENMESİ	8
3.1. Doğrusal Modeller	8
3.1.1. Orta-Dikme Çubuk Modeli	8
3.1.2. Kabuk Modeli	9
3.2. Doğrusal Olmayan Modeller	10
3.2.1. Sürekli Sonlu Elemanlar Modeli	10
3.2.2. Çok Katmanlı Kabuk Elemanı	11
3.2.3. Plastik Mafsallı Orta-Dikme Çubuk Modeli	12
3.2.3.1. Plastik Mafsal Hipotezi	13
4. PERFORM-3D MODELLEME YAKLAŞIMLARI	17
4.1. PERFORM-3D Programı ile Kolon ve Kirişlerde Doğrusal Olmayan Davranış	17

4.1.1. Kord Dönme Modeli	18
4.1.2. Plastik Mafsal Modeli	19
4.1.3. Plastik Bölge Modeli	20
4.1.4. Detaylı Sonlu Eleman Modeli	21
4.1.5. Fiber Model	22
4.1.6. Kolonlar	23
4.2. PERFORM-3D Programı ile Donatı ve Betonun Doğrusal Olmayan Özelliklerinin Tanımlanması	23
4.3. PERFORM-3D Programı ile Perdelerin Doğrusal Olmayan Davranışının Modellenmesi	25
5. ZAMAN TANIM ALANIN DOĞRUSAL OLMAYAN HESAP YÖNTEMİ	29
5.1. Sönüm Oranının Belirlenmesi	29
5.2. Deprem Kayıtlarının Seçilmesi ve Ölçeklenmesi	31
6. SAYISAL İNCELEME	34
6.1. Yapı ve Malzeme Bilgileri	34
6.2. Perdelerin Modellenmesi	36
6.3. Yapının Dinamik Analizi	44
6.4. Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analiz	44
7. SONUÇLAR	59
KAYNAKLAR	60
ÖZGEÇMİŞ	62

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler ve</u>	<u>Açıklamalar</u>
<u>Kısaltmalar</u>	
f_y	: Donatının karakteristik akma dayanımı
g	: Yerçekimi ivmesi
I	: Bina önem katsayısı
d_b	: Donatı çapı
L_p	: Plastik mafsal boyu
M_e	: Eğilme momenti
M_p	: Plastik moment
S_n	: Saniye
$A(T)$: Spektral ivme katsayısı
T_A, T_B	: Spektrum karakteristik periyotları
T	: Binanın birinci doğal titreşim periyodu
χ_y	: Akma eğriliği
χ_p	: Kopma eğriliği
Θ_p	: Plastik dönme
u_y	: Akma yer değiştirmesi
u_p	: Kopma yer değiştirmesi
u	: Toplam plastik yer değiştirme
α ve β	: Rayleigh sönüm modelinde istenilen moda istenilen sönüm oranını belirlemede kullanılan katsayıları
A_0	: Etkin yer ivmesi katsayısı
α_{AT}	: Spektral ivme katsayısına ait ölçekleme katsayısı
α_{ST}	: Ölçekleme katsayısı
T_1	Binanın birinci doğal titreşim periyodu
ξ	Sönüm oranı
ATC	: Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings
DBYBHY	: Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik
FEMA	: Federal Emergency Management Agency
TSD	: Tek serbestlik dereceli sistem

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil No:</u>	<u>Sayfa</u>
2.1: Yön değiştiren yükler etkisinde perde davranışı.	6
2.2: Yatay yük etkisinde çerçeve-perde etkileşimi.	7
3.1: Perde için orta-dikme modeli.	8
3.2: Perde için kabuk eleman modeli.	10
3.3: Çok katmanlı kabuk eleman.	11
3.4: Plastik mafsal (P-M-M etkileşimli).	12
3.5: Eğilme momenti – eğrilik diyagramı.	13
3.6: İdealleştirme bünye bağıntısı.	14
4.1: Kord dönme modeli.	18
4.2: Plastik mafsal modeli.	19
4.3: Plastik mafsal.	20
4.4: Plastik bölge modeli.	20
4.5: Mafsallı plastik bölge modeli.	21
4.6: Detaylı sonlu eleman modeli.	21
4.7: Mafsallı detaylı sonlu eleman modeli.	22
4.8: Kirişlerde fiber eleman modeli.	22
4.9: P-M-M modeli için akma yüzeyi tanımı.	23
4.10: Malzeme gerilme – şekil değiştirme eğrileri.	24
4.11: Yük boşaltma faktörü-YBF tanımı.	25
4.12: Eenerji dağılım faktörü-EDF tanımı.	25
4.13: Perdenin “Concrete Shear Layer” modellemesi.	26
4.14: Perde modelleme teknikleri.	27
4.15: “Concrete Shear Layer” modellemesine göre perde serbest cisim diyagramı.	28
5.1: TSD bir sistemin sönümlü ve sönümsüz serbest titreşim altında Deplasman-zaman ilişkisi.	29
5.2: TSD bir sistemde farklı sönüm oranları için elde edilmiş dinamik büyütme oranı.	30
5.3: Ragleigh sönüm modeli için sönüm oranı-periyot ilişkisi.	31
6.1: Bina kat planı.	35

6.2:	PERFORM-3D modeli.	36
6.3:	SAP2000 modeli.	36
6.4:	3 m genişliğindeki perde için P-M-M etkileşimli plastik mafsallık özellikleri.	37
6.5:	5 m genişliğindeki perde için P-M-M etkileşimli plastik mafsallık özellikleri.	38
6.6:	3 m genişliğindeki başlıklı perdenin 1 numaralı fiber elemanı.	39
6.7:	3 m genişliğindeki başlıklı perdenin 2 numaralı fiber elemanı.	39
6.8:	3 m genişliğindeki başlıklı perdenin 3 numaralı fiber elemanı.	40
6.9:	5 m genişliğindeki başlıklı perdenin 1 numaralı fiber elemanı.	40
6.10:	5 m genişliğindeki başlıklı perdenin 2 numaralı fiber elemanı.	41
6.11:	5 m genişliğindeki başlıklı perdenin 3 numaralı fiber elemanı.	41
6.12:	5 m genişliğindeki başlıklı perdenin 4 numaralı fiber elemanı.	42
6.13:	5 m genişliğindeki başlıklı perdenin 5 numaralı fiber elemanı.	42
6.14:	Kirişlerde kullanılan M ₃ plastik mafsallık özellikleri.	43
6.15:	Kolonlarda kullanılan P-M-M plastik mafsallık özellikleri.	43
6.16:	Landers Depremi'ne ait P0856 numaralı orijinal ve ölçeklenmiş kaydın ivme, hız, yer değiştirme şekilleri.	46
6.17:	Northridge Depremi'ne ait P0967 numaralı orijinal ve ölçeklenmiş kaydın ivme, hız, yer değiştirme şekilleri.	47
6.18:	Superstitt Hills Depremi'ne ait P0730 numaralı orijinal ve ölçeklenmiş kaydın ivme, hız, yer değiştirme şekilleri.	48
6.19:	Türkiye Deprem Yönetmeliği (2007) elastik tasarım ivme spektrumuna göre ölçeklenmiş Landers, Northridge ve Superstitt Hills Depremlerine ait kayıtlarına ait tepki spektrumları.	49
6.20:	Landers Depremi altında, Başlıklı Orta-Dikme Çubuk Modeli kat deplasmanları.	50
6.21:	Landers Depremi altında, Başlıksız Orta-Dikme Çubuk Modeli kat deplasmanları.	50
6.22:	Northridge Depremi altında, Başlıklı Orta-Dikme Çubuk Modeli kat deplasmanları.	51
6.23:	Northridge Depremi altında, Başlıksız Orta-Dikme Çubuk Modeli kat deplasmanları.	51

6.24:	Superstitn Hills Depremi altında, Başlıklı Orta-Dikme Çubuk Modeli kat deplasmanları.	52
6.25:	Superstitn Hills Depremi altında, Başlıksız Orta-Dikme Çubuk Modeli kat deplasmanları.	52
6.26:	Landers Depremi altında, Başlıklı Fiber Eleman Modeli kat deplasmanları.	53
6.27:	Landers Depremi altında, Başlıksız Fiber Eleman Modeli kat deplasmanları.	53
6.28:	Northridge Depremi altında, Başlıklı Fiber Eleman Modeli kat deplasmanları.	54
6.29:	Northridge Depremi altında, Başlıksız Fiber Eleman Modeli kat deplasmanları.	54
6.30:	Superstitn Hills Depremi altında, Başlıklı Fiber Eleman Modeli kat deplasmanları.	55
6.31:	Superstitn Hills Depremi altında, Başlıksız Fiber Eleman Modeli kat deplasmanları.	55
6.32:	Başlıksız Orta-Dikme Çubuk Modeli kat deplasmanları.	57
6.33:	Başlıklı Orta-Dikme Çubuk Modeli kat deplasmanları.	57
6.34:	Başlıksız Fiber Eleman Modeli kat deplasmanları.	58
6.35:	Başlıklı Fiber Eleman Modeli kat deplasmanları.	58

TABLolar DİZİNİ

<u>Tablo No:</u>	<u>Sayfa</u>
4.1: Kolon ve kirişlerin doğrusal olmayan davranışının modellenmesi.	17
6.1: Bina eleman boyutları.	34
6.2: Bina elemanlarında bulunan donatı.	35
6.3: Dinamik özellikler.	44
6.4: Türkiye’de yerel zemin sınıfı Z2 olan bölgelerde kullanılacak deprem kayıtları ve ölçekleme katsayıları.	45
6.5: Başlıksız/Başlıklı Perdeli Orta-Dikme Çubuk Modeli kat deplasmanları.	56
6.6: Başlıksız/Başlıklı Perdeli Fiber Eleman Modeli kat deplasmanları.	56

1. GİRİŞ

Türkiye, büyük deprem kuşaklarının yer aldığı bir coğrafyada bulunmaktadır. Ülkemizin sınırları içinde bulunan Kuzey Anadolu Fay Hattı en hızlı hareket eden, aktif sağ-yanal atımlı faylardan biridir. Bu fay hattının kırılması neticesinde, 1939 Erzincan, 1949 Karlıova, 1992 Erzincan, yakın zamanda İzmit'te (1999) gerçekleşerek ciddi can ve mal kayıplarına sebep olan depremler meydana gelmiştir. Mevcut yönetmelikteki eksiklikler fark edilerek deprem yönetmeliği yayınlanmış, deprem ve yapı mühendisliği ve depreme dayanıklı yapı tasarımı felsefesi önem kazanmıştır.

Sismik yönden aktif bölgelerde betonarme perdeli taşıyıcı sistemler yaygın olarak kullanılmaktadır. Deprem mühendisliğindeki gelişmeler ve bilgisayar teknolojisinin olanak sağlamasıyla daha detaylı analizler yapılabilir hale gelmiştir. Deprem tehlikesi olarak adlandırılan sorunun kaynağı deprem olmakla birlikte sorunun kendisi deprem etkisindeki yapının davranışdır. Perdeler yatay yükler etkisinde, taşıyıcı sistemin davranışını belirleyen en önemli elemandır. Büyük oranda kesme kuvveti ihtiyacını karşılayan bu elemanları uygun modellemek önem taşımaktadır. Dolayısıyla daha gerçekçi modeller yapı davranışı hakkında daha sağlıklı fikir verebilir.

Hemen hemen dünyadaki tüm deprem yönetmeliklerinde olduğu gibi, Türkiye Deprem Yönetmeliği'nde esas alınan temel tasarım yaklaşımı dayanıma göre tasarımıdır. Bu tasarım yaklaşımında, öncelikle elastik eşdeğer deprem yükleri Davranış Spektrumu'ndan yararlanılarak belirlenir. Daha sonra bu yükler, taşıyıcı sistemin türüne (çerçeve, çerçeve-perde veya perde sistemler) ve öngörülen süneklik düzeyine göre tanımlanan Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı'na bölünerek azaltılır.

Taşıyıcı sistem bu azaltılmış yükler altında doğrusal-elastik davranış esasına göre analiz edilir ve kesitlerdeki iç kuvvetler (kesit tesirleri) elde edilir. Son aşamada, bu iç kuvvetlere göre kesitlerin dayanım bakımından yeterliliği betonarme veya çelik yönetmeliklerine göre irdelenir. Ayrıca, yukarıda anlatılan Eşit Yer Değiştirme Kuralı'na göre azaltılmamış (elastik) deprem yükleri altında elde edilen görelî kat ötelemelerinin, yönetmelikte verilen sınırları aşp aşmadığı kontrol edilir [1].

Günümüzde yapı davranışı genel olarak doğrusal-elastik analiz yöntemi ile belirlenmektedir. Doğrusal-elastik davranış kabulü, analizleri önemli miktarda kolaylaştırmasına ve yapının elastik kapasitesini iyi bir şekilde belirlemesine karşın,

yapının göçme mekanizmasının belirlenmesi ve elastik ötesi kapasitenin devreye sokulması konusunda yetersiz kalmaktadır.

Davranış spektrumundan yararlanarak tanımlanan elastik deprem yükleri, taşıyıcı sistem davranışının doğrusal (lineer) elastik olması ve böylece sistemde hiçbir hasarın meydana gelmemesi durumunda söz konusu olabilir. Oysa şiddetli depremlerin etkisi altında elastik deprem yükleri çok büyük değerler alırlar ve bu değerlerle ekonomik bir bina tasarımı mümkün olmaz. Bu nedenle, yeni yapılan binalarda kullanıcıların can güvenliği'ni sağlamak kaydı ile, şiddetli depremlerde bina taşıyıcı sisteminde belirli düzeyde hasara bilerek izin verilir. Diğer deyişle, bina taşıyıcı sisteminin bazı elemanları doğrusal olmayan (nonlinear) davranış gösterecek biçimde tasarlanırlar [1].

Doğrusal olmayan analiz için sık kullanılan dinamik yöntemler, statik itme analizi ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yer almaktadır. Zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik analiz en güvenilir yöntem olarak kabul edilmektedir. Fakat analiz süresi uzun olmasından dolayı pratik değildir.

Betonarme perdeler için doğrusal olmayan analiz malzeme davranışı için, orta dikme çubuğunun doğrusal olmayan modeli genellikle plastik mafsallara ve çift eğilmeli moment dönme ilişkisine dayanır. Plastik mafsalların, yapısal eleman uçlarındaki plastik bölgelerde veya hesap açıklığı boyunca dağıtıldığı varsayılabilir [2]. Kabuk elemanların doğrusal olmayan modeli, yöne bağımlı malzeme modeli ile katmanlı kabuk eleman kullanılarak modellenir [3]. Böylece malzemenin çevrimsel davranışı düzgün bir biçimde simule edilebilir.

Fiber eleman modelinde ise yayılı plastisite yaklaşımı kullanılır. Bu yaklaşım doğrusal olmayan sistemlerin hesabında yaygın olarak kullanılan ve doğrusal olmayan şekil değiştirmelerin belirli kesitlerde toplanması varsayımına karşı gelen plastik mafsalların yerini fiber elemanlar almaktadır. Fiber eleman modelinde yapı sistemini oluşturan elemanlar boyuna doğrultuda çekirdek beton, kabuk beton ve donatı olmak üzere 3 farklı eleman bölünür.

1.1. Tezin Amacı ve İçeriği

Yapısal mühendislik uygulamalarında çerçeve türü taşıyıcı sistemler (kolon, kiriş) için doğrusal olmayan analiz yöntemleri geliştirilmiş ve iyi tanımlanmış

olmasına rağmen, özellikle perdeler ve perde-çerçeve sistemler için doğrusal olmayan modellerin pratikte benimsenmesi adına iyileştirilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada perdelerin doğrusal olmayan modeli için 2 farklı yaklaşım ile çözüm yapılacaktır. Fiber model ve plastik mafsallı model ile modellenecek, başlıklı ve başlıksız perdelerin davranışları incelenecektir.

Başlıklı ve başlıksız olmak üzere perdeli-çerçeveli taşıyıcı sisteme sahip 5 katlı dört adet bina modellenmiştir. Her bir binaya doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz uygulanmıştır. Perde duvarlar fiber elemanlar ile veya orta-dikme çubuk elemanları ile modellenmiştir. Orta-dikme çubuk modeli için doğrusal olmayan malzeme davranışı plastik mafsallar (P-M-M etkileşimli) kullanılarak modellenmiş; fiber eleman modelinde ise beton ve donatılar ayrı ayrı tanımlanarak modellenmiştir.

Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yapılarak taşıyıcı sistem elemanlarının tekrarlı yükler altındaki dinamik davranışı incelenmiştir. Doğrusal olmayan hesapta üç yer hareketi kullanılarak sonuçların maksimumu değerlendirilmiştir. Farklı modellerin deplasman ve plastik dönme gibi sonuçları karşılaştırılmıştır.

2. DEPREME DAYANIKLI YAPI TASARIMININ TEMEL İLKELERİ VE PERDE DAVRANIŞI

Modelleme aşamasına geçmeden önce bu bölümde, perde davranışı ve depreme dayanıklı yapı tasarımında gerekli olan dayanım, rijitlik, süneklilik gibi temel ilkeler, ardından perdeli-çerçeve taşıyıcı sistemler açıklanmaya çalışılmıştır.

2.1. Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımının Temel İlkeleri

Deprem yüküne maruz kalan yapı taşıyıcı sisteminde ve taşıyıcı sistem oluşturan elemanların her birinde, deprem yüklerini sürekli ve güvenli olarak aktarılmasını sağlayacak yeterlikte rijitlik, dayanım bulunmalıdır. Deprem enerjisinin önemli bir bölümünün taşıyıcı sistemin sünek davranış ile tüketilmesi için sünek tasarım ilkerine uyulmalıdır.

2.1.1. Dayanım

Dayanımın sağlanması için taşıyıcı sistemi oluşturan elemanların tasarım yüklerini güvenle taşıyabilecek biçimde boyutlandırılması ve detaylandırılması gerekmektedir [4].

Deprem yönetmeliğinde binaların depreme dayanıklı tasarımının ana ilkesi; hafif şiddetteki depremlerde binalardaki yapısal ve yapısal olmayan elemanların herhangi bir hasar görmemesi, orta şiddetteki depremlerde yapısal ve yapısal olmayan elemanlarda oluşabilecek hasarın sınırlı ve onarılabilir düzeyde kalması, şiddetli depremlerde ise can güvenliğinin sağlanması ile kalıcı yapısal hasar oluşumunun sınırlandırılmasıdır.

2.1.2. Rijitlik

Yeterli rijitlik, taşıyıcı sistemin tasarım yükleri etkisinde oluşabilecek yer değiştirmelerinin sınırlandırılması ile sağlanmaktadır. Bu sınır oluşabilecek hasar düşünülerek görel kat ötelenmelerinin sınırlandırılması ile tanımlanmaktadır. Sınırlar DBYBHY (2007) düzensiz binalarda plan ve düşey doğrultuda belirlenmiştir. Görel

kat ötelemelerinin büyük olması, ikinci mertebe etkilerinin büyümesine ve kararlılığın azalmasına neden olmaktadır.

Rijitlik için düşey taşıyıcı elemanların her iki doğrultudaki kesit boyutları, malzeme kalitesi (elastisite modülü) ve mesnetlenme biçimi önemli olmaktadır. Yatay yükler etkisinde yapının ötelenmesinin yükseklik boyunca değişimi, taşıyıcı sisteme bağlı olmaktadır.

2.1.3. Süneklik

Süneklik, dayanımı kaybetmeden şekil-değiştirme yapabilme dolayısıyla enerji tüketebilme özelliğine verilen addır. Yapıların şiddetli depremde oluşacak etkileri elastik olarak karşılamaları ekonomik değildir. Bu nedenle şiddetli depremlerde yapıların hasar göreceği kabul edilir. Deprem etkisinde sünek davranış gösteren bir yapı; eleman ve birleşimlerinin doğrusal olmayan davranışları sonucu büyük miktarda enerji yutabilmektedir. Deprem enerjisinin sünek davranış ile tüketilmesi için sünek tasarım ilkelerine uyulmalıdır. Depremlerde sünekliğin sağlanamaması büyük hasar nedenlerinden biri olarak gözlenmiştir.

Beton ve çelik malzeme sünekliği bakımından karşılaştırıldığında betonun gevrek, çeliğin sünek bir davranış gösterdiği gözlemlenmektedir. Betonun sargı donatısı ile sarılması durumunda dayanımı ve daha büyük oranda sünekliği artmaktadır.

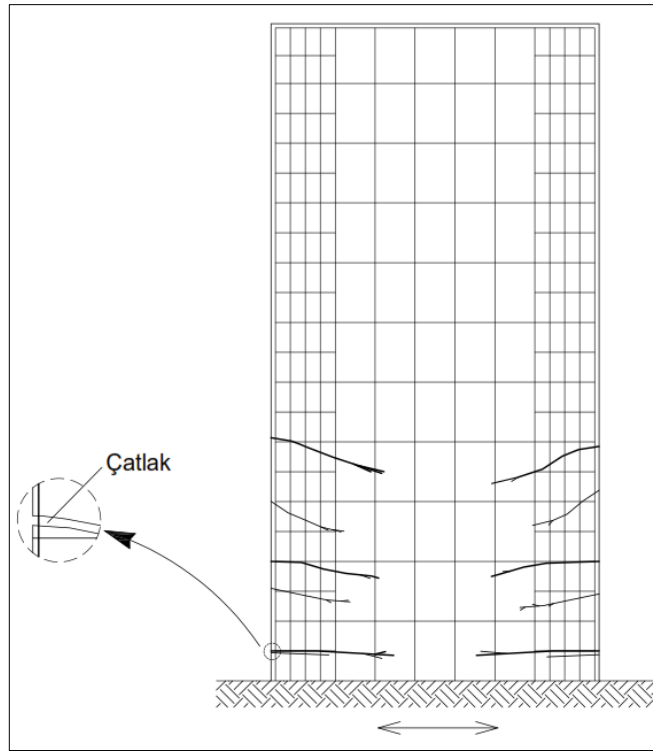
Betonarme elemanların eğilme momenti altında donatının akma gerilmesine erişip büyük plastik uzamalar yapması sünek bir göçme modudur. Buna karşılık kesme kuvveti altında betonda oluşan çekme gerilmeleri veya basınç gerilmeleri gevrek kırılmaya yol açar.

2.2. Perde Davranışı

DBYBHY (2007)'de planda uzun kenarının kısa kenarına oranı 7'den büyük olan düşey taşıyıcı elemanlar perde olarak adlandırılmaktadır. Perdeler yatay yüklerin karşılanmasında ve yer değiştirmelerin sınırlandırılmasında etkili olan düşey taşıyıcı elemanlardır. Yapı içerisine uygun şekilde yerleştirilen perdeler, sistemin yatay rijitliğini artırarak depremde hasara neden olan görelî yer değiştirmelerin azalmasını

sağladığı gibi yapısal olmayan hasarların sınırlandırılmasında da etkili olur. Perdelerin ana görevi yatay yükleri taşımak ve yapının yatay ötelenmesini sınırlamaktır. Dolayısıyla eğilme dayanımlarına kesme dayanımlarından önce ulaşarak sünek davranmaları sağlanmalıdır. Perde davranışı yapının genel deprem davranışının belirlenmesinde önemli rol oynar [5].

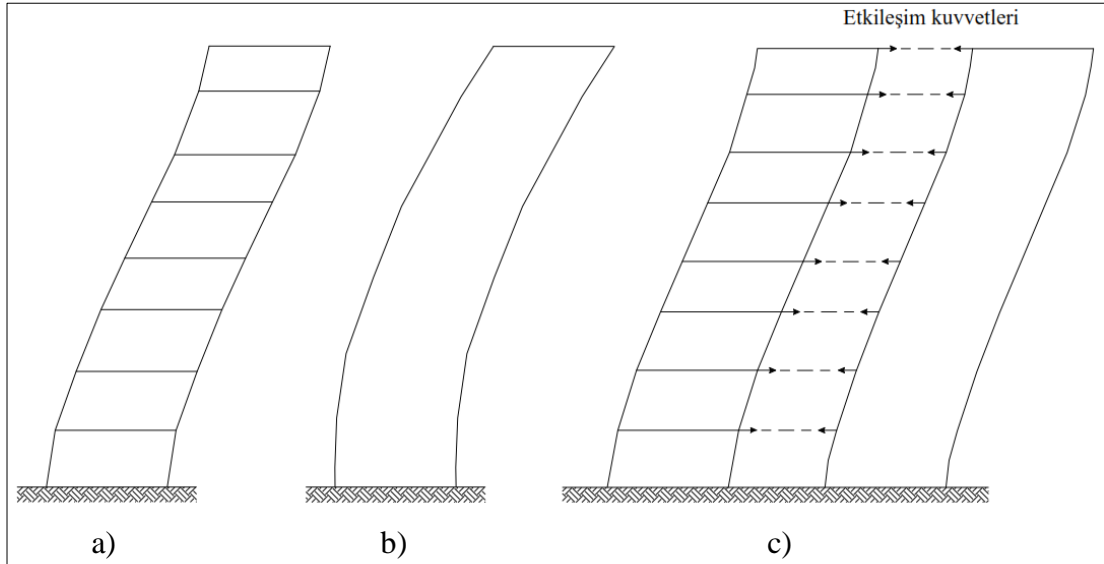
Perdelerde yatay yüklerden dolayı eğilme momenti ve kesme kuvveti oluşurken, düşey yüklerden dolayı normal kuvvet meydana gelir. Deprem davranışı bakımından perdelerin tersinir çevrimsel yükler etkisinde doğrusal olmayan davranışı önem kazanmaktadır. Yön değiştiren ve donatıyı akma sınırına kadar zorlayan düzeydeki iç kuvvetler altında perdenin her iki uç bölgesinde donatılarda kalıcı şekil değiştirmeler ortaya çıkacak, çatlakların genişliği artmış olacaktır (Şekil 2.1). Bu çatlaklar yükün kalkması durumunda tam olarak kapanmayacağından yük yeniden tersinir yönde etkilediğinde kesitteki beton basınç gerilmesi alamayacaktır. Bu durum tüm basınç kuvvetini karşılamak zorunda kalan donatının akma sınırına ulaşmasına kadar sürecektir. Beton kesitin her iki uç bölgesinde kapanmayan geniş çatlakların, perdenin kesme kuvvetini aktarma kapasitesini önemli ölçüde azaltacaktır [4].



Şekil 2.1: Yön değiştiren yükler etkisinde perde davranışı.

2.3. Perdeli-Çerçevesel Taşıyıcı Sistemler

Yatay ve düşey yüklerin tamamının perdeler ve çerçeveler ile birlikte taşındığı sistemlerdir. Yapı yüksekliği arttıkça yatay kuvvetlerin etkileri artar. Temel kotuna inildikçe kesme kuvveti artar. Dolayısıyla çerçeve sistemlerde kolon boyutlarının büyümesine yol açarak ekonomik olmaktan çıkar. Perdelerin eğilme rijitlikleri çerçevelere nazaran çok büyük olduğundan yatay yüklerin önemli bir kısmını karşılarlar. Çerçevesel sistemlerde yükseklik ile birlikte görelî kat ötelemeleri azalmakta (kayma tipi davranış), perdeli-çerçevesel sistemlerde yükseklik ile birlikte görelî kat ötelemeleri artmaktadır (eğilme tipi davranış). (Şekil 2.2)



Şekil 2.2: Yatay yük etkisinde çerçeve-perde etkileşimi. a) Çerçevesel sistem, b) Perdeli sistem, c) Perde-çerçevesel sistem.

Az katlı perdeli-çerçevesel yapılarda deprem yükünün önemli kısmı perdeler tarafından karşılanır. Çok katlı perdeli-çerçevesel yapılarda kat sayısı arttıkça üst katlarda perdelerin yatay yüklerden aldığı pay azalmakta, çerçeveler daha etkili olmaktadır [6].

Perdelerin plandaki yerlerinin belirlenmesinde binanın fonksiyonu ve mimari nedenler etkili olur. Ancak, planda perde yerlerinin simetriyi sağlayacak biçimde, yapının burulma rijitliğini attırması bakımından planda çevreye yerleştirilmesi uygundur. Taşıyıcı sistemin rijitliğini büyük ölçüde arttıran perdelerin iki doğrultuda dengeli biçimde yerleştirilmesi tercih edilmelidir [7].

3. BETONARME PERDELERİN MODELLENMESİ

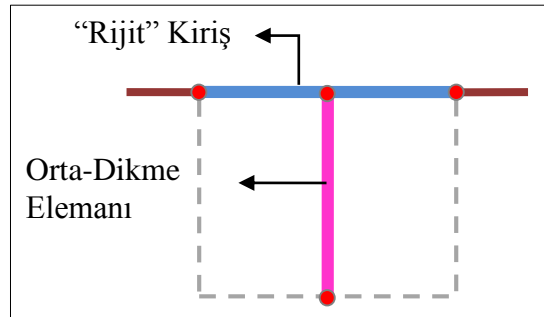
Bu bölümde betonarme perdelerin doğrusal ve doğrusal olmayan farklı modelleme teknikleri açıklanmaya çalışılmıştır.

3.1. Doğrusal Modeller

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

3.1.1. Orta-Dikme Çubuk Modeli

Perde duvarlar, bir dizi çerçeve elemanı kullanılarak modellenmiştir. En yaygın modelleme tekniği perde rijitliğini tarif etmek için bir orta-dikme çubuk elemanı kullanımı ve kesişen kirişler ile döşeme bileşenlerinin uygun bağlantılarına izin vermek için yatay çubuk elemanları (rijit kirişler) kullanmaktır. Bu modelde dikkat edilmesi gereken en önemli nokta, yatay çubuk elemanlarının rijitliklerinin doğru olarak atanmasıdır. Rijit kirişlere çok büyük rijitlik değerleri (sonsuz rijit kabulü) atanması durumunda, özellikle perdeye bağlanan diğer yapısal elemanlarda gerçekçi olmayan kesit etkilerinin oluşmasına neden olur.



Şekil 3.1: Perde için orta-dikme modeli.

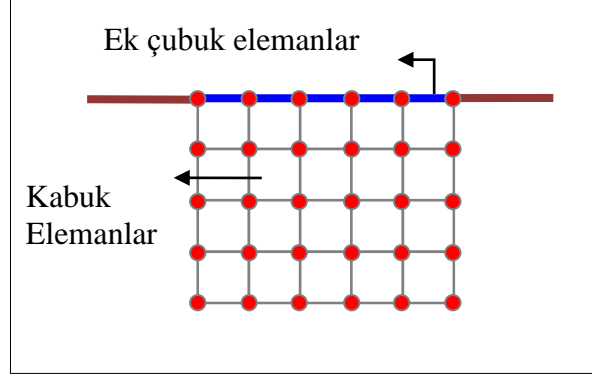
Bu yaklaşım pratikte düzlemsel perde duvarlı bina türü yapıların doğrusal ve doğrusal olmayan analizlerinde yaygın olarak kullanılır. Bu model birbiriyle etkileşen çekirdek perde sistemlerinde, perde duvar uzunluğunun çok büyük olduğu durumlarda, yapı yüksekliği boyunca daralan ya da eğimli perde duvarlarda güvenilir sonuçlar vermemektedir [8].

3.1.2. Kabuk Modeli

Perde duvarlı bina türü yapıların 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 [9]. 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 modellenebilmesinin sağlanmasıdır.

Kabuk eleman denklemleri düzlem-içi dönme serbestlik derecesini içermesine rağmen, çözümsel sonuçlar göstermektedir ki bu dönme serbestlik derecesinden elde edilen sonuçlar yükleme şartları ve ağ sıklığına karşı tutarsız ve aşırı duyarlıdır. Bu durum, 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[8].



Şekil 3.2: Perde için kabuk eleman modeli.

3.2. Doğrusal Olmayan Modeller

Perde duvar elemanlarının doğrusal olmayan modellerinde, 3-boyutlu doğrusal olmayan katı elemanlar, 2-boyutlu doğrusal olmayan kabuk elemanlar ve çubuk elemanlar olmak üzere, karmaşıktan basitleştirilmişe doğru farklı yaklaşımlar kullanılmaktadır.

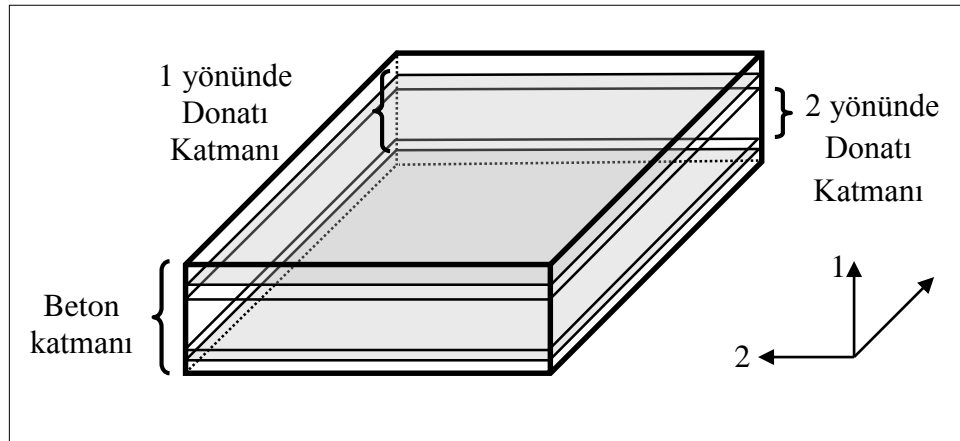
3.2.1. Sürekli Sonlu Eleman Modeli

Perde duvarlar, doğrusal olmayan katı elemanların kullanıldığı sürekli elemanlarla ANSYS, ABAQUS gibi bazı gelişmiş yazılımlar kullanılarak modellenir. Sürekli elemanlar beton ve donatı model detaylarında kesin üstünlük sunarlar [10]. Donatı üç farklı yönde tanımlanabilir ve beton modeli elastisite modeli; elastisite akış teorisi, Von Mises 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 [11].

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 [8].

3.2.2. Çok Katmanlı Kabuk Elemanı Modeli

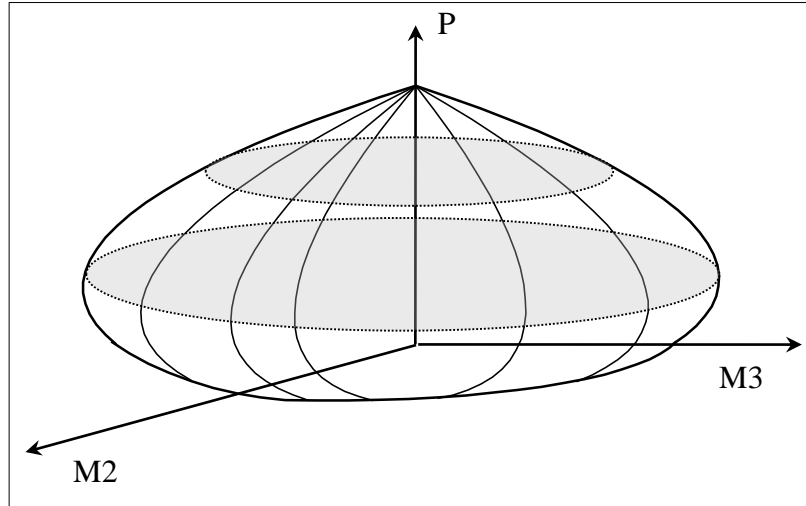
Perdeler modellenirken çok katmanlı kabuk elemanlarının yayıldığı ağlar kullanılır. Çok katmanlı kabuk elemanı, kompozit malzeme mekaniği prensiplerine dayanır ve bu düzlem/düzlem dışı eğilme çifti ve düzlemsel eğilme-kesme çifti gibi betonarme perdelerin doğrusal olmayan davranışlarını simule edebilir [12]. Kabuk elemanı, farklı kalınlıklardaki bir kaç katmandan oluşur ve bu katmanlar farklı özellikteki malzemelerden meydana gelir (Şekil 3.3). Bu, donatı çeliğinin ya da birden fazla katman içine yayılabilmesi anlamına gelir. Sonlu elemanlar hesabı sırasında bir eleman için aksenal 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 uygulamaları 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 [8].



Şekil 3.3: Çok katmanlı kabuk eleman.

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

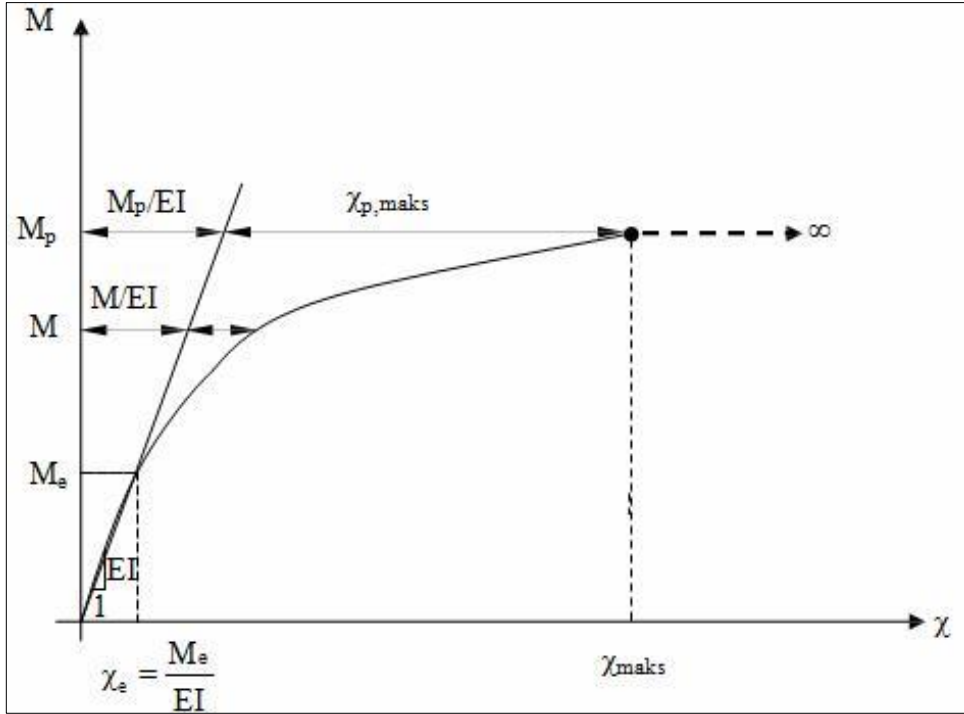
Çerçeve modeli, orta-dikme ve rijit kiriş elemanlarından oluşmaktadır. Doğrusal olmayan malzeme davranışı, orta-dikme elemanındaki bir plastik mafsallı ile modellenilebilir. Plastik mafsallı yapısal model, plastik eğilmenin beklendiği bölgeye bir elasto-plastik yay elemanı yerleştirilerek oluşturulur. İki elasto-plastik yay arasındaki eleman elastik olarak modellenir. Elastik olmayan şekil değiştirmelerin tamamının bu yaylarda meydana geldiği varsayılır [2]. 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 mafsallı kavramına dayanır (Şekil 3.4). Plastik mafsalların (P-M-M Etkileşimli), yapı elemanlarının uçlarındaki plastik bölgelerde oluştuğu ya da elemanların hesap açıklığı boyunca dağıldığı kabul edilir [2]. FEMA 356, iki doğrusal parçalı (bilinear) moment-dönme ilişkisine sahip perdeler için kabul kriterleri tanımlamakta ve plastik mafsallı özellikleri önermektedir (Şekil 3.4). Daha kapsamlı plastik mafsallı (P-M-M Etkileşimli) modeli, mafsallı plastik davranışını tarif eden fiber model kullanarak hesaplanabilir. Plastik mafsallı tanımları mühendislik uygulamalarında perdelerin doğrusal olmayan analizinde doğrudan kullanılabilir [8].



Şekil 3.4: Plastik (P-M-M etkileşimli) mafsallı.

3.2.3.1. Plastik Mafsal Hipotezi

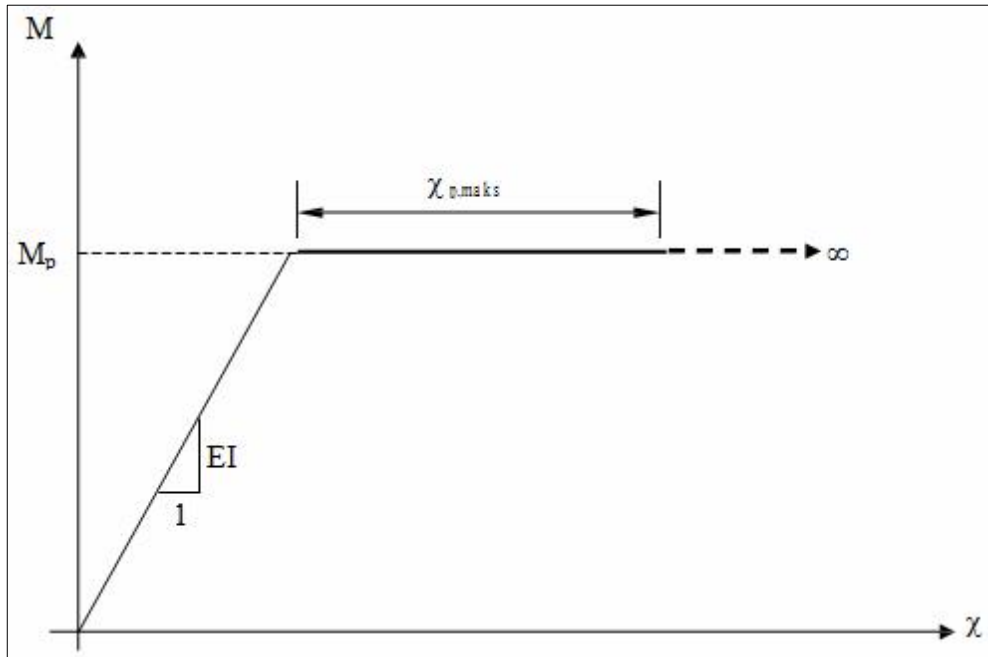
Betonarme kesitlerde moment etkisi altında dönme meydana gelmektedir. Yeterli süneklığe sahip betonarme kesitlerin eğilme momenti-eğrilik ($M-\chi$) ilişkileri incelendiğinde, eğilme momenti-eğrilik bağıntılarının esasında iki farklı bölgeden oluştuğu gözlenmektedir (Şekil 3.5). Birinci bölgede, eğilme 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 [13].



Şekil 3.5: Eğilme momenti-eğrilik diyagramı.

Plastik mafsalsal hipotezinde, eğilme momenti-eğrilik bağıntısını oluşturan bu iki bölge, biri yatay olmak üzere iki doğru parçası ile idealleştirilmektedir (Şekil 3.6). 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 mafsalsal (plastik kesit) adı verilen belirli kesitlerde toplandığı, bunun dışındaki bölgelerde sistemin doğrusal elastik davrandığı varsayılabilir. Plastik dönmelerin bu şekilde belirli bir bölgede toplanması plastik mafsalsal (plastik kesit) olarak adlandırılmaktadır. Plastik mafsallarda kesit dönmeleri eğilme momentinin en büyük değerine (M_p) ulaşması ile ortaya çıkmaktadır. Plastik mafsalsal adı mafsalsaldan ayıran en önemli özellik, plastik mafsalsal bölgelerinde kesitin moment artışı olmaksızın dönmeye devam etmesidir.



Şekil 3.6: İdealleştirilmiş bünye bağıntısı.

Plastik mafsalsal hipotezinin uygulanmasında, gerçek eğilme momenti-eğrilik bağıntısı;

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

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

şeklinde iki doğru parçası ile idealleştirilmektedir (Şekil 3.6).

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

Plastik mafsal 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.

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

Burada L_p plastik mafsal 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 mafsal türleri aşağıda sıralanmıştır;

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

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

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

V Plastik Mafsalı: 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 Mafsalı: Burulma mafsalıdır. Saplama kirişlerin bağlandığı çerçeve kirişlerinde kullanılabilir [14].

4. PERFORM-3D MODELLEME YAKLAŞIMLARI

Bu bölümde kolon, kiriş ve asıl araştırılmak istenen perdelerin doğrusal olmayan davranışlarını PERFORM-3D ile modelleme teknikleri anlatılmaya çalışılacaktır.

4.1. Kolon ve Kirişlerde Eğilme ile Eksenel Kuvvet Altında Doğrusal Olmayan Davranışın Modellenmesi

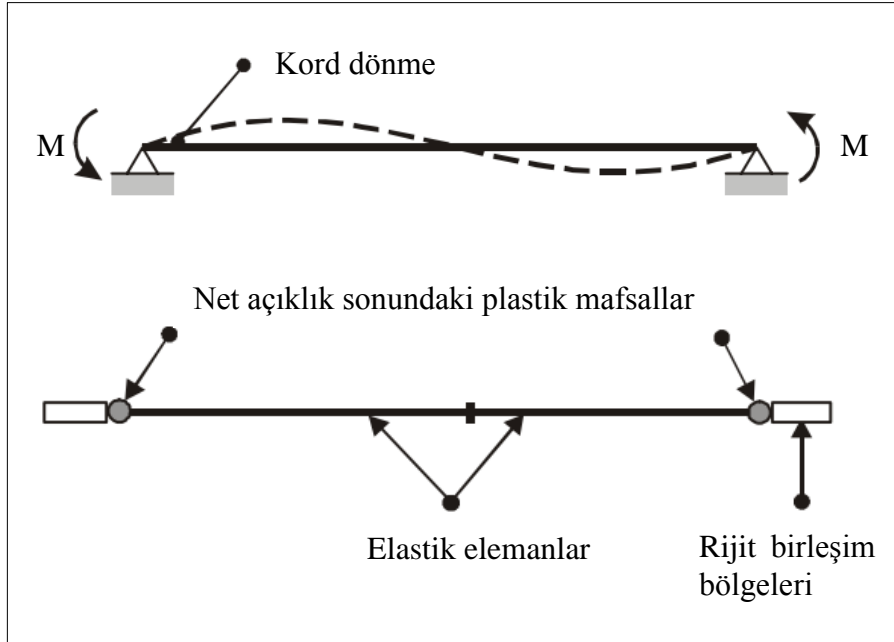
Kirişlerin eğilme ve eksenel kuvvet altında doğrusal olmayan davranışı Perform-3D programında Kord dönme modeli, Plastik Mafsal Modeli, Plastik Bölge Modeli, Detaylı Sonlu Eleman Modeli ve Fiber Model olmak üzere 5 farklı teknik ile modellenabilir (Tablo 4.1). Bu tekniklerden Kord dönme modeli en pratik modelleme yaklaşımı olurken, Detaylı Sonlu Eleman Modeli en kapsamlı modelleme tekniği olarak ortaya çıkmaktadır. Yığılı plastik davranışını tanımlayan Plastik Mafsal Modeli ile yayılı plastik davranışını tanımlayan Plastik Bölge Modeli bu iki uç modelleme yaklaşımının arasında kalmaktadır. Söz konusu modelleme teknikleri Çizelge 4.1’de verilmiş olup, çizelgeden de görülebileceği üzere detaylı modelleme yapıldıkça pratik modelleme yaklaşımından uzaklaşmaktadır. Her modelin detayları ilerleyen bölümlerde ayrı ayrı verilmiş olup, gerek modelleme kolaylığı gerekse deprem yönetmeliğine uygunluğu açısından tez kapsamında kiriş ve kolonların modellenmesinde Plastik Mafsal Modeli yaklaşımının kullanılmasının daha uygun olacağı görülmüştür. Bununla birlikte perdelerin modellenmesinde Fiber Modelleme tekniğinin kullanılabilirliği araştırılacaktır [15].

Tablo 4.1: Kolon ve kirişlerin doğrusal olmayan davranışının modellenmesi.

PERFORM 3D Kolon & Kiriş Modelleri		
Pratik Modelleme	Kord dönme modeli	Detaylı Analiz
	Plastik Mafsal Modeli	
	Plastik Bölge Modeli	
	Fiber Model	
	Detaylı Sonlu Eleman Modeli	

4.1.1. Kord Dönme Modeli

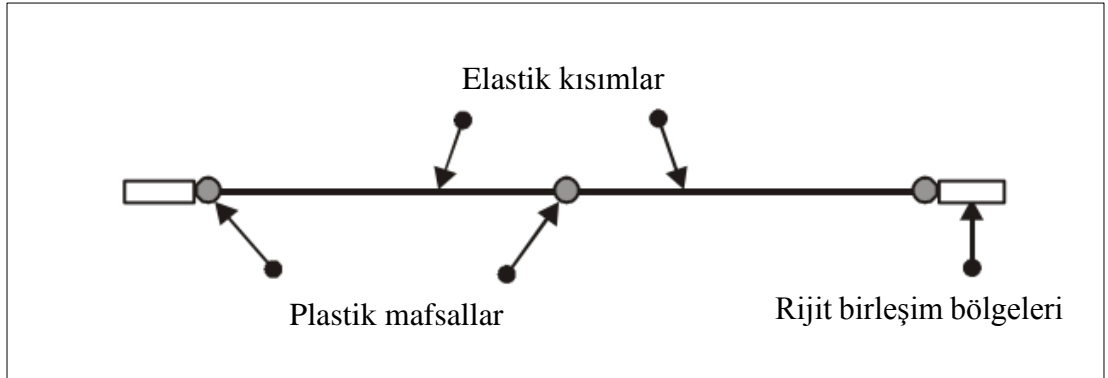
Kord dönme modeli kirişlerin doğrusal olmayan davranışının Perform-3D ile tanımlanmasında kullanılan en basit model olmasına karşın, modelin kullanılabilirliği birçok açıdan kısıtlıdır (Şekil 4.1). Söz konusu modelin kullanılabilmesi için kirişin üzerinde yayılı yük olmaması, simetrik sisteme sahip olması ve zayıf yönde moment bulunmaması gibi şartlar gereklidir. Bu modelleme tekniğinde büküm noktasının (inflection point) önceden tahmin edilmesi ve modellemenin bu büküm noktasına göre yapılması önemlidir. Örneğin basit mesnetli tek açıklıklı bir çerçevede kolonların büküm noktası mesnet hizasında alınmalı, kirişlerin büküm noktası ise kiriş açıklık ortasında tanımlanmalıdır. Dolayısıyla Perform-3D modellemesinde kolonlar tek çubuk elemandan oluşturulurken kirişler iki çubuk elemandan meydana getirilmelidir. Kord dönme modelinde, kapasite değerlendirilmesinde kullanılacak kuvvet-deformasyon eğrisi uç momenti-Kord Dönmesi (End Moment-Chord Rotation) olarak tanımlanmaktadır. Kord dönme modeli kullanılması ile hesaplanacak kord dönmesine bağlı kapasitelerin sınır değerleri yalnızca Amerikan şartnamesi “Seismic Rehabilitation of Existing Buildings” vermektedir. Bu sebeple modelleme çok basit olmasına karşın kullanılabilirliği çok kısıtlıdır [15].



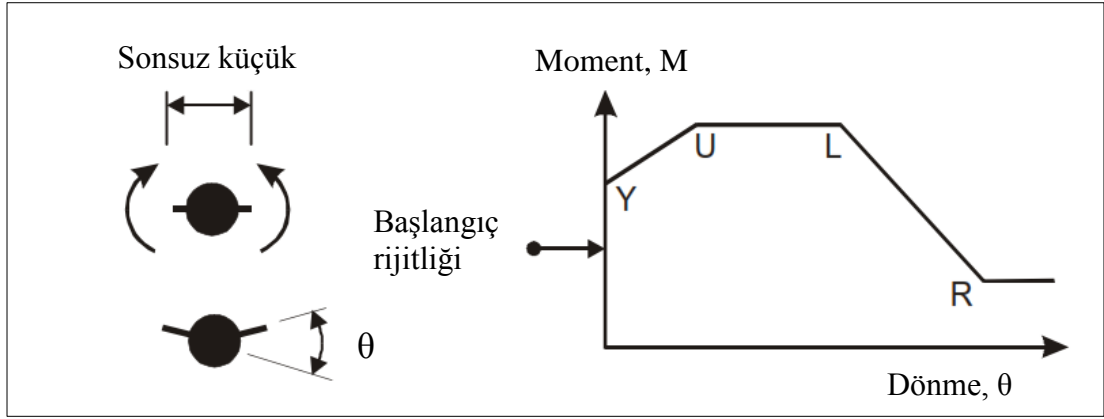
Şekil 4.1: Kord dönme modeli.

4.1.2. Plastik Mafsal Modeli

Yığılı plastik davranış modelinde doğrusal olmayan şekil değiştirmelerinin plastik mafsal adı verilen belirli kesitlerde toplandığı, bunun dışındaki bölgelerde sistemin doğrusal-elastik davrandığı varsayılmaktadır. Perform-3D’de tanımlı Plastik Mafsal Modelinde, kapasite değerlendirilmesinde kullanılacak kuvvet-deformasyon eğrisi Moment-Plastik Mafsal Dönmesi (Moment–Hinge Rotation) olarak tanımlanmaktadır (Şekil 4.2). Dolayısıyla kiriş ve kolonlarda plastik mafsal meydana gelmesi beklenen kesitlere, Plastik Mafsal Modeli tanımlaması yapılarak plastik mafsal dönmeleri hesaplanabilir. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY-2007)’te Plastik Mafsal Modeli kullanılarak yapılacak analiz sonucunda bulunan plastik mafsalların, plastik eğriliğe çevrilmesi ve kesit bazında yapılacak moment-eğrilik analizi ile toplam eğriliğe karşı gelen kesit birim şekil değiştirmelerinin hesaplanması öngörülmektedir. Programdan çıkış bilgisi olarak alınan plastik mafsal dönmeleri kesit birim şekil değiştirmeler cinsinden ifade edilerek, DBYBHY-2007’ye göre yapısal performans değerlendirmesi yapılabilir. Programda Plastik Mafsal Modeli kullanılarak tanımlanan bir kiriş elemanının görüntüsü Şekil 4.3’te verilmiştir [15].



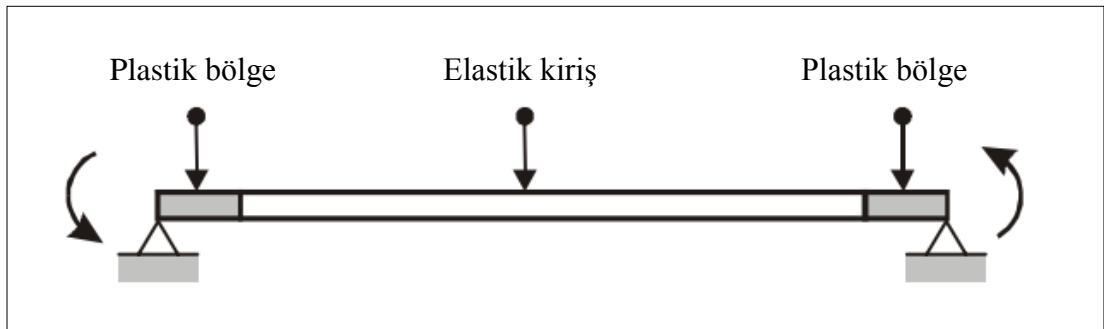
Şekil 4.2: Plastik mafsal modeli.



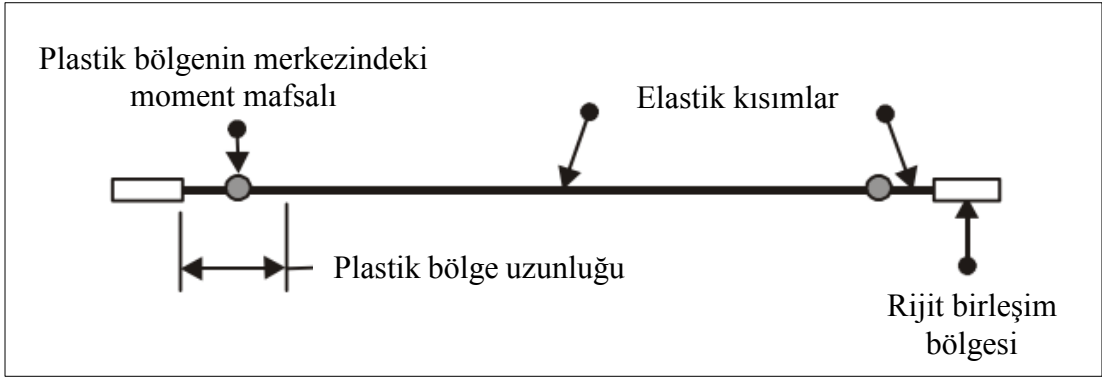
Şekil 4.3: Plastik mafsalsal.

4.1.3. Plastik Bölge Modeli

Plastik Bölge Modelinde plastik deformasyonların belirli bir bölgede yayılı meydana geldiği kabul edilmektedir. Kapasite değerlendirilmesinde kullanılacak kuvvet-deformasyon eğrisi Moment-Plastik Mafsalsal Eğriliği (Moment-Hinge Curvature) olarak tanımlanmaktadır. Buradaki plastik mafsalsal eğriliği, plastik şekil değiştirmelerin meydana geldiği bölgedeki eğriliği tanımlamaktadır. Perform-3D programı ile yapılacak modellemede başlıca iki kısıtlama öngörülmüştür. Bunlardan ilki plastik mafsallaşmanın meydana geleceği alanın (plastic zone length) sabit olması, ikincisi ise plastik mafsalsal bölgesinin ya yığılı mafsalsal, ya da fiber elemanlarla modellenmesi gerekliliğidir. Şekil 4.5'te plastik şekil değiştirme bölgesinin plastik mafsalsal ile modellenmesi verilmiştir [15].



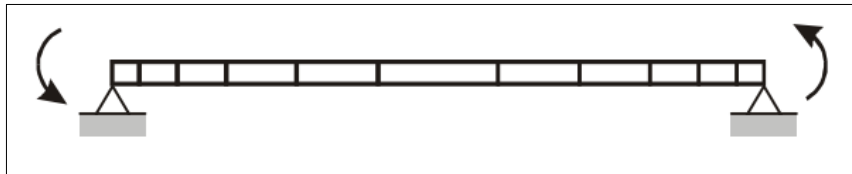
Şekil 4.4: Plastik bölge modeli.



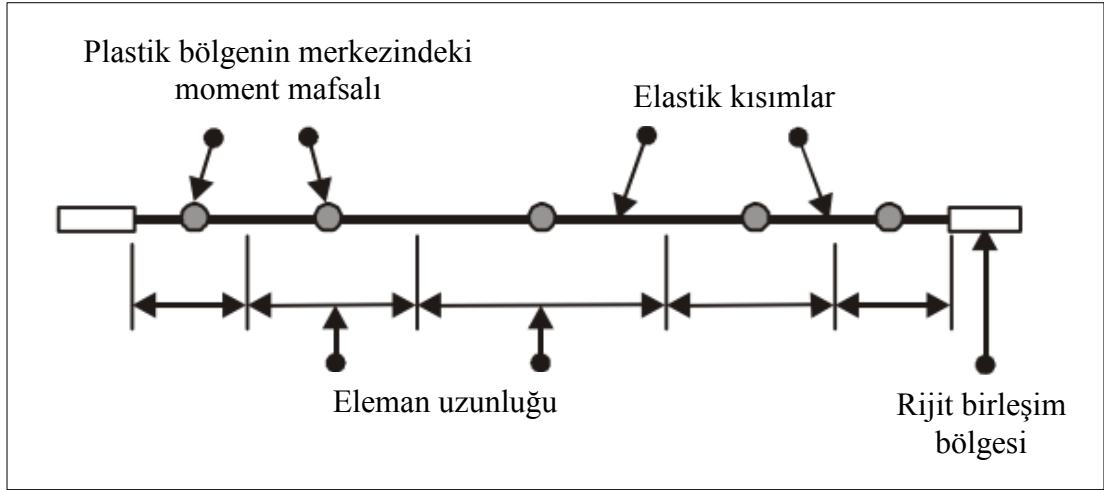
Şekil 4.5: Mafsallı plastik bölge modeli.

4.1.4. Detaylı Sonlu Bölge Modeli

Perform-3D ile Detaylı Sonlu Eleman Modellemesi kiriş veya kolonların çubuk uzunluğu boyunca sonlu elemanlara bölünmesi ile yapılabilmektedir (Şekil 4.6). Bu modele göre her bir sonlu elemanın rijitliği eleman rijitliğine, plastik mafsal uzunluğunun meydana geldiği bölge ise sonlu eleman uzunluğuna eşittir (Şekil 4.7). Bir başka ifade ile Perform-3D ile tanımlanabilen Detaylı Sonlu Eleman Modeli, Plastik Bölge Modelinin her bir sonlu elemana ayrı ayrı uygulanması ile oluşturulan bir modeldir [15].



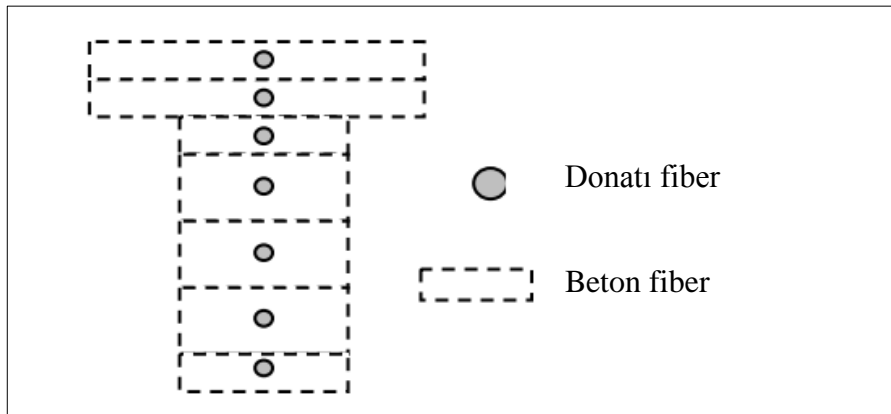
Şekil 4.6: Detaylı sonlu eleman modeli.



Şekil 4.7: Mafsallı detaylı sonlu eleman modeli.

4.1.5. Fiber Model

Plastik deformasyonun meydana geleceği bölgede fiber elemanlar kullanılarak modelleme yapılabilir. Fiber elemanlar ile modellemede, beton ve çelik ayrı ayrı programa tanıtır ve performans değerlendirmesinde kullanılacak değişken fiber eleman üzerindeki birim uzama, plastik kesit dönmesi veya eğrilik olabilir (Şekil 4.8).



Şekil 4.8: Kirişlerde fiber eleman model.

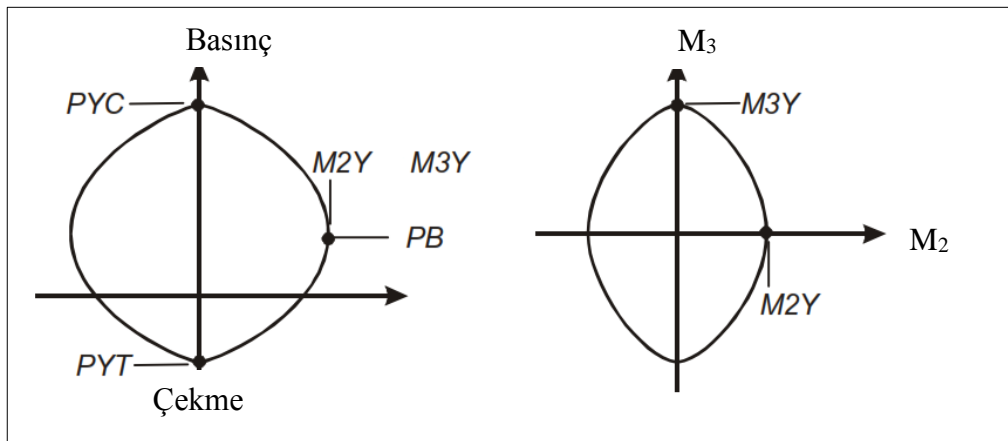
Programda iki tür fiber kesit tanımlaması mevcut olup bunlar kirişler için “Beam Inelastic Fiber Section” ve kolonlar için “Column Inelastic Fiber Section” olarak isimlendirilirler. Kirişlerde fiber elemanların özellikleri yalnızca düşey doğrultuda eğilme ile aksenal kuvvet etkisini hesaba katacak şekilde tanımlanabilirken, kolonlarda her iki doğrultuda eğilme ile aksenal kuvveti içerecek şekilde

modellenebilmektedirler. Fiber elemanlar ile modelleme yapılırken dikkat edilmesi gereken nokta plastik kesit özelliklerinin (uzama, dönme vs.) fiber elemanların tanımlı olduğu kesitin ortasında meydana geldiğinin kabulüdür. Bir başka ifade ile iki ucunda eşit ve ters işaretli moment meydana gelen bir kirişin tamamıyla fiber elemanlardan oluşması durumunda, program kesit özelliklerini orta noktaya göre alacağından kesitte hiçbir zaman akma meydana gelmeyecektir. Bu sebeple fiber elemanlar plastik şekil değiştirmenin meydana geleceği (plastic zone) bölge içerisinde sonlu uzunlukta tanımlanmalıdır.

Betonarme bir kesiti oluşturacak çelik ve beton fiber eleman adetleri için literatürde verilmiş bir değer yoktur. Bununla birlikte ufak bir örnek üzerinde donatının kaç ayrı fiber ile tanımlanması gerektiği araştırılabilir. Sonlu eleman yöntemine benzer şekilde, az sayıda fiber eleman kullanılarak yapılan modelleme sistemin gerçek davranışını yakalamada zorlanacağı gibi çok fazla sayıda fiber eleman kullanılarak yapılan modelleme de işlem süresini uzatacaktır [15].

4.1.6. Kolonlar

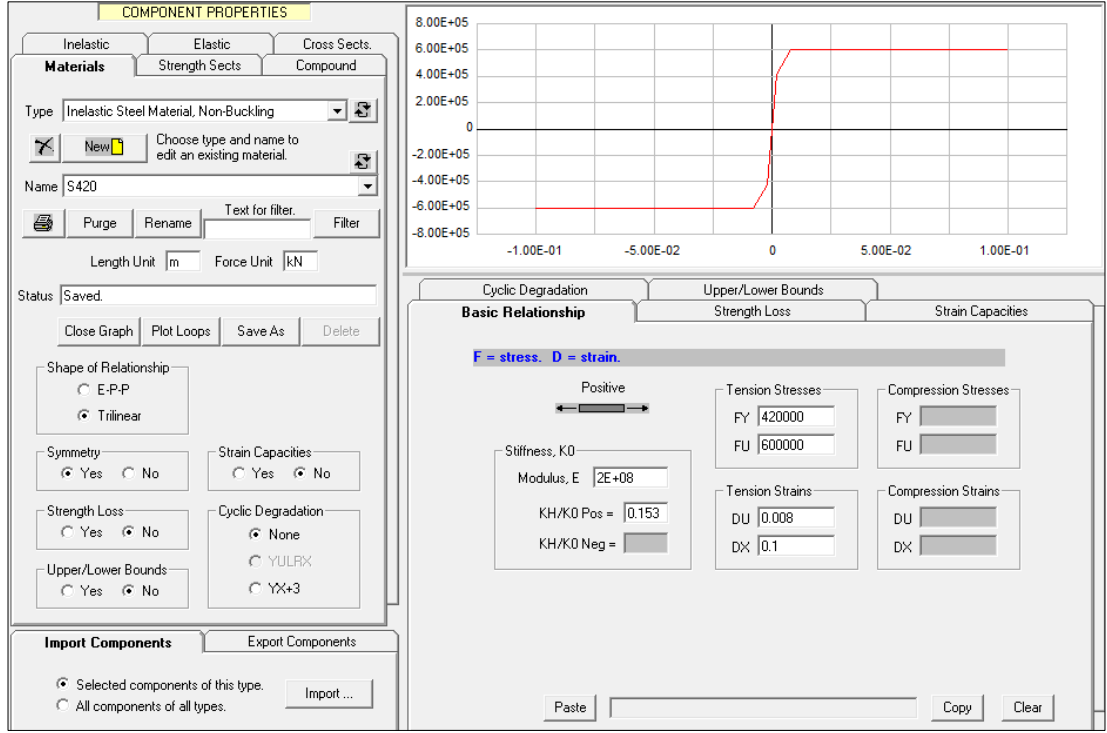
Betonarme kirişler için verilen beş model ve özellikleri kolonlar için de geçerlidir. Bununla birlikte kolonlarda kirişlerin aksine eksenel kuvvet ihmal edilemeyecek mertebede meydana geldiği için söz konusu iki kuvvetin kesit üzerinde etkileşiminin tanımlanması gerekmektedir. Perform-3D ile kolonların doğrusal olmayan davranışı plastisite teorisi altında akma yüzeylerine sahip karşılıklı etki diyagramı ile tanımlanan P-M-M mafsalı ile ifade edilebilir [15].



Şekil 4.9: P-M-M modeli için akma yüzeyi tanımı.

4.2. Donatı ve Betonun Doğrusal Olmayan Özelliklerinin Tanımlanması

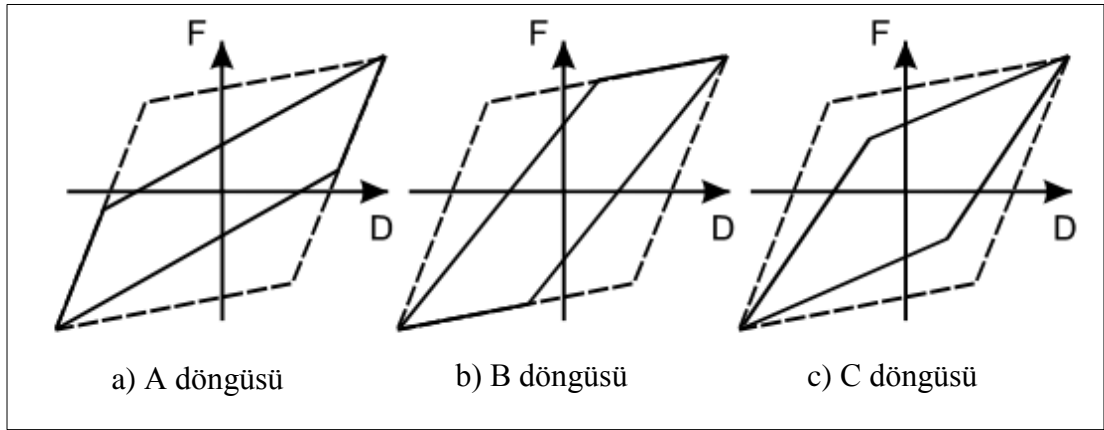
Beton ve donatının doğrusal olmayan malzeme özellikleri Perform-3D programı ile geniş bir yelpazede kullanılabilir. Örneğin, malzeme davranışı en basit biçimde bilineer (iki doğrusal) model ile tanımlanabileceği gibi, üç doğrusal ve dayanım azalmasını da göz önüne alan daha kompleks model ile de tanımlanabilir (Şekil 4.10). Sınır değerlerin hepsi, örneğin akma veya kopma dayanımı, programa kullanıcı tarafından girilmekte bu sayede hazır modellerin kısıtlayıcı özellikleri ortadan kalkmakta, deney sonuçlarını yakalamadaki başarı şansı artmaktadır.



Şekil 4.10: Malzeme gerilme - şekil değiştirme eğrileri.

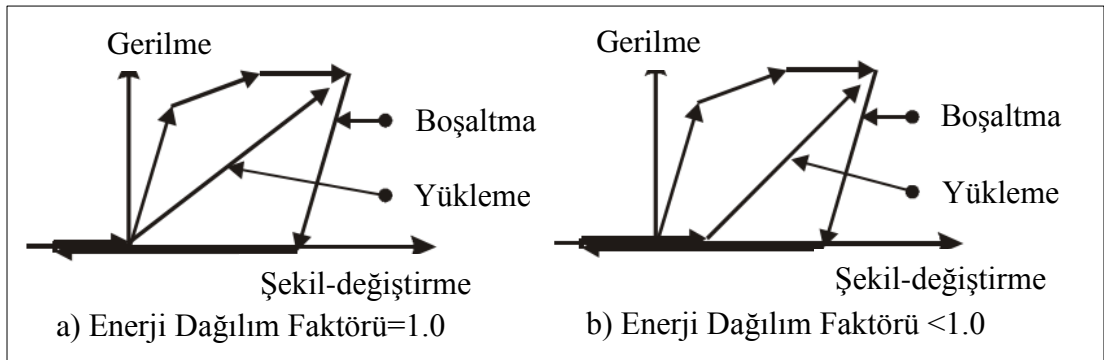
Çevrimsel yüklemde malzeme davranışının tanımlanması Perform-3D iki ana başlık altında yapılmaktadır. Bunlardan ilki yük boşaltma faktörü-YBF olarak tanımlanan ve +1 ile -1 arasında değer alabilen bölümdür. Bu kısımda -1 değeri çevrimsel harekette malzemede minimum rijitlik korunumu maksimum elastik kazanımı ifade ederken, +1 değeri maksimum rijitlik korunumunu minimum elastik kazanımı tariflemektedir. Örneğin Şekil 4.11'de maksimum rijitliğin korunumu (Döngü-A), minimum elastik kazanım (Döngü-B) ve her iki durumun arasında

göstermek üzere (Döngü-C), üç tip çevrimsel döngü grafiği verilmiştir. Bu grafiklerde kesik çizgilerle gösterilen döngü enerji azalmasının meydana gelmediği durumu (non-degraded energy) göstermektedir. Düz çizgi ile gösterilen eğri ise enerji azalmasını (degraded energy) dikkate alan döngüyü ifade etmektedir. Her üç tip için döngü sırasında enerji azalması aynı olup yaklaşık %55 civarındadır. Bu oran Döngü-A da maksimum rijitlik (YBF=+1) ile, Döngü-B de ise maksimum elastik kazanım (YBF=-1) ile sağlanmaktadır.



Şekil 4.11: Yük Boşaltma Faktörü-YBF tanımı.

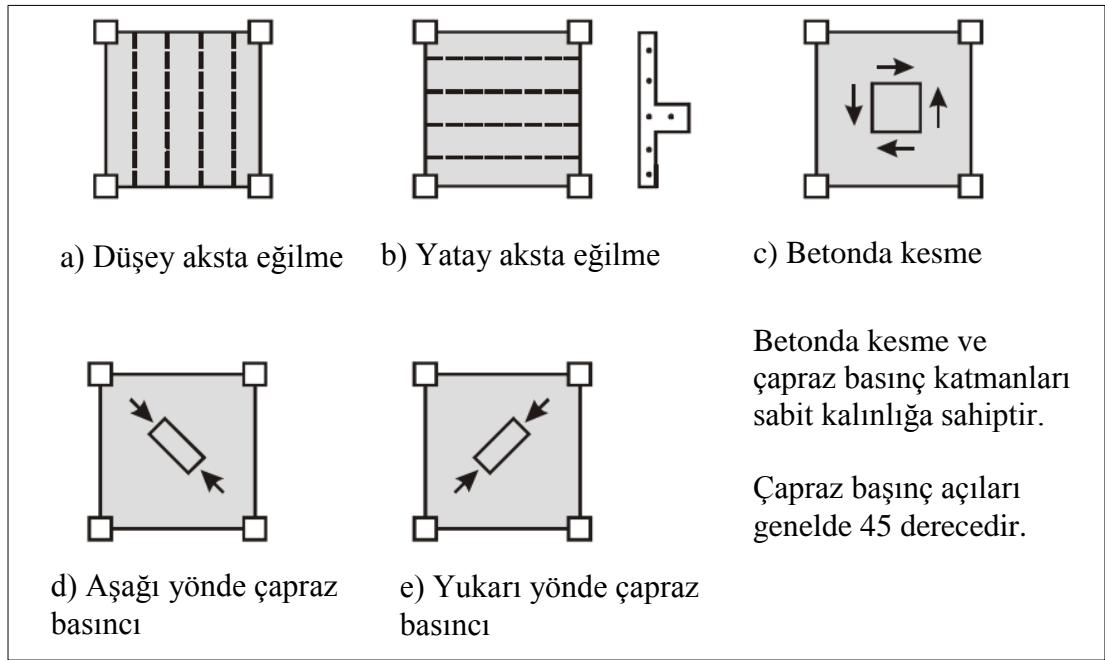
Yüklemede malzeme davranışının tanımlanmasında kullanılan ikinci parametre ise enerji azalmasının sayısal değeridir. Bu değer Enerji Dağılım Faktörü-EDF olarak tanımlanmış olup 1 ile 0 arasında değişmektedir. Örneğin Şekil 4.12’de EDF=1.0 (Döngü-A) ve EDF<1 (Döngü-B) için betonun gerilme şekil değiştirme grafiği verilmiştir. Şayet EDF=0 olarak tanımlanırsa yükleme ve boşaltma eğrileri üst üste düşecek ve herhangi bir enerji azalması meydana gelmeyecektir [15].



Şekil 4.12: Enerji Dağılım Faktörü-EDF.

4.3. Perdelerin Doğrusal Olmayan Davranışının Modellenmesi

PERFORM-3D’de perdeler, beş farklı katmanın (layer) birlikte çalışması ile modellenmektedir. Bu katmanlar, düşey (vertical) ve yatay (horizontal) yönde eğilme aksenal kuvveti temsil eden fiber elemanlar ile perdenin kayma davranışını modelleyen “Concrete Shear Layer” ve “Diagonal Compression Layer” elemanlarından oluşmaktadır.

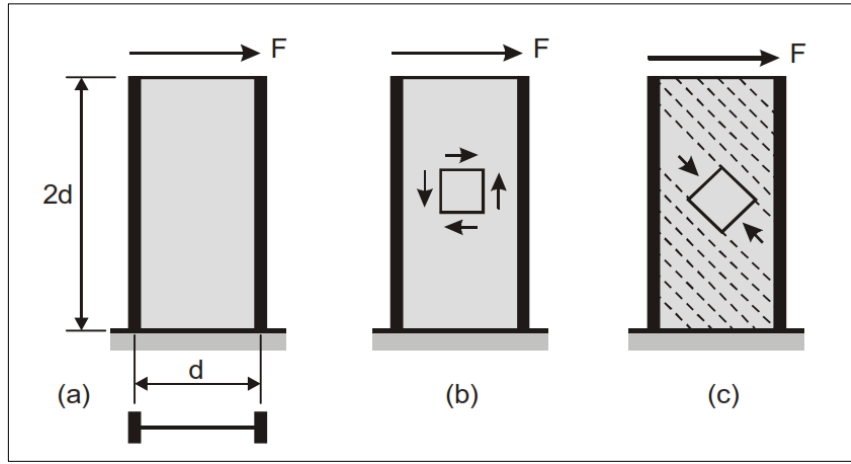


Şekil 4.13: Perde modellemesinde kullanılan katmanlar.

Perdelerin modellenmesi PERFORM-3D programı ile “General Wall Element” ya da “Shear Wall Element” olarak iki farklı tipte yapılabilmektedir. “Shear Wall Element” genellikle eğilme etkisindeki perdelerin modellenmesinde kullanılırken, “General Wall Element” daha kompleks ve içinde boşlukları olan perdelerin modellenmesinde kullanılmaktadır. Ayrıca “Shear Wall Element” modeli ile perdelerde yalnızca düşey yönde fiber eleman tanımlanabilirken, “General Wall Element” modelinde hem yatay hem de düşey yönde fiber elemanlar ile modelleme yapılabilmektedir.

Söz konusu iki model arasındaki diğer farklılık ise “Shear Wall Element” modelinde kesme kuvveti için yalnızca “Concrete Shear Layer” katmanını kullanılırken, “General Wall Element” modelinde “Diagonal Compression Layer” katmanları da

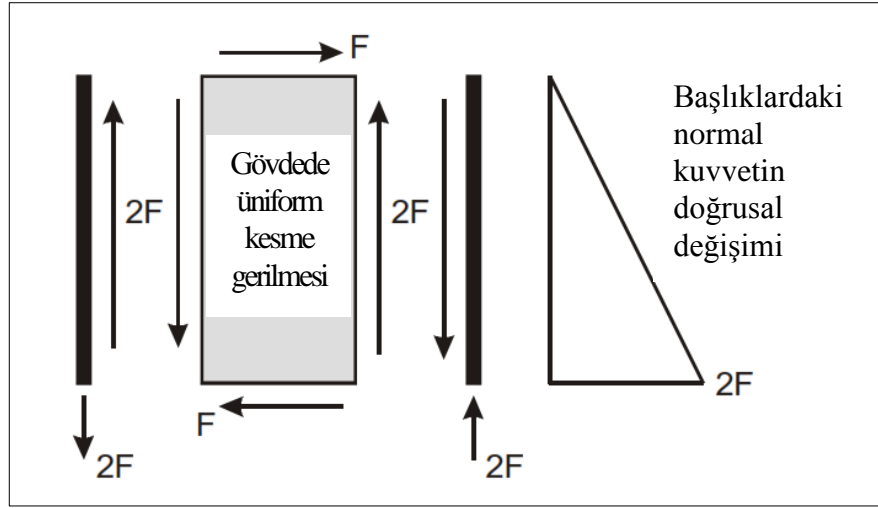
kullanılmaktadır. Söz konusu iki katman da perdelerin kesme kuvveti altında davranışını modellemekle birlikte, farklı çalışma prensipleri içermektedir. “Diagonal Compression Layer” kafes sistem benzeşim modelini (strut and tie model) temsil ederken, “Concrete Shear layer” perde gövdesinde sadece kayma gerilmelerinin olduğu klasik yaklaşımı temsil etmektedir. Örneğin, Şekil 4.13’te verilen yüksekliği “ $2d$ ” boyu “ d ” olan bir konsol perdenin, yatay “ F ” kuvveti altında perde uç bölgelerinin sadece aksenal kuvvet ile eğilme momentini, perde gövdesinin de yalnızca kesme kuvvetini karşıladığını varsayalım.



Şekil 4.14: Betonarme perde modeli. a) Betonarme perde, b) Concrete Shear Layer modeli, c) Diagonal Compression Layer modeli.

Perdenin “Concrete Shear Layer” ile “Diagonal Compression Layer” modellemeleri altında serbest cisim diyagramları Şekil 4.15’te verildiği gibi olacaktır. Bu diyagramlardan görüleceği üzere “Diagonal Compression Layer” modelinde “Concrete Shear Layer” modelinin aksine perde gövdesinde kayma gerilmeleri ile birlikte düşey ve yatay asal gerilmelerde oluşmaktadır. Bu durum “Diagonal Compression Layer” modelini biraz daha karışık hale getirmektedir. Ayrıca kafes sistem benzeşim modeli olan “Diagonal Compression Layer” ile perde kesme kuvveti dayanımı gerçek değer üzerine çıkabilmektedir.

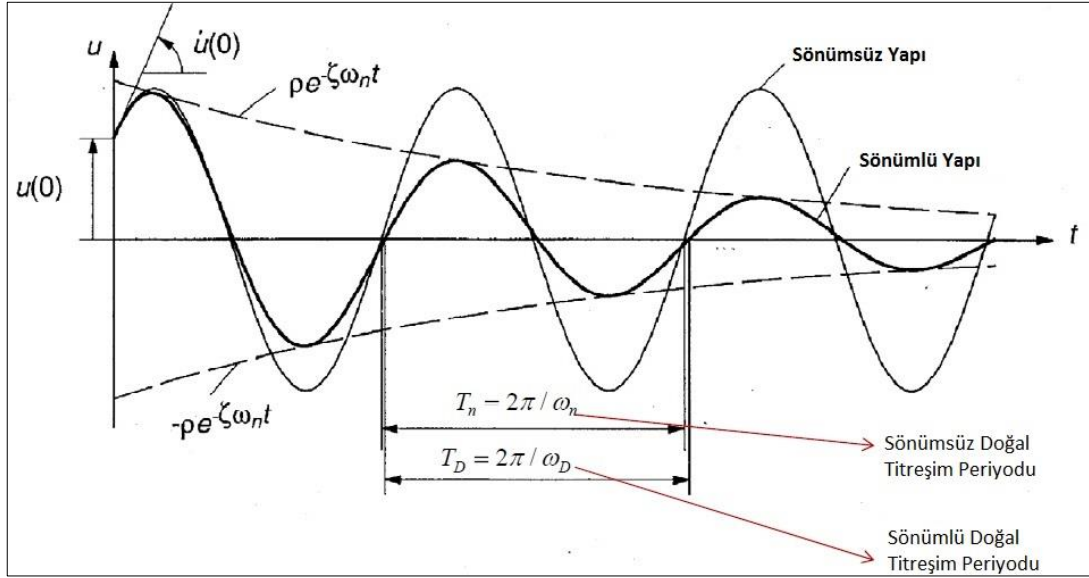
Bu sebeplerle birçok perde modellenmesinde perde gövdesinde yalnızca kayma gerilmelerinin olduğu “Concrete Shear Layer” ile modellenmektedir. Ayrıca FEMA 356’da da perde gövdelerinde yalnızca kayma gerilmelerinin olduğu model dikkate alınmaktadır [15].



Şekil 4.15: “Concrete Shear Layer” modellemesine göre perde serbest cisim diyagramı.

5. ZAMAN TANIM ALANINDA DOĞRUSAL OLMAYAN HESAP YÖNTEMİ

Zaman tanım alanında hesap yönteminde taşıyıcı sistem yapay yollarla üretilmiş veya kaydedilmiş veya benzeştirilmiş deprem yer hareketi kayıtları kullanılarak zamanın bir fonksiyonu olarak tanımlanır ve adım adım çözülür. Her bir hesap adımında ortaya çıkan yer değiştirmelerin, plastik şekil değiştirmelerin ve kesitlerdeki iç kuvvetlerin deprem istemine karşılık maksimum değerleri hesaplanır. Zaman tanım alanında doğrusal elastik olmayan hesap yapılması durumunda, taşıyıcı sistem elemanlarının tekrarlı yükler altındaki dinamik davranışını temsil eden iç kuvvet-şekil değiştirme bağıntıları, teorik ve deneysel geçerlilikleri kanıtlanmış olmak kaydı ile literatürden yararlanılarak tanımlanacaktır [16].



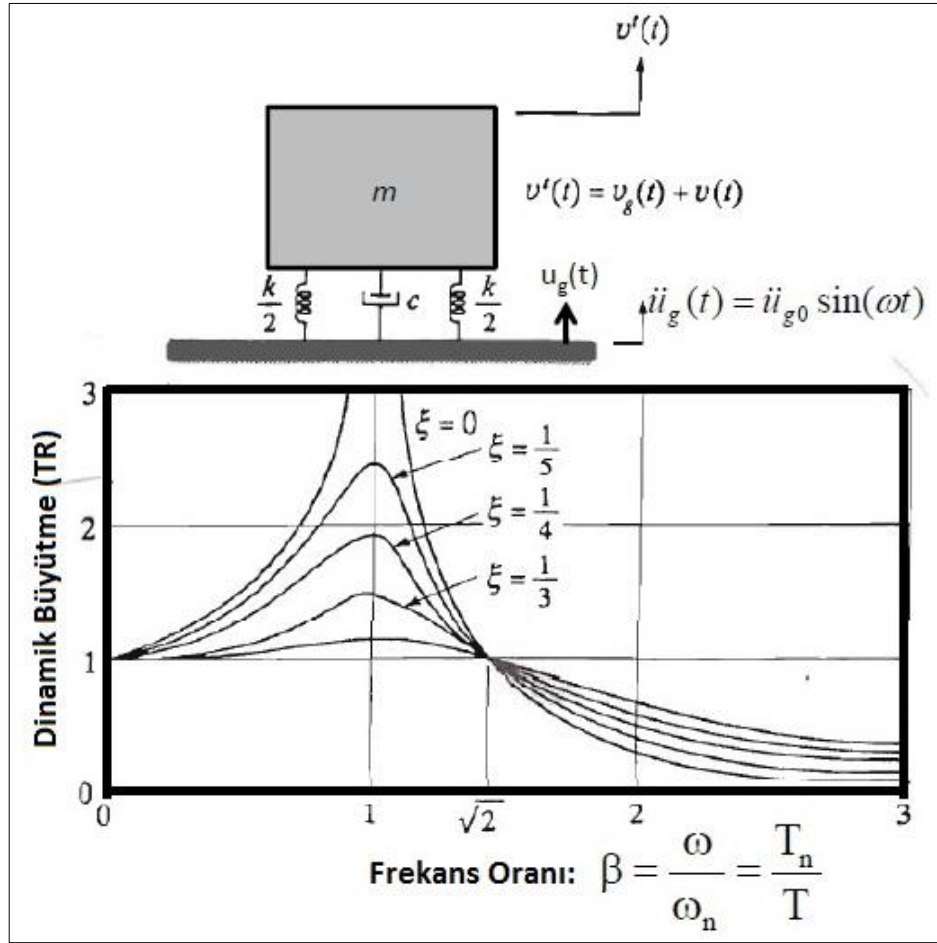
Şekil 5.1: TSD bir sistemin sönümlü ve sönümsüz serbest titreşim altında deplasman-zaman ilişkisi.

5.1. Sönüm Oranının Belirlenmesi

Sönüm, serbest titreşim halindeki yapıların, titreşim düzeylerini azaltan bir etkendir. Sönüm oranı yükseldikçe, yapıda ortaya çıkacak deplasmanlar azalır, sönüm oranı ne kadar düşük olursa yapı o kadar fazla deplasman yapar. Doğrusal ve doğrusal olmayan analizlerde, yer değiştirme değerlerinin gerçeğe daha yakın olması için,

sisteme etki ettirilecek yükler belli bir sönüm oranı dikkate alınarak hesaplanır. Şekil 5.1’de, TSD bir sistemde sönümlü ve sönümsüz serbest titreşim altındaki deplasman-zaman ilişkisi görülmektedir [17].

Bu konuda yapılan çalışmalar sonucu, %3-%10 arasında bir sönüm oranı yeterli kabul edilmiştir. Aşağıdaki Şekil 5.2’de, TSD bir sistemde, farklı sönüm oranları için elde edilmiş dinamik büyütmenin frekansla olan ilişkisi görülmektedir [8].

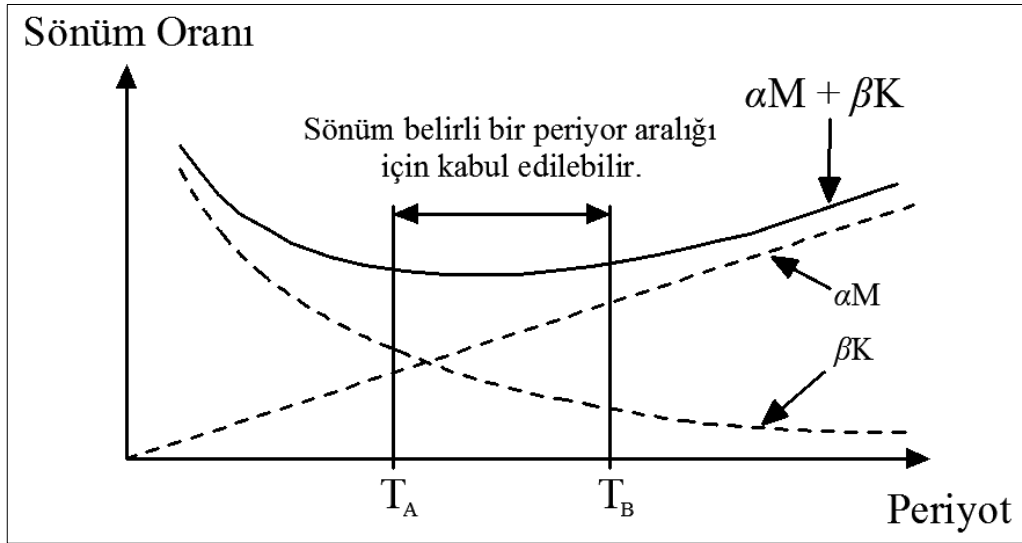


Şekil 5.2: TSD bir sistemde farklı sönüm oranları için elde edilmiş dinamik büyütme oranı.

Ragleigh Sönüm Modeli, analizde kullanılacak sistem için belirlenmesi gereken sönüm oranının en basit yolla elde edilmesini sağlar. Bu modele göre sönüm oranı, periyot ile ilişkilendirilir ve tanımlanan periyot aralığında sistemin sönüm oranı sabit kabul edilir. Rayleigh Sönüm Modeli sönüm matrisini, kütle ve rijitlik matrisine bağlı olarak α ve β katsayıları ile orantılı olarak tanımlar. Denklem (5.1)’de Rayleigh Sönüm Modeli’ne ait sönüm matrisi verilmiştir.

$$[C] = \alpha[M] + \beta[K] \quad (5.1)$$

Denklemdede; $[C]$, sisteme ait sönüm matrisini; $[M]$, sisteme ait kütle matrisini; $[K]$, sisteme ait rijitlik matrisini, α ve β katsayıları Rayleigh sönüm modelinde istenilen moda istenilen sönüm oranını belirlemede kullanılan katsayıları temsil etmektedir. Şekil 5.3’de, Rayleigh Sönüm Modeli için elde edilmiş sönüm oranı-periyot ilişkisi gösterilmiştir [18].



Şekil 5.3: Rayleigh Sönüm Modeli için sönüm oranı-periyot ilişkisi.

5.2. Deprem Kayıtlarının Seçilmesi ve Ölçeklenmesi

Zaman tanım alanında doğrusal olmayan artımsal dinamik çözümleme yönteminde süreleri ve frekans içerikleri aynı, ivme değerleri farklı olan en az üç veya yedi tane yer hareketi ivme kaydı kullanılır. Tasarımda üç yer hareketinin kullanılması durumunda sonuçların maksimumu, yedi ve daha fazla yer hareketi dikkate alınması durumunda ise sonuçların ortalaması dikkate alınır. Sisteme etki ettirilecek deprem kayıtları 3 farklı yöntemle elde edilebilir.

Bu yöntemler şu şekildedir;

- Gerçek deprem kayıtları kullanmak.
- Yapay deprem kayıtları üretmek.

- Simüle edilmiş (benzeştirilmiş) deprem kayıtları kullanmak.

Gerçek deprem kayıtları iki türlü seçilebilir. Bunlardan ilki, yer hareketinin özelliklerine göre tasarım spektrumuna dayandırılarak seçmektir. İkincisi ise, yer hareketinin büyüklüğü, mesafesi ve zemin sınıfı parametrelerine bağlı olarak tasarlanan deprem senaryosuna göre seçmektir. Bu yöntemlerden ilkini kullanmak, yani tepki spektrumuna uygun deprem kaydı seçmek, hem sismik tehlike analizi sonucu ortaya çıkacak tepki spektrumu ile uyuşmayı sağlar hem de jeolojik ve sismolojik şartları sağlar. Depremin büyüklüğü, yer hareketinin frekans içeriğini ve süresini etkilediği için uygun büyüklüğe göre seçim yapmak önemli bir kriterdir. Seçilecek kayıtların deprem büyüklüklerinin hedef deprem büyüklüğünün ± 0.25 yaklaşıklıkta olması yeterlidir. Faya yakın olan bölgelerde seçilecek kayıtların uygun fay-saha mesafesine sahip olmasına dikkat edilmelidir [19].

Gerçek deprem kayıtları göz önüne alınan tasarım ivme spektrumuna uyumlu olarak zaman tanım alanında veya frekans tanım alanında ölçeklenebilir. Zaman tanım alanında ölçeklemede, yer hareketi kaydı sabit bir katsayı ile çarpılarak istenilen periyot aralığında, hedef tasarım ivme spektrumuna göre eşleştirilir. Bu işlem, yer hareketi kaydının frekans içeriğini değiştirmez. Frekans tanım alanında ölçeklemede ise, deprem esnasında kaydedilmiş ivme kayıtlarından tasarım ivme spektrumuna uyan kayıtlar türetilir. Bu işlem de deprem kaydının frekans özelliklerini değiştirmez. Bu yöntem kullanıldığında tasarım spektrumu ile bire bir eşleşen kayıtlar elde edilebilir [19].

Yer hareketi seçilirken tek bir deprem kaydı da göz önüne alınabilir, birden çok deprem kaydı da seçilebilir. Tek bir deprem kaydı seçilmesi yöntemi; en küçük kareler tekniği kullanılarak, ölçeklenmiş hareketin davranış spektrumu ile tasarım ivme spektrumu arasındaki farkın küçültülmesi esasına dayanır. Birden çok deprem kaydı kullanılması durumunda, bütün kayıtlar için tek bir ölçekleme katsayısı kullanılarak deprem kayıtlarının ortalaması tasarım ivme spektrumuna eşleştirilir [19].

Gerçek ivme kayıtları uygun şekilde kullanılamayacak ise, bunun yerine yapay ivme kayıtları kullanılabilir. Üretilecek yapay ivme kayıtları için deprem ivmesi kaydı seçerken maksimum frekans aralığının, yapının hakim periyodu ile örtüşen kayıtlar seçilmesine dikkat edilmelidir. Yapay ivme kayıtları elde etmenin en yaygın şekli, tepki spektrumu (yönetmeliğe göre belirlenmiş spektrum) dikkate alınarak buna yakın

ses dalgası üretmektir. Fakat yapay ivme kayıtları aynı spektruma sahip olmalarına rağmen faz dağılımları ve kayıt süreleri farklı olabilmektedir. İvme kaydının süresi, yapının doğal titreşim periyodunun 5 katından ve 15 saniyeden daha kısa olmamalıdır. Dikkat edilmesi gereken bir diğer unsur da, üretilen kaydın sıfır periyoduna karşılık gelen spektral ivme değerinin ortalaması, A_{0g} 'den küçük olmamalıdır. Yapay olarak elde edilen ivme kaydı %5 sönüm oranına göre yeni spektral ivme değerlerinin ortalaması olarak elde edilir ve göz önüne alınan deprem doğrultusundaki hakim periyoda göre $0.2T_1-2T_1$ arasındaki periyotlar için yönetmelikte belirtilen elastik spektral ivmelerin %90'ından az olmayacak şekilde yeni bir spektral ivme-periyot grafiği elde edilir. Bu konuda dikkate alınacak azaltılmış spektral ivme değerleri DBYBHY (2007), Denklem (2.13)' te verilmiştir [16].

Eğer bu yöntemi kullanmak da mümkün değil ise spektrum benzeştirmesi yapılabilir. Bunun için bölgenin yerel zemin koşullarına uygun bir ivme kaydı seçilir. İvme kaydının tepki spektrumu ile hedef spektrumunun birbirine yakın olmasına dikkat edilmelidir. Zaman tanım alanında iteratif yöntem kullanılarak ve yapay ivme kayıtları elde edilirken dikkat edilmesi gereken hususlara uyularak ivme kaydı elde edilir. Elde edilen ivme kaydının değerleri kullanılarak Spektral İvme-Periyot (Sae-T) grafiği elde edilir ve analizlerde bu spektrum değerleri kullanılır [16].

6. SAYISAL İNCELEME

Bu bölümde, 5 katlı perde-çerçeve taşıyıcı sisteme sahip bir betonarme okul yapısının zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizi yapılacaktır. Taşıyıcı sistem modelleri PERFORM-3D ve SAP2000 kullanılarak oluşturulmuş ve sonuçlar karşılaştırılarak kontrol edilmiştir. Programların farkları değerlendirilmiştir.

6.1. Yapı ve Malzeme Bilgileri

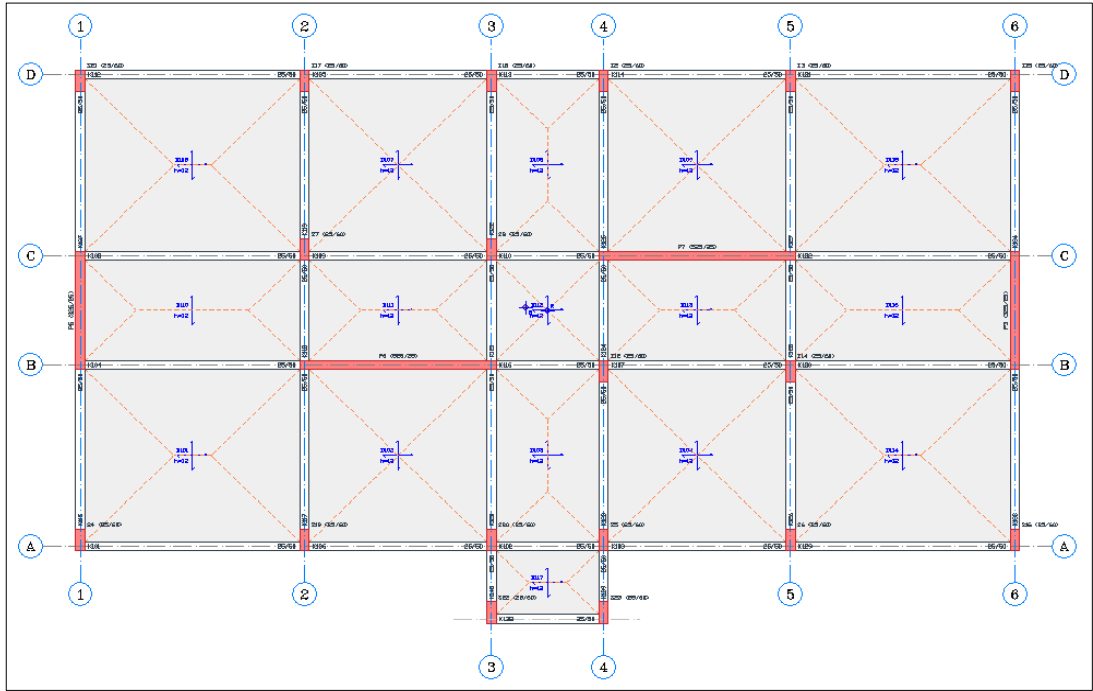
Burada kullanılan örnek, bir okul binasıdır. Yapıdaki kolon, perde ve kiriş boyutları ve döşeme kalınlıkları Tablo 6.1’de özetlenmiştir. Düşey taşıyıcı yapı elemanlarının kesitleri yükseklik boyunca sabittir. Bina 5 katlıdır ve kat yükseklikleri 3,5 m’dir. 3 boyutlu modeller Şekil 6.2 ve Şekil 6.3’de gösterilmektedir. Beton sınıfı C30 ve buna karşılık gelen elastisite modülü 3×10^7 kN/m² kabul edilmiştir. Yapı elemanlarında kullanılan donatı çeliği sınıfı S420’dir. 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 3-1PERFORM-3D (v.4) yazılımı kullanılmıştır. Bina, birinci derece deprem bölgesinde bulunmaktadır. Yerel zemin sınıfı Z2 ($T_A=0.15$, $T_B=0.40$), bina önem katsayısı (I) 1,5 olarak kullanılmıştır. Tasarım spektrumu, Türk Deprem Yönetmeliği (2007) esaslarına göre hesaplanmıştır (Şekil 6.3). Kolon ve perde duvarlardaki donatı dağılımı Tablo 6.2’de gösterilmiştir.

Tablo 6.1: Bina eleman boyutları.

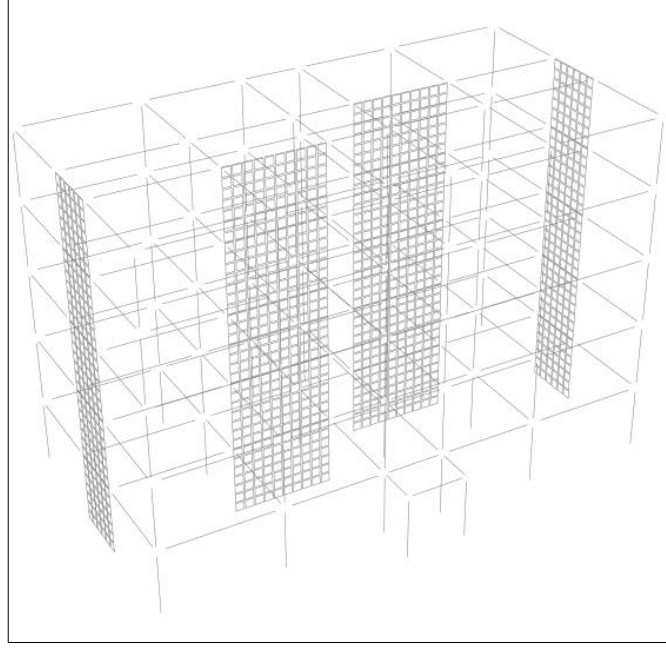
Kolonlar (mm)	300x600
Perdeler (mm)	3000x250 ve 5000x250
Kirişler (mm)	250x600
Döşeme Kalınlığı (mm)	120

Tablo 6.2: Bina elemanlarında bulunan donatı.

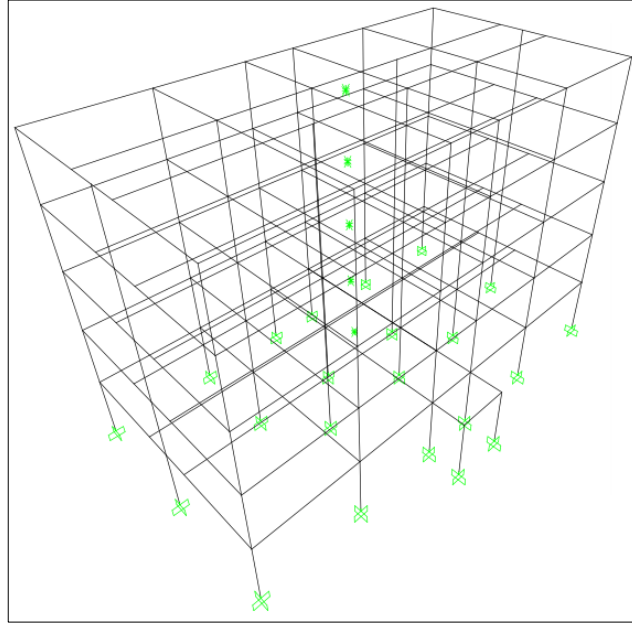
Kolonlar (mm)	Boyuna donatı: 10ø16 Etriye: ø 8/10
Perdeler (mm)	Boyuna donatı: ø 14/20 Enine donatı: ø 14/20
Kirişler (mm)	Üst donatı %0.8, alt donatı %0.4 her iki uçta



Şekil 6.1: Bina kat planı.



Şekil 6.2: PERFORM-3D modeli.

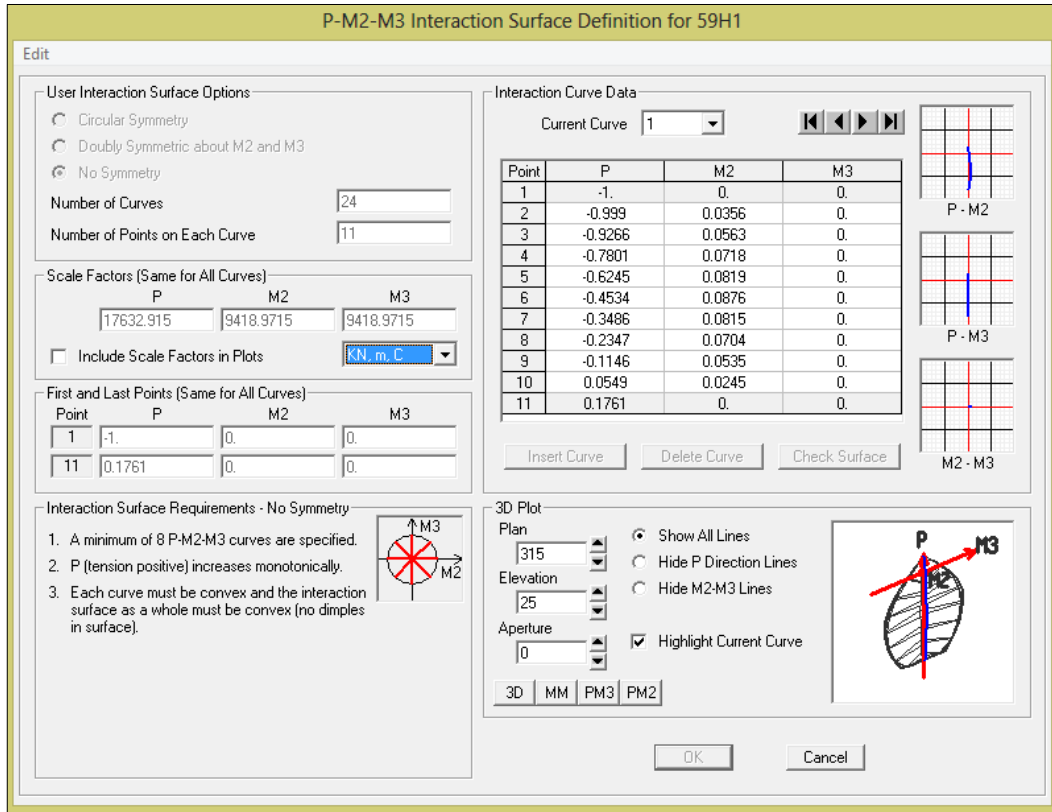


Şekil 6.3: SAP2000 modeli.

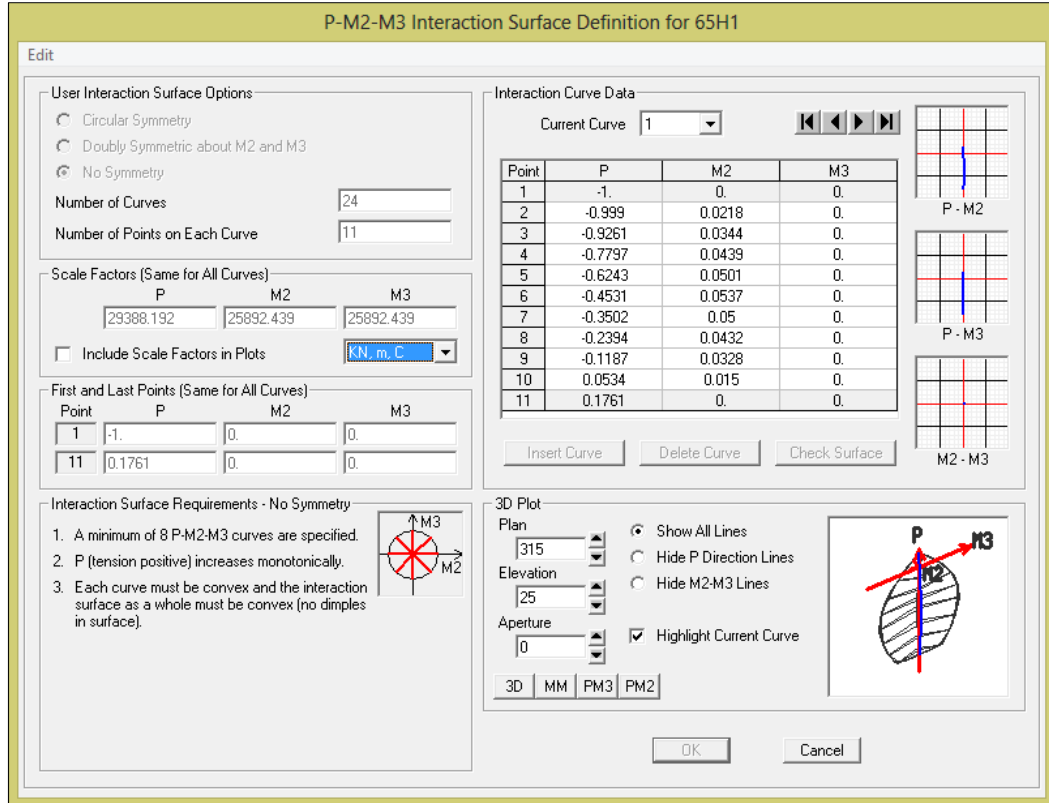
6.2. Perdelerin Modellenmesi

Başlıklı/başlıksız perdeler orta-dikme çubuk modeli ve fiber eleman modeli kullanılarak modellenmiştir.

Başlıklı/Başlıksız orta-dikme çubuk modelinde, perde duvarlar FEMA 356'ya göre tanımlanan plastik mafsal 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 6.2'de verilmiş donatı çeliği dağılımı ile tanımlanmıştır. Eksenel kuvvet seviyesi hareketli ve ölü yüklerin ($G+0.3Q$) bir birleşiminden edilmiştir.



Şekil 6.4: 3 m genişliğindeki perde için P-M-M etkileşimli plastik mafsal özellikleri.



Şekil 6.5: 5 m genişliğindeki perde için P-M-M etkileşimli plastik mafsal özellikleri.

Başlıklı/Başlıksız fiber eleman *modelinde*, perde duvarların kesit özellikleri dikkate alınarak 3.00 m ve 5.00 m genişliğindeki perdelerde 50x50 cm ağ (mesh) boyutlarına sahip fiber elemanlar oluşturulmuştur. Beton ve donatı çeliğine ait doğrusal olmayan malzeme modelleri, önceki modelde olduğu gibi Mander ve Kinematik model olarak kullanılmıştır. Donatı çeliği ve beton kesit alanları, elemanın ağırlık merkezi referans alınarak yapılmıştır.

3.00 m genişliğindeki perde 6 sonlu elemandan, 5.00 m genişliğindeki perde 10 sonlu elemandan oluşmaktadır. Bu elemanlar 2 parça olarak düşünülmüş, beton ve donatı özelliklerinin bilgi girişi ayrı yapılmıştır. Başlıklı model için, kesitlerin simetrisinden faydalanarak oluşturulan fiber elemanlar aşağıda gösterilmiştir. Ardından kolon ve kirişlerde oluşturulan plastik mafsal özellikleri verilmiştir.

COMPONENT PROPERTIES

Materials | Strength Sects | Compound
Inelastic | Elastic | **Cross Sects.**

Type: Shear Wall, Inelastic Section

Choose type and name to edit an existing section.

Name: 3b sw-1

Length Unit: m Force Unit: kN

Status: Saved

Fiber Areas and Coordinates
FIXED SIZE option

Section Properties

	Concrete	Steel
Area =	0.125	0.001539
Moment of Inertia =	0.007812	2.677e-5
Coord of Centroid =	0	0.007313

Import Components | Export Components

Selected components of this type.

All components of all types.

Structural Fibers | Monitored Fibers | Notes

STRUCTURAL FIBER TO BE ADDED OR CHANGED

Material Type: Inelastic Steel Material, Non-Buckling

Material Name: S420

Fiber Area: Fiber Coordinate:

Axis 2 | Fiber coordinates are along Axis 3.
K L
I J | Axis 3

See Notes page for more details.

STRUCTURAL FIBER LIST (MAX 16) Click to highlight a row for Insert, Replace or Delete.

No.	Type	Name	Area	Coordinate
1	Concrete	C30 inelastic material for fibers	0.0625	-0.25
2	Concrete	C30 inelastic material for fibers	0.0625	0.25
3	Steel	S420	0.0006158	-0.1542
4	Steel	S420	0.0009236	0.115

OUT-OF-PLANE BENDING (ASSUMED TO BE ELASTIC)

Bending Thickness: 0.25 Young's Modulus: 3E+07

Torsion Thickness: 0.25 Poisson Ratio: 0.2

Şekil 6.6: 3 m genişliğindeki başlıklı perdenin 1 numaralı fiber elemanı.

COMPONENT PROPERTIES

Materials | Strength Sects | Compound
Inelastic | Elastic | **Cross Sects.**

Type: Shear Wall, Inelastic Section

Choose type and name to edit an existing section.

Name: 3b sw-2

Length Unit: m Force Unit: kN

Status: Saved

Fiber Areas and Coordinates
FIXED SIZE option

Section Properties

	Concrete	Steel
Area =	0.125	9.237e-4
Moment of Inertia =	0.007812	9.595e-6
Coord of Centroid =	0	-0.04373

Import Components | Export Components

Selected components of this type.

All components of all types.

Structural Fibers | Monitored Fibers | Notes

STRUCTURAL FIBER TO BE ADDED OR CHANGED

Material Type: Inelastic Steel Material, Non-Buckling

Material Name: S420

Fiber Area: Fiber Coordinate:

Axis 2 | Fiber coordinates are along Axis 3.
K L
I J | Axis 3

See Notes page for more details.

STRUCTURAL FIBER LIST (MAX 16) Click to highlight a row for Insert, Replace or Delete.

No.	Type	Name	Area	Coordinate
1	Concrete	C30 inelastic material for fibers	0.0625	-0.25
2	Concrete	C30 inelastic material for fibers	0.0625	0.25
3	Steel	S420	0.0006158	-0.1158
4	Steel	S420	0.0003079	0.1004

OUT-OF-PLANE BENDING (ASSUMED TO BE ELASTIC)

Bending Thickness: 0.25 Young's Modulus: 3E+07

Torsion Thickness: 0.25 Poisson Ratio: 0.2

Şekil 6.7: 3 m genişliğindeki başlıklı perdenin 2 numaralı fiber elemanı.

COMPONENT PROPERTIES

Materials | Strength Sects | Compound

Inelastic | Elastic | **Cross Sects.**

Type: Shear Wall, Inelastic Section

Name: 3b sw-3

Status: Saved

Length Unit: m | Force Unit: kN

Fiber Areas and Coordinates: FIXED SIZE option

Section Properties:

	Concrete	Steel
Area =	0.125	0.001078
Moment of Inertia =	0.007812	2.339e-5
Coord of Centroid =	0	-0.02842

Import Components | Export Components

Selected components of this type. All components of all types. Import ...

Structural Fibers | Monitored Fibers | Notes

STRUCTURAL FIBER TO BE ADDED OR CHANGED

Material Type: Inelastic Steel Material, Non-Buckling

Material Name: S420

Fiber Area: | Fiber Coordinate: |

Add | Insert | Replace | Delete

Axis 2 | Fiber coordinates are along Axis 3.

Axis 3

See Notes page for more details.

STRUCTURAL FIBER LIST (MAX 16) Click to highlight a row for Insert, Replace or Delete.

No.	Type	Name	Area	Coordinate
1	Concrete	C30 inelastic material for fibers	0.0625	-0.25
2	Concrete	C30 inelastic material for fibers	0.0625	0.25
3	Steel	S420	0.0006158	-0.156
4	Steel	S420	0.0004618	0.1417

OUT-OF-PLANE BENDING (ASSUMED TO BE ELASTIC)

Bending Thickness: 0.25 | Young's Modulus: 3E+07

Torsion Thickness: 0.25 | Poisson Ratio: 0.2

Şekil 6.8: 3 m genişliğindeki başlıklı perdenin 3 numaralı fiber elemanı.

COMPONENT PROPERTIES

Materials | Strength Sects | Compound

Inelastic | Elastic | **Cross Sects.**

Type: Shear Wall, Inelastic Section

Name: 5b sw-1

Status: Saved

Length Unit: m | Force Unit: kN

Fiber Areas and Coordinates: FIXED SIZE option

Section Properties:

	Concrete	Steel
Area =	0.125	0.001539
Moment of Inertia =	0.007812	2.291e-5
Coord of Centroid =	0	-0.008794

Import Components | Export Components

Selected components of this type. All components of all types. Import ...

Structural Fibers | Monitored Fibers | Notes

STRUCTURAL FIBER TO BE ADDED OR CHANGED

Material Type: Inelastic Steel Material, Non-Buckling

Material Name: S420

Fiber Area: | Fiber Coordinate: |

Add | Insert | Replace | Delete

Axis 2 | Fiber coordinates are along Axis 3.

Axis 3

See Notes page for more details.

STRUCTURAL FIBER LIST (MAX 16) Click to highlight a row for Insert, Replace or Delete.

No.	Type	Name	Area	Coordinate
1	Concrete	C30 inelastic material for fibers	0.0625	-0.25
2	Concrete	C30 inelastic material for fibers	0.0625	0.25
3	Steel	S420	0.0009236	-0.1084
4	Steel	S420	0.0006158	0.1406

OUT-OF-PLANE BENDING (ASSUMED TO BE ELASTIC)

Bending Thickness: 0.25 | Young's Modulus: 3E+07

Torsion Thickness: 0.25 | Poisson Ratio: 0.2

Şekil 6.9: 5 m genişliğindeki başlıklı perdenin 1 numaralı fiber elemanı.

COMPONENT PROPERTIES

Materials | Strength Sects | Compound
Inelastic | Elastic | **Cross Sects.**

Type: Shear Wall, Inelastic Section

Choose type and name to edit an existing section.

Name: 5b sw-2

Length Unit: [m] Force Unit: [kN]

Status: Saved.

Fiber Areas and Coordinates: FIXED SIZE option

Section Properties:

	Concrete	Steel
Area =	0.125	0.001539
Moment of Inertia =	0.007812	2.291e-5
Coord of Centroid =	0	-0.01079

Import Components | Export Components

Selected components of this type.

All components of all types.

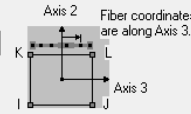
Structural Fibers | Monitored Fibers | Notes

STRUCTURAL FIBER TO BE ADDED OR CHANGED

Material Type: Inelastic Steel Material, Non-Buckling

Material Name: S420

Fiber Area: Fiber Coordinate:

 Fiber coordinates are along Axis 3.

See Notes page for more details.

STRUCTURAL FIBER LIST (MAX 16) Click to highlight a row for Insert, Replace or Delete.

No.	Type	Name	Area	Coordinate
1	Concrete	C30 inelastic material for fibers	0.0625	-0.25
2	Concrete	C30 inelastic material for fibers	0.0625	0.25
3	Steel	S420	0.0009236	-0.1104
4	Steel	S420	0.0006158	0.1386

OUT-OF-PLANE BENDING (ASSUMED TO BE ELASTIC)

Bending Thickness: 0.25 Young's Modulus: 3E+07

Torsion Thickness: 0.25 Poisson Ratio: 0.2

Şekil.6.10: 5 m genişliğindeki başlıklı perdenin 2 numaralı fiber elemanı.

COMPONENT PROPERTIES

Materials | Strength Sects | Compound
Inelastic | Elastic | **Cross Sects.**

Type: Shear Wall, Inelastic Section

Choose type and name to edit an existing section.

Name: 5b sw-3

Length Unit: [m] Force Unit: [kN]

Status: Saved.

Fiber Areas and Coordinates: FIXED SIZE option

Section Properties:

	Concrete	Steel
Area =	0.125	9.237e-4
Moment of Inertia =	0.007812	1.542e-5
Coord of Centroid =	0	-0.02923

Import Components | Export Components

Selected components of this type.

All components of all types.

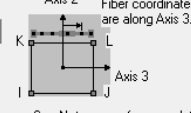
Structural Fibers | Monitored Fibers | Notes

STRUCTURAL FIBER TO BE ADDED OR CHANGED

Material Type: Inelastic Steel Material, Non-Buckling

Material Name: S420

Fiber Area: Fiber Coordinate:

 Fiber coordinates are along Axis 3.

See Notes page for more details.

STRUCTURAL FIBER LIST (MAX 16) Click to highlight a row for Insert, Replace or Delete.

No.	Type	Name	Area	Coordinate
1	Concrete	C30 inelastic material for fibers	0.0625	-0.25
2	Concrete	C30 inelastic material for fibers	0.0625	0.25
3	Steel	S420	0.0006158	-0.1206
4	Steel	S420	0.0003079	0.1535

OUT-OF-PLANE BENDING (ASSUMED TO BE ELASTIC)

Bending Thickness: 0.25 Young's Modulus: 3E+07

Torsion Thickness: 0.25 Poisson Ratio: 0.2

Şekil 6.11: 5 m genişliğindeki başlıklı perdenin 3 numaralı fiber elemanı.

COMPONENT PROPERTIES

Materials: Inelastic, Elastic, Compound
Cross Sects.

Type: Shear Wall, Inelastic Section

Name: 5b sw-4

Status: Saved.

Length Unit: m, Force Unit: kN

Section Properties:

	Concrete	Steel
Area =	0.125	9.237e-4
Moment of Inertia =	0.007812	1.543e-5
Coord of Centroid =	0	0.019

Structural Fibers

STRUCTURAL FIBER TO BE ADDED OR CHANGED

Material Type: Inelastic Steel Material, Non-Buckling

Material Name: S420

Fiber Area: Fiber Coordinate:

Add Insert Replace Delete

STRUCTURAL FIBER LIST (MAX 16) Click to highlight a row for Insert, Replace or Delete.

No.	Type	Name	Area	Coordinate
1	Concrete	C30 inelastic material for fibers	0.0625	-0.25
2	Concrete	C30 inelastic material for fibers	0.0625	0.25
3	Steel	S420	0.0003079	-0.1638
4	Steel	S420	0.0006158	0.1104

OUT-OF-PLANE BENDING (ASSUMED TO BE ELASTIC)

Bending Thickness: 0.25 Young's Modulus: 3E+07

Torsion Thickness: 0.25 Poisson Ratio: 0.2

Şekil 6.12: 5 m genişliğindeki başlıklı perdenin 4 numaralı fiber elemanı.

COMPONENT PROPERTIES

Materials: Inelastic, Elastic, Compound
Cross Sects.

Type: Shear Wall, Inelastic Section

Name: 5b sw-5

Status: Saved.

Length Unit: m, Force Unit: kN

Section Properties:

	Concrete	Steel
Area =	0.125	7.697e-4
Moment of Inertia =	0.007812	1.097e-5
Coord of Centroid =	0	0.03071

Structural Fibers

STRUCTURAL FIBER TO BE ADDED OR CHANGED

Material Type: Inelastic Steel Material, Non-Buckling

Material Name: S420

Fiber Area: Fiber Coordinate:

Add Insert Replace Delete

STRUCTURAL FIBER LIST (MAX 16) Click to highlight a row for Insert, Replace or Delete.

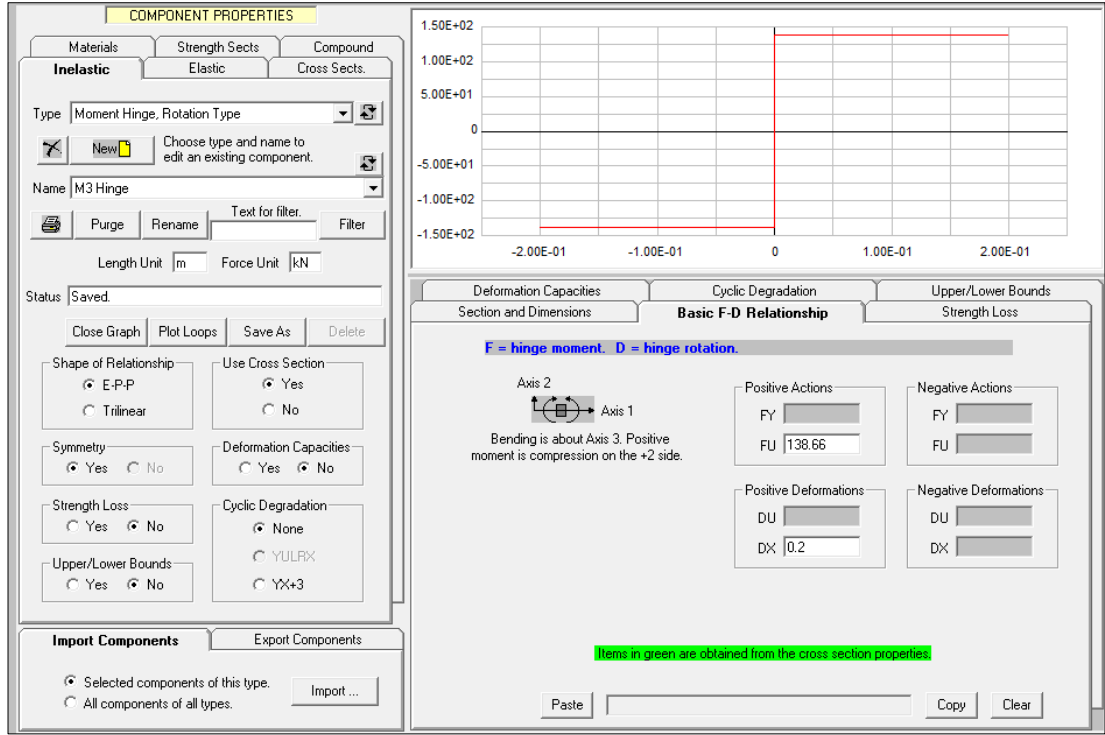
No.	Type	Name	Area	Coordinate
1	Concrete	C30 inelastic material for fibers	0.0625	-0.25
2	Concrete	C30 inelastic material for fibers	0.0625	0.25
3	Steel	S420	0.0003079	-0.1155
4	Steel	S420	0.0004618	0.1282

OUT-OF-PLANE BENDING (ASSUMED TO BE ELASTIC)

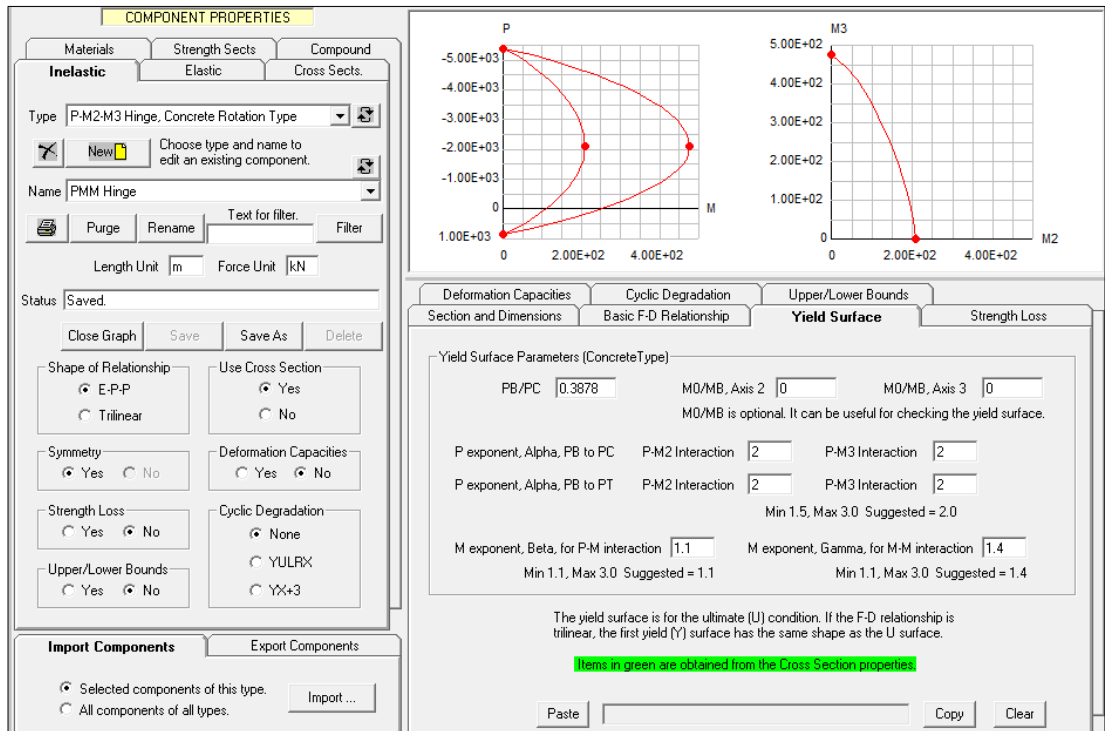
Bending Thickness: 0.25 Young's Modulus: 3E+07

Torsion Thickness: 0.25 Poisson Ratio: 0.2

Şekil 6.13: 5 m genişliğindeki başlıklı perdenin 5 numaralı fiber elemanı.



Şekil 6.14: Kirişlerde kullanılan M₃ plastik mafsalı özellikleri.



Şekil 6.15: Kolonlarda kullanılan P-M-M plastik mafsalı özellikleri.

6.3. Yapının Dinamik Analizi

Modal analiz sonucu bulunan periyot ve kütle katılım oranları aşağıda Tablo 6.3'te verilmiştir. 12 adet mod yeterli görülmüştür.

Tablo 6.3: Modal özellikler.

Mod	Periyot	Kütle Katılım					
		U _x	U _y	R _z	∑ U _x	∑ U _y	∑ R _z
1	0.718	0.000	0.746	0.458	0.000	0.746	0.458
2	0.582	0.012	0.010	0.194	0.012	0.756	0.652
3	0.523	0.723	0.000	0.101	0.735	0.756	0.753
4	0.196	0.000	0.153	0.097	0.735	0.909	0.849
5	0.152	0.001	0.001	0.037	0.736	0.910	0.886
6	0.132	0.185	0.000	0.027	0.921	0.910	0.912
7	0.093	0.000	0.060	0.039	0.921	0.970	0.951
8	0.070	0.000	0.000	0.013	0.922	0.971	0.964
9	0.063	0.057	0.000	0.008	0.979	0.971	0.972
10	0.059	0.000	0.024	0.015	0.979	0.994	0.987
11	0.046	0.000	0.006	0.004	0.979	1.000	0.991
12	0.045	0.001	0.000	0.006	0.980	1.000	0.997

6.4. Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analiz

Z2 zemin sınıfı üzerinde yapılacak yapının 1. derece deprem bölgesinde ($A_0 = 0.3$) yer aldığı ve bina önem katsayısının $I = 1.5$ olduğu bilinmektedir. Z2 zemin sınıfı için kullanılacak kayıtların bulunduğu Tablo 6.5'den Superstitt Hills (P0730), Landers (P0856) ve Northridge (P0967) deprem kayıtları seçilmiştir. Bu 3 deprem kaydının sonuçlarının maksimumu değerlendirilmiştir.

Tablo 6.4: Türkiye’de yerel zemin sınıfı Z2 olan bölgelerde kullanılabilir deprem kayıtları ve ölçekleme katsayıları.

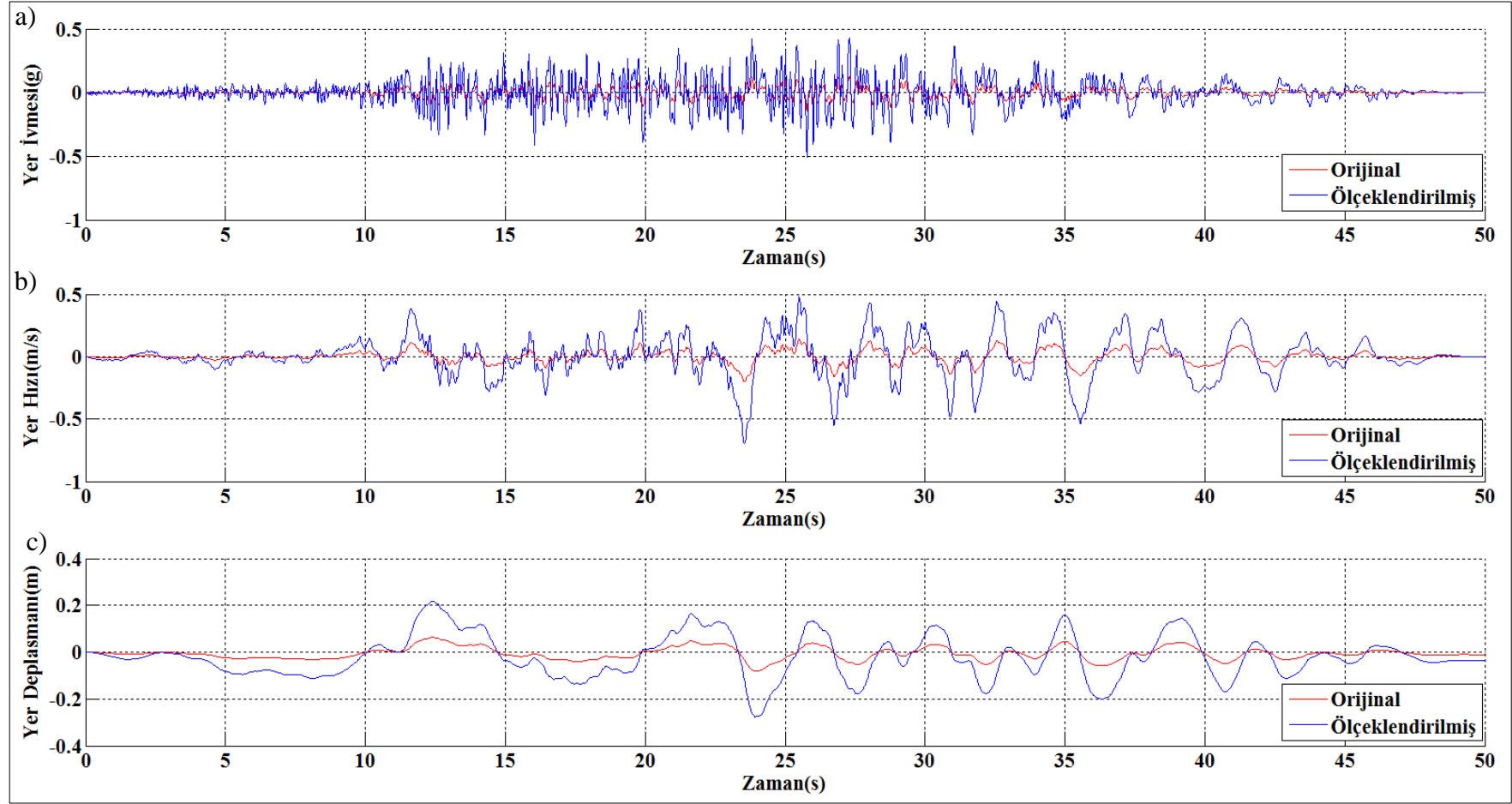
Yerel Zemin Sınıfı : Z2										
Kayıt No	Deprem	Tarih	İstasyon	Kayıt	Fay Kırığına en yakın mesafe	Kayıt Süresi	Anlamı Süre	Zarf Süre	Faylanma Mekanizması	Ölçekleme Katsayısı (α_{ST})
P0017	Imperial Valley	15.10.1979	931 El Centro Array #12	H-E12230	18.20	39.0	19.4	27.8	SS	8.31
P0012	Imperial Valley	15.10.1979	931 El Centro Array #12	H-E12140	18.20	39.0	19.1	23.4	SS	7.01
P0730	Superstitt Hills(B)	24.11.1987	11369 Westmorland Fire Sta	B-WSM090	13.30	40	19.6	32.5	SS	5.10
P0898	Northridge	17.01.1994	90066 El Monte - Fairview Av	FAI095	47.4	35	20.9	24.6	RN	8.99
P0856	Landers	28.06.1992	21081 Amboy	ABY090	69.2	50	25.2	35.5	SS	5.76
P0967	Northridge	17.01.1994	24612 LA - Pico & Sentous	PIC090	32.7	40	20.2	25.1	RN	9.34
P0003	Imperial Valley	15.10.1979	952 El Centro Array #5	H-E05140	1.00	39.3	8.2	10.4	SS	2.39
P0020	Imperial Valley	15.10.1979	5060 Brawley Airport	H-BRA315	8.50	37.8	14.0	12.2	SS	4.58
P0859	Landers	28.06.1992	32075 Baker Fire Station	BAK140	88.5	50	19.9	31.0	SS	8.97
P0051	Imperial Valley	15.10.1979	5061 Calipatria Fire Sta	H-CAL315	23.80	39.5	23.3	28.0	SS	12.14

Tabloda bu kaydın Deprem Yönetmeliği’nde (DBYBHY, 2007) Z2 zemin sınıfı için tanımlanmış tasarım ivme spektrumu ile uyuşumunu sağlamak için gereken α_{ST} katsayıları görülmektedir. Seçilen deprem kaydının genlikleri, α_{AT} ölçekleme katsayısı ile doğrusal olarak çarpılarak ölçeklenmiş kayıt elde edilir.

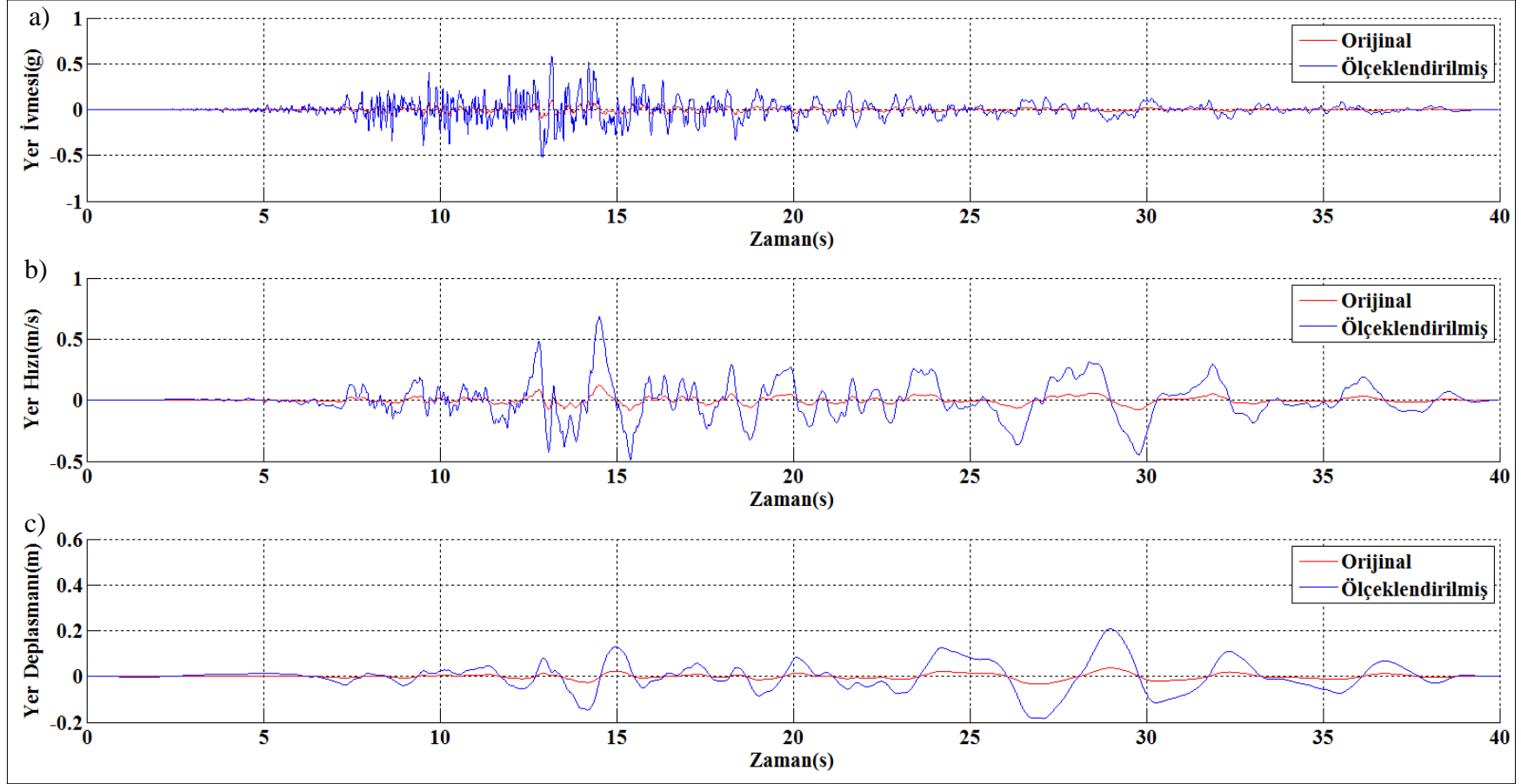
- P0730 için, $\alpha_{AT} = A_0 I \alpha_{ST} = 3.06$
- P0856 için $\alpha_{AT} = 3.46$
- P0967 için $\alpha_{AT} = 5.60$

Kullanılan ölçeklenmemiş kayıtlar ve α_{AT} katsayısı ile ölçeklenmiş kayıtlar gösterilmiştir (Şekil 6.16-18). Bu depremlere ait ölçeklenmiş kaydın ivme, hız ve yer değiştirme grafikleri gösterilmiştir. Seçilen depreme ait α_{AT} ile ölçeklenmiş kayıt için tek serbestlik dereceli doğrusal sistem için %5 sönüme sahip ivme tepki spektrumu ve tasarım spektrumu Şekil 6.19’da gösterilmiştir.

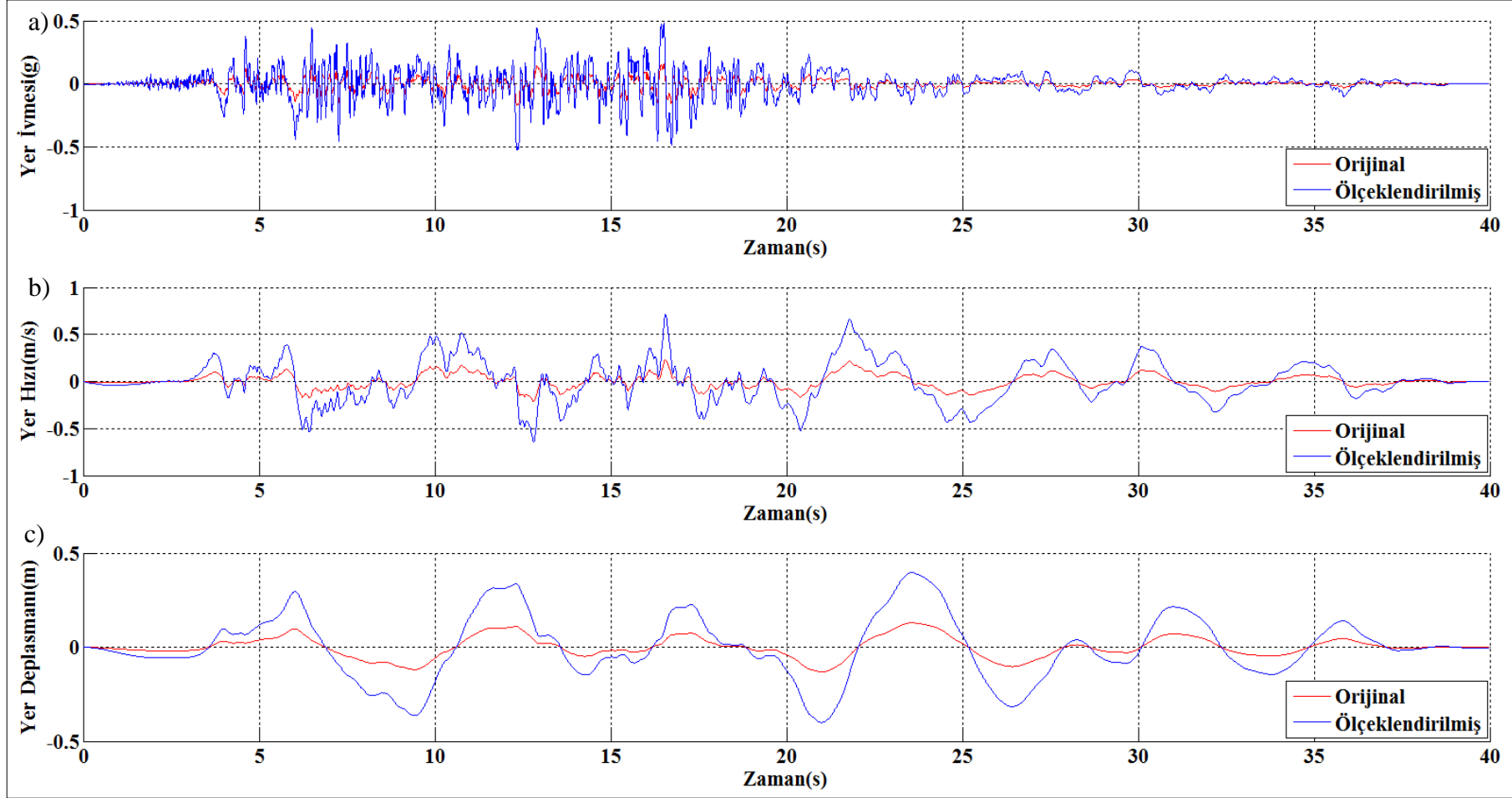
Ardından üç depreme ait ölçeklendirilmiş ivme kayıtları kullanılarak yapılan yüklemeler sonucu bulunan maksimum kat deplasmanları (Şekil 6.20-31) ve görel kat ötelenmeleri verilmiştir (Tablo 6.5, Tablo 6.6). Kat deplasmanları okunurken kat ağırlık merkezi referans alınmıştır. 4 modelin kullanılan 3 deprem altında yaptığı kat deplasmanları ve ortalama değerleri karşılaştırılmıştır (Şekil 6.32-35).



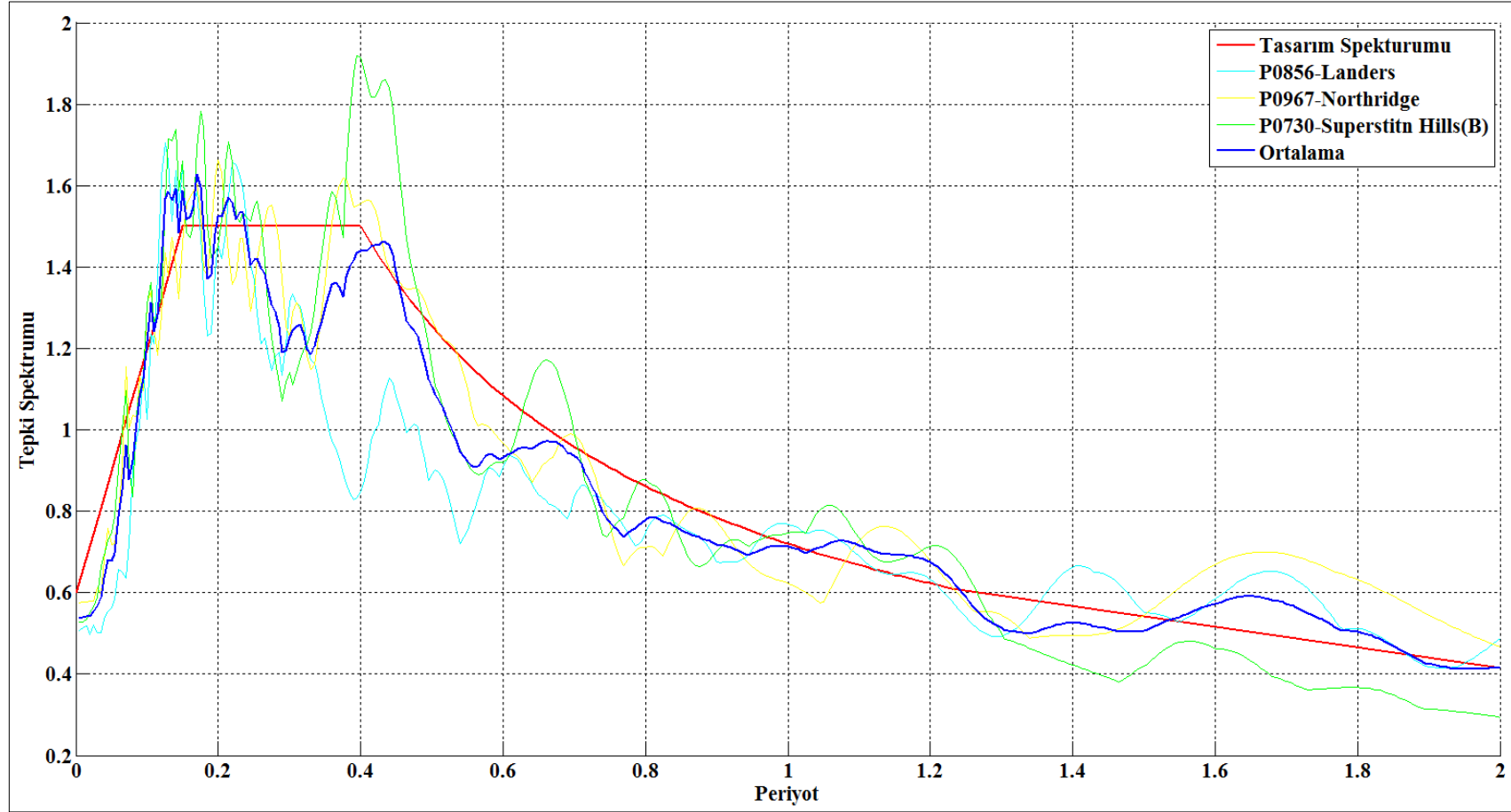
Şekil 6.16: Landers Depremi'ne ait P0856 numaralı orijinal ve ölçeklenmiş kaydın
a) ivme grafiği, b) hız grafiği, c) yer değiştirme grafiği.



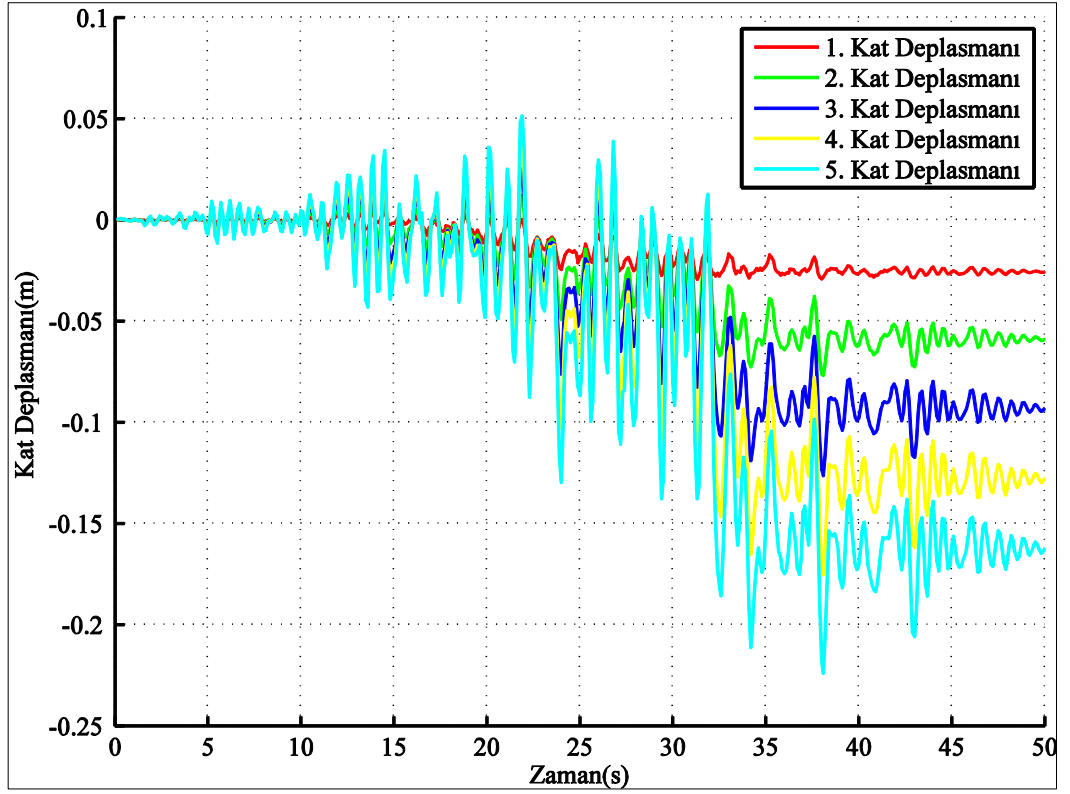
Şekil 6.17: Northridge Depremi'ne ait P0967 numaralı orijinal ve ölçeklenmiş kaydın
a) ivme grafiği, b) hız grafiği, c) yer değiştirme grafiği.



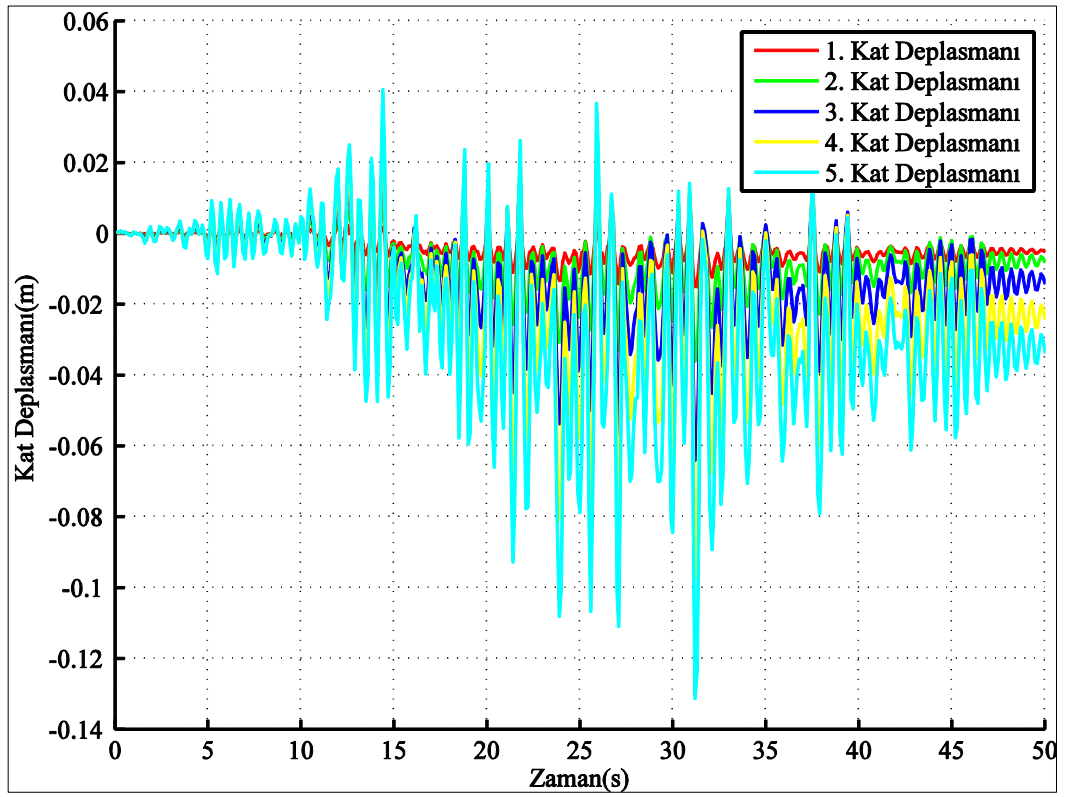
Şekil 6.18: Superstition Hills Depremi'ne ait P0730 numaralı orijinal ve ölçeklenmiş kaydın a) ivme grafiği, b) hız grafiği, c) yer değiştirme grafiği.



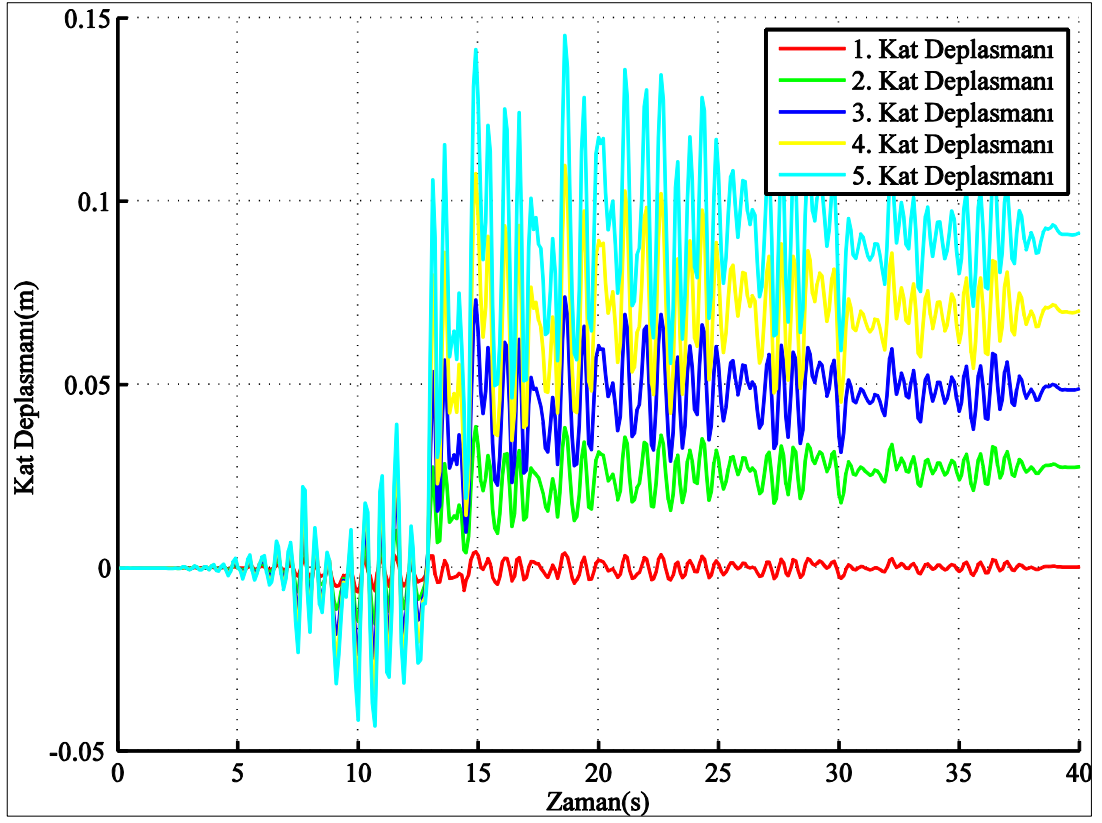
Şekil 6.19: Türkiye Deprem Yönetmeliği (2007) elastik tasarım ivme spektrumuna göre ölçeklenmiş Landers, Northridge ve Superstitt Hills Depremlerine ait kayıtlarına ait tepki spektrumları.



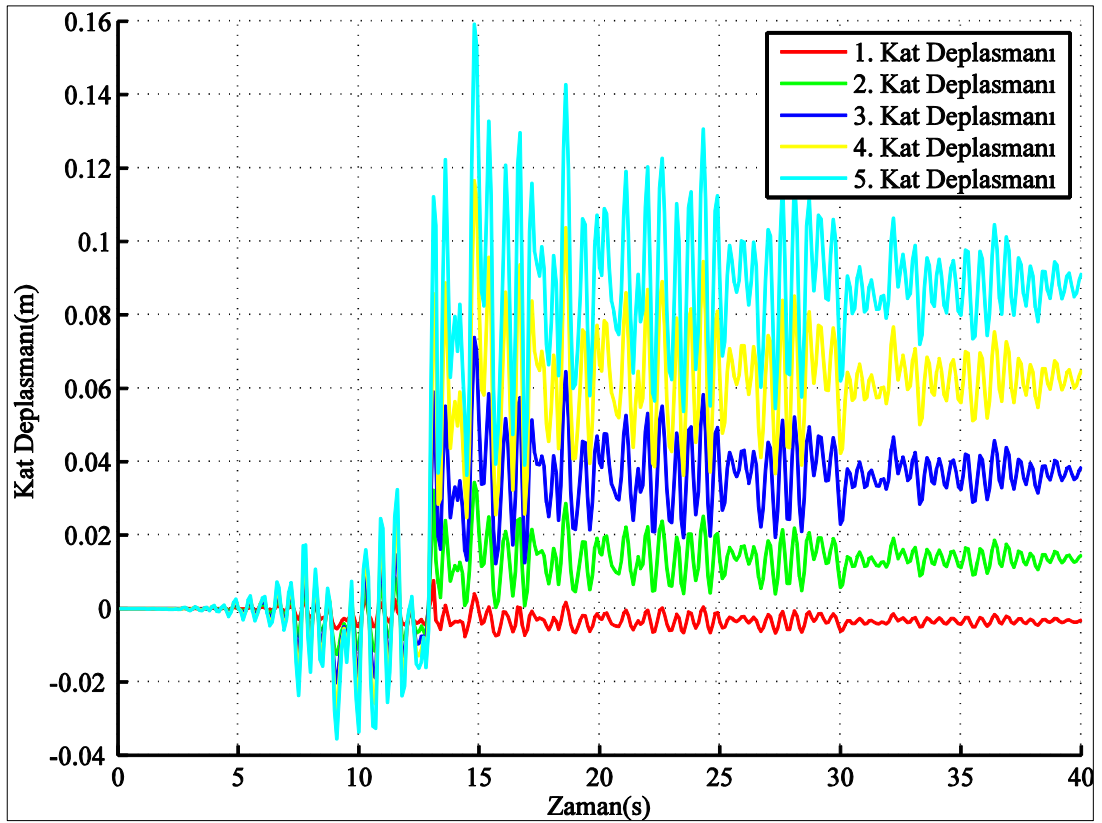
Şekil 6.20: Landers Depremi altında, Başlıklı Orta-Dikme Çubuk Modeli Kat Deplasmanları.



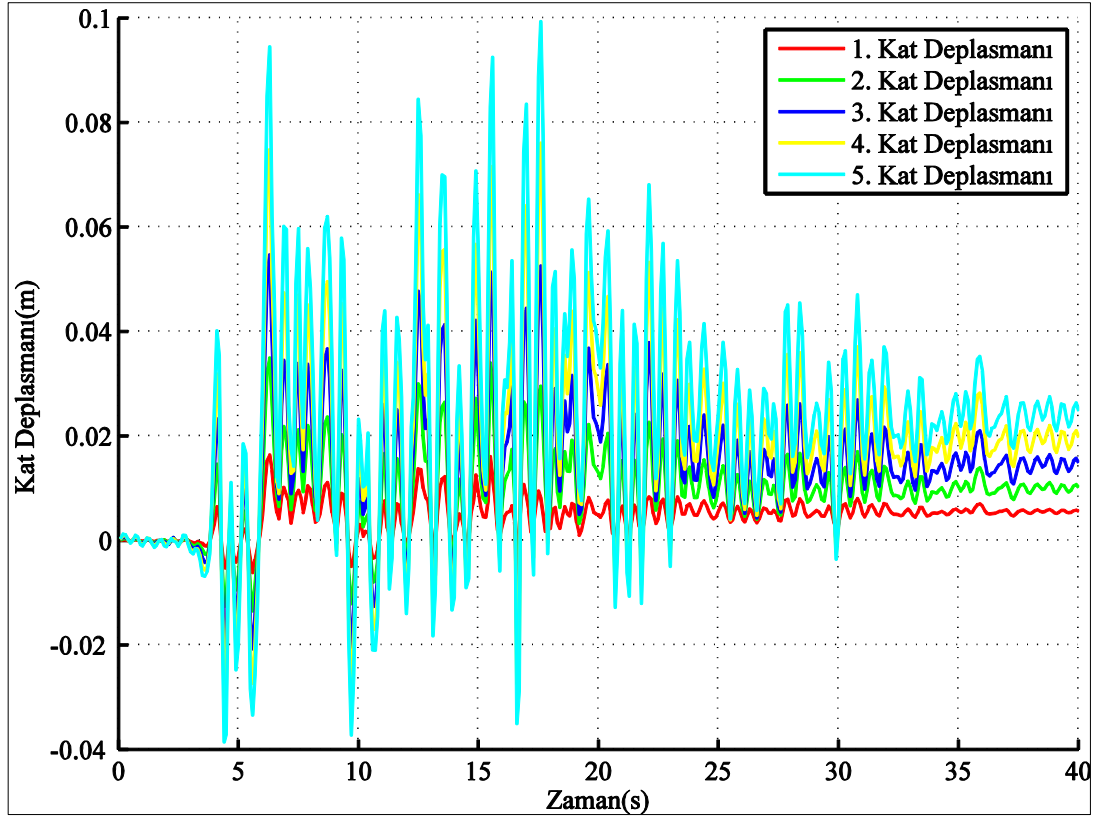
Şekil 6.21: Landers Depremi altında, Başlıksız Orta-Dikme Çubuk Modeli Kat Deplasmanları.



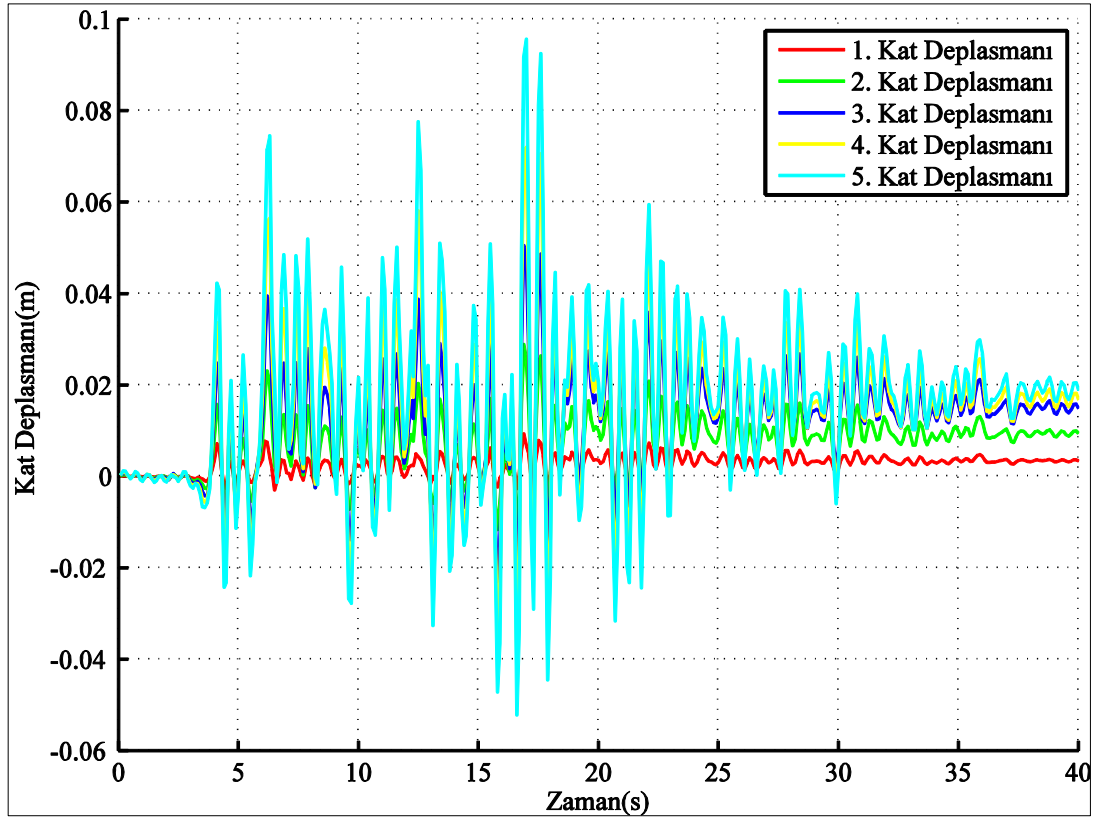
Şekil 6.22: Northridge Depremi altında, Başlıklı Orta-Dikme Çubuk Modeli Kat Deplasmanları.



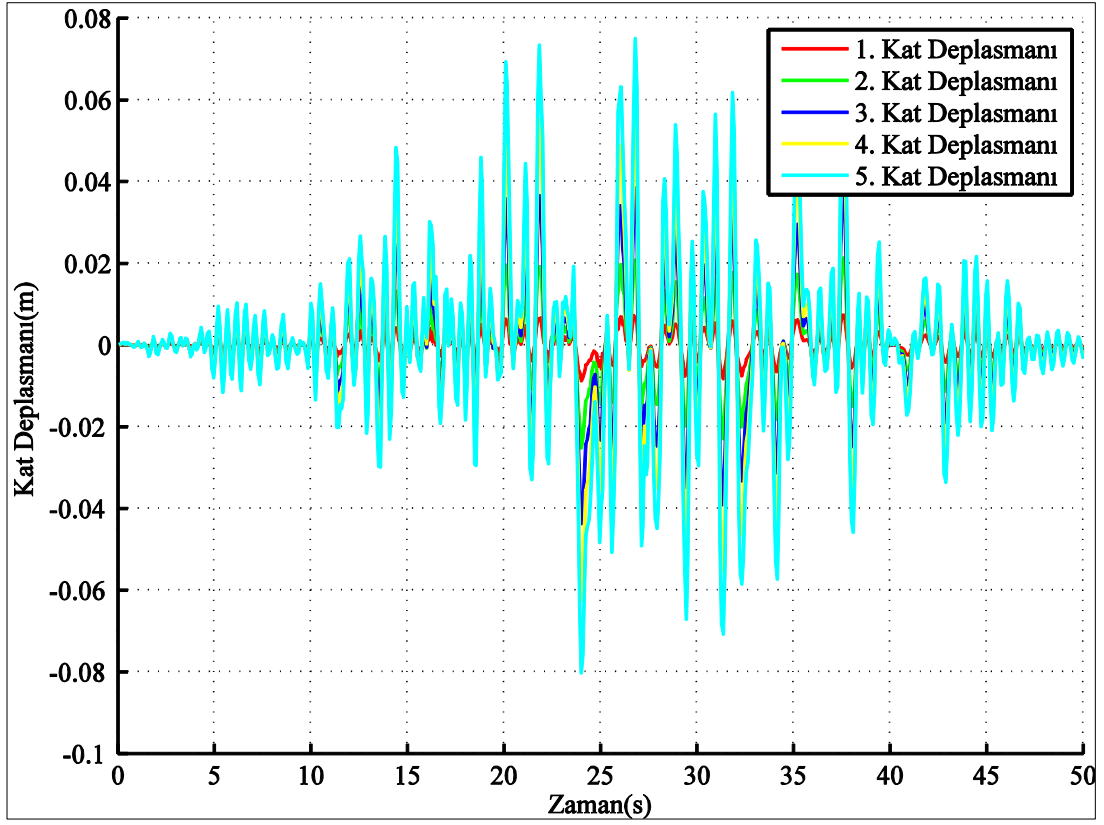
Şekil 6.23: Northridge Depremi altında, Başlıksız Orta-Dikme Çubuk Modeli Kat Deplasmanları.



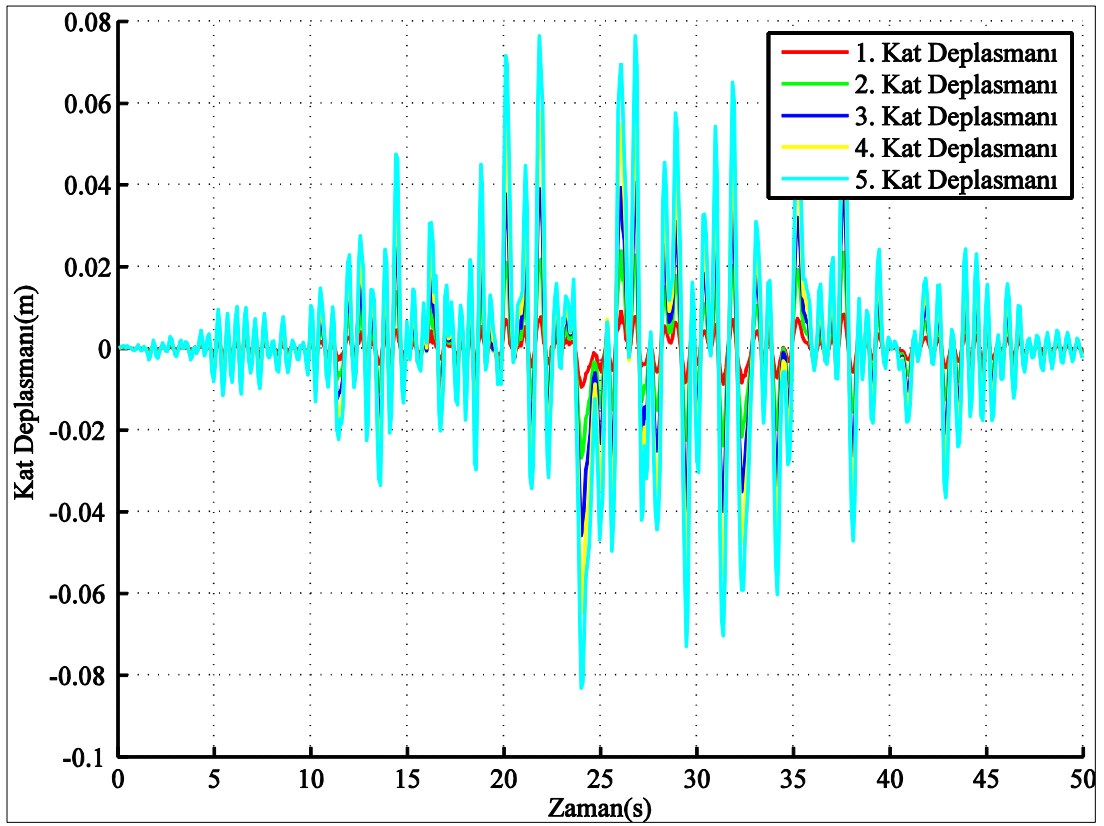
Şekil 6.24: Superstitt Hills Depremi altında, Başlıklı Orta-Dikme Çubuk Modeli Kat Deplasmanları.



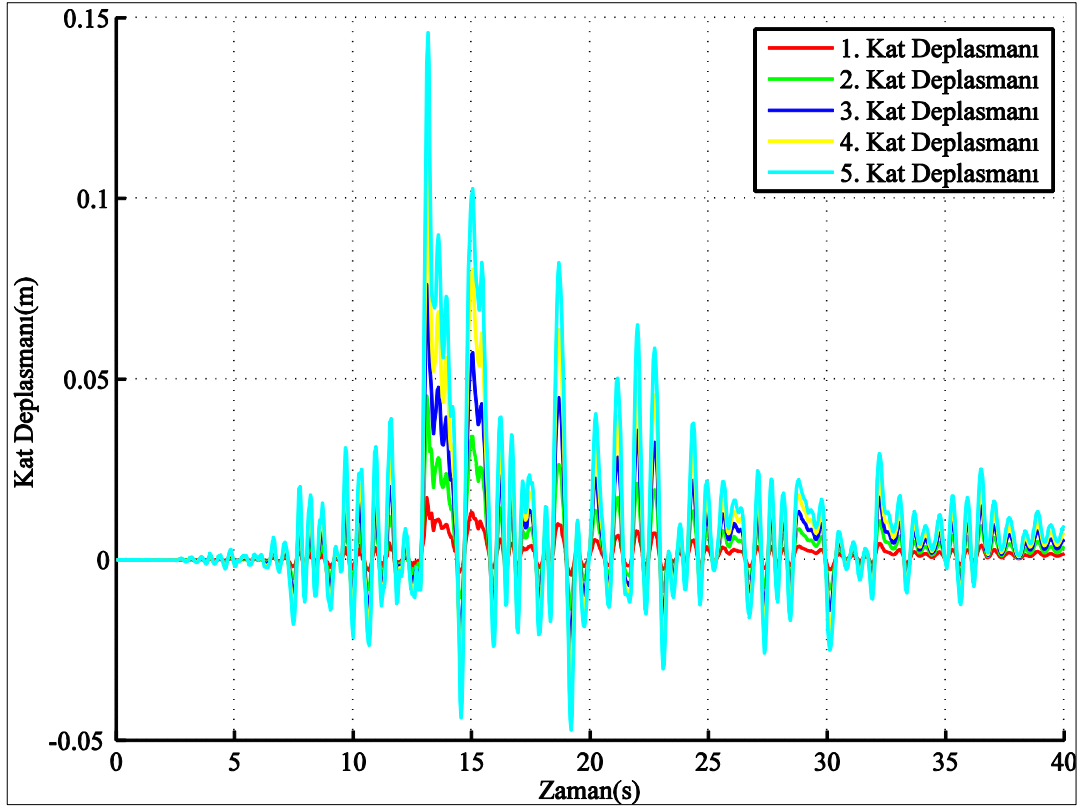
Şekil 6.25: Superstitt Hills Depremi altında, Başlıksız Orta-Dikme Çubuk Modeli Kat Deplasmanları.



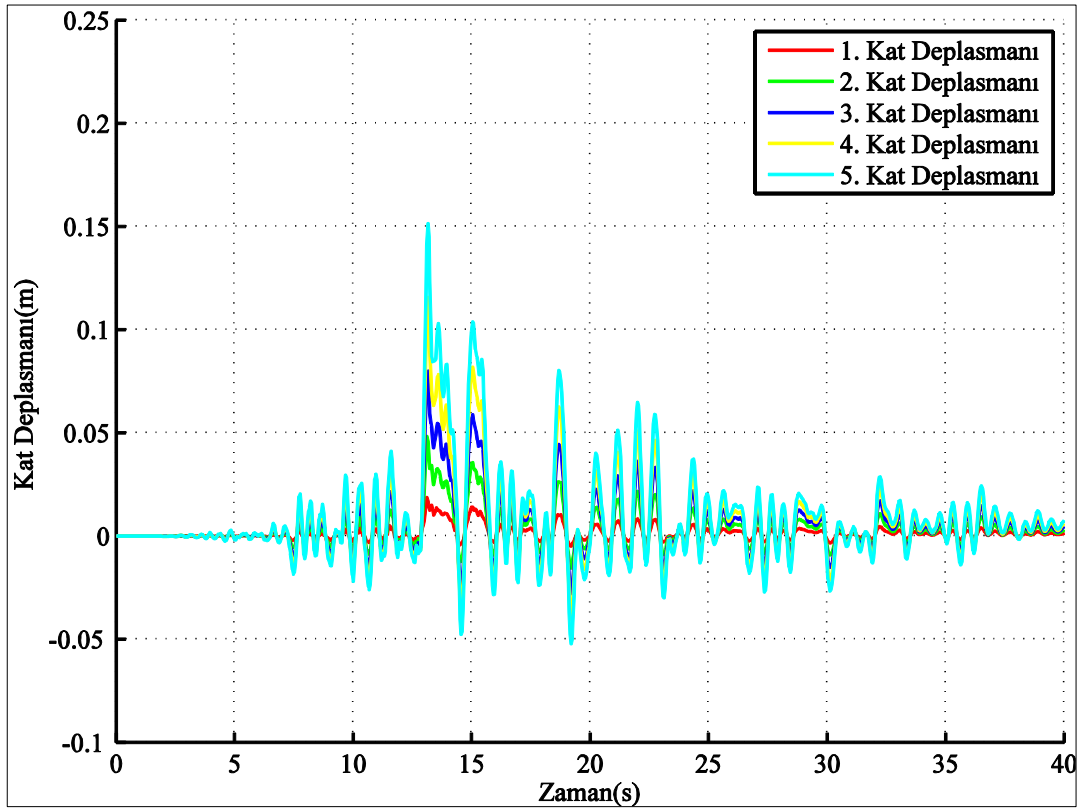
Şekil 6.26: Landers Depremi altında, Başlıklı Fiber Eleman Modeli Kat Deplasmanları.



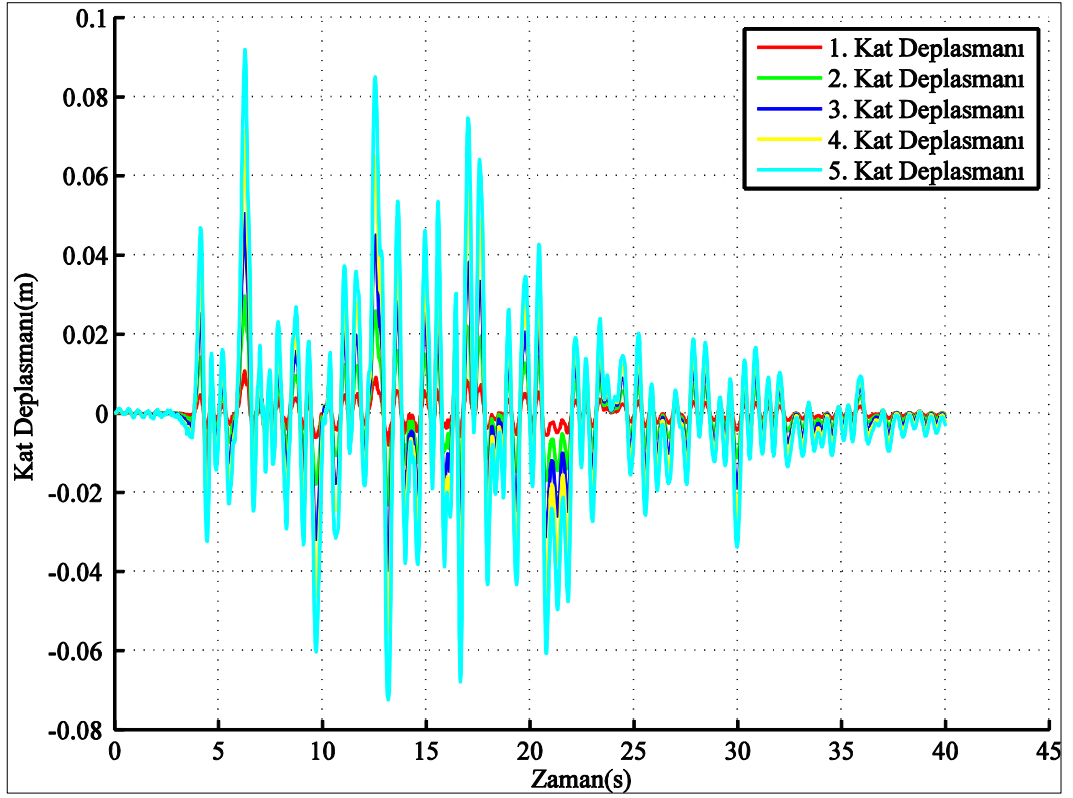
Şekil 6.27: Landers Depremi altında, Başlıksız Fiber Eleman Modeli Kat Deplasmanları.



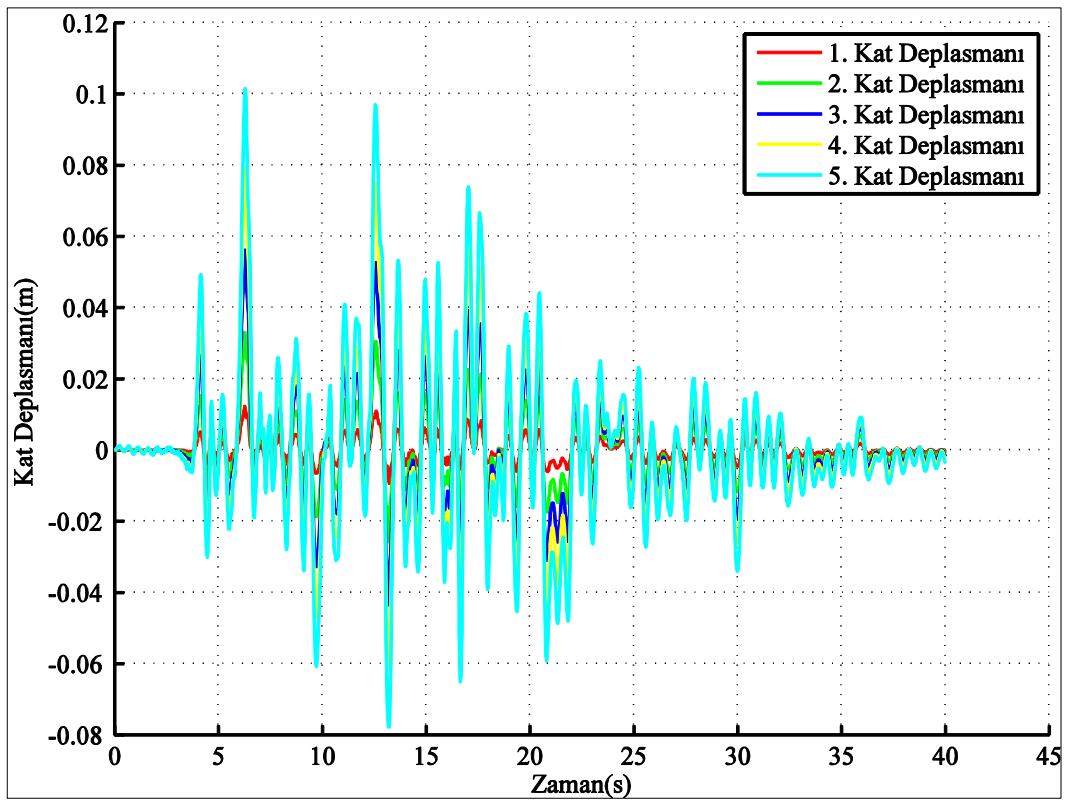
Şekil 6.28: Northridge Depremi altında, Başlıklı Fiber Eleman Modeli Kat Deplasmanları.



Şekil 6.29: Northridge Depremi altında, Başlıksız Fiber Eleman Modeli Kat Deplasmanları.



Şekil 6.30: Superstitt Hills Depremi altında, Başlıklı Fiber Eleman Modeli Kat Deplasmanları.



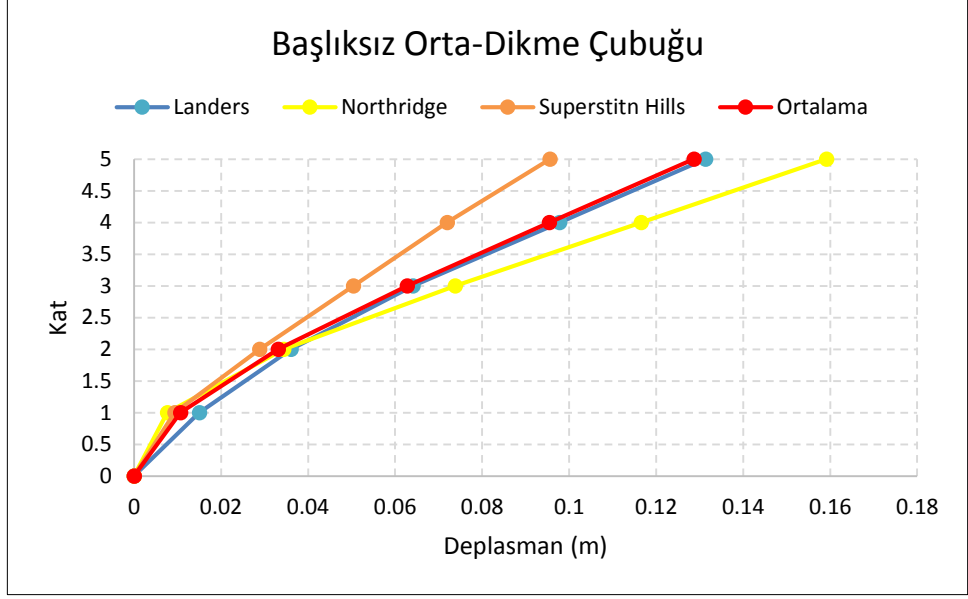
Şekil 6.31: Superstitt Hills Depremi altında, Başlıksız Fiber Eleman Modeli Kat Deplasmanları.

Tablo 6.5: Başlıksız/Başlıklı Perdeli Orta-Dikme Çubuk Modeli maksimum kat deplasmanları.

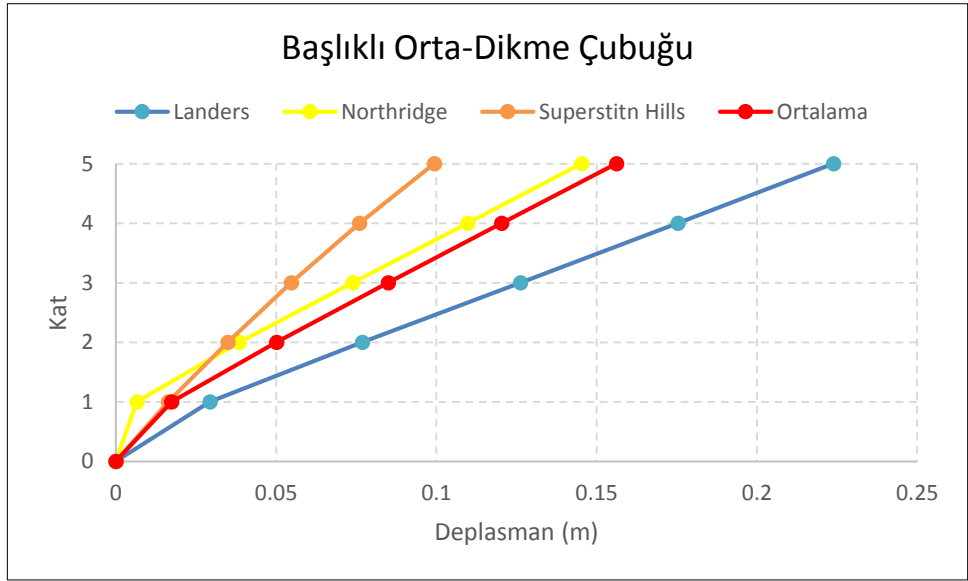
Orta-Dikme Çubuk Modeli (Sap2000)									
Başlıksız Model			Başlıklı Model			Görelî Kat Ötelemeleri Kontrolü			
Kat	Deplasman (cm)	d_i-d_{i-1}	Kat	Deplasman (cm)	d_i-d_{i-1}	Kat	Başlıksız Model	Kat	Başlıklı Model
1	1.50	1.50	1	2.93	2.93	1	0.005	1	0.010
2	3.61	2.11	2	7.69	4.76	2	0.007	2	0.016
3	7.38	3.77	3	12.63	4.94	3	0.013	3	0.016
4	11.66	4.28	4	17.53	4.90	4	0.014	4	0.016
5	15.91	4.25	5	22.39	4.86	5	0.014	5	0.016

Tablo 6.6: Başlıksız/Başlıklı Perdeli Fiber Eleman Modeli maksimum kat deplasmanları.

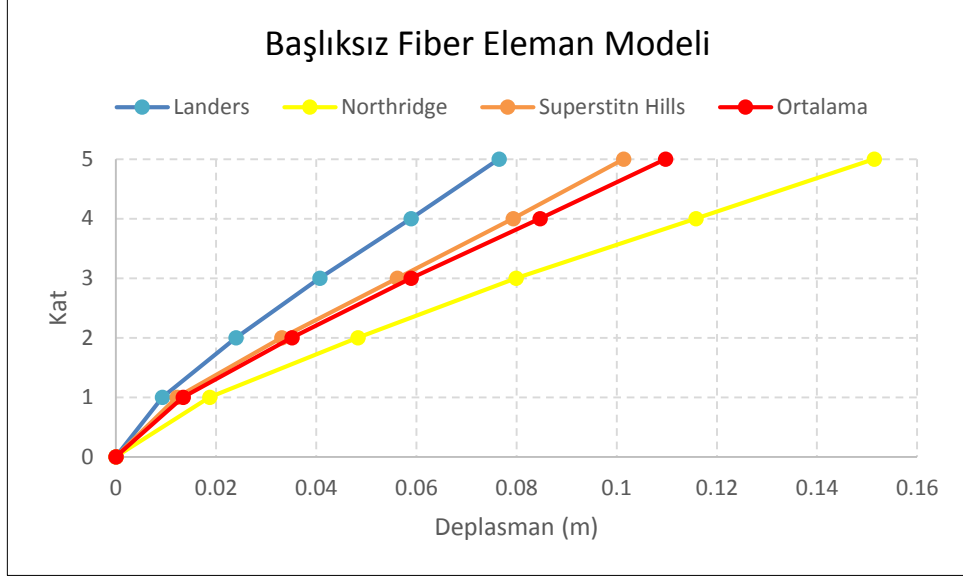
Fiber Eleman Modeli (Perform-3D)									
Başlıksız Model			Başlıklı Model			Görelî Kat Ötelemeleri Kontrolü			
Kat	Deplasman (cm)	d_i-d_{i-1}	Kat	Deplasman (cm)	d_i-d_{i-1}	Kat	Başlıksız Model	Kat	Başlıklı Model
1	1.87	1.87	1	1.72	1.72	1	0.006	1	0.006
2	4.83	2.96	2	4.53	2.81	2	0.010	2	0.009
3	7.99	3.16	3	7.62	3.09	3	0.011	3	0.010
4	11.58	3.59	4	11.05	3.43	4	0.012	4	0.011
5	15.14	3.56	5	14.59	3.54	5	0.012	5	0.012



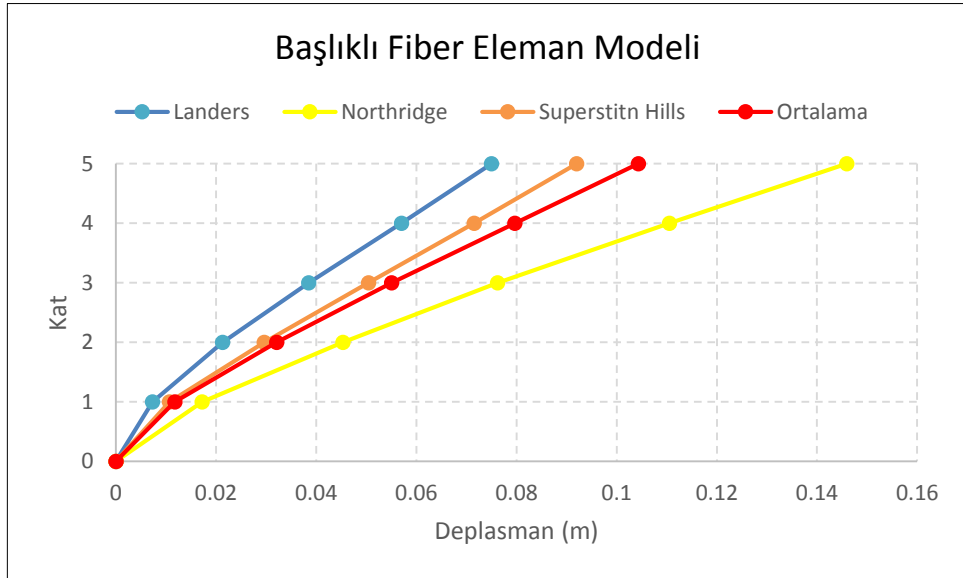
Şekil 6.32: Başlıksız Orta-Dikme Çubuk Modeli kat deplasmanları.



Şekil 6.33: Başlıklı Orta-Dikme Çubuk Modeli kat deplasmanları.



Şekil 6.34: Başlıksız Fiber Eleman Modeli kat deplasmanları.



Şekil 6.35: Başlıklı Fiber Eleman Modeli kat deplasmanları.

7.SONUÇLAR

Bu çalışmada farklı perde modelleme teknikleri kullanılarak oluşturulan 5 katlı taşıyıcı sistemlerin davranışları karşılaştırılmıştır. Başlıklı/Başlıksız olmak üzere; Mafsallı Orta-Dikme Çubuk modeli Sap2000 yazılımı ile, Fiber Eleman Modeli Perform-3D yazılımı ile oluşturulmuştur. Yapı önce servis yükleri altında çözülmüş ardından x eksenini doğrultusunda zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz uygulanarak aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Mafsallı Orta-Dikme Çubuk modelinde perdelerine ait plastik mafsalların özellikleri, FEMA 356 önerileri doğrultusunda tanımlanmıştır. Fiber Eleman Modeli ve Mafsallı Orta-Dikme Çubuğu Modelinin kullanıldığı bina sistemlerinde yapılan zaman tanım alanında analizler sonucu kat deplasmanları bulunarak, görelî kat öteleme kontrolleri yapılmıştır. Başlıksız fiber eleman ve başlıksız orta-dikme çubuk modellerinin kat deplasmanları karşılaştırıldığında sonuçların çok yakın olduğu görülmektedir. Kullanılan 2 yazılımın başlıksız perde modellerinde elde edilen sonuçları birbiriyle oldukça uyumlu olmasına karşın başlıklı modellerde bu durum değişmektedir.

Sap2000'de oluşturulan başlıklı orta-dikme çubuk modeli aynı programda oluşturulan başlıksız modelle kıyaslandığında sağlıklı sonuçlar vermemektedir. Perform-3D'de oluşturulan başlıklı ve başlıksız fiber eleman modelleri karşılaştırıldığında beklendiği gibi başlıklı model kat deplasmanları daha düşük olmakla birlikte sonuçlar birbiriyle uyumludur.

KAYNAKLAR

- [1] Aydınoğlu M. N., (2013), “Doğrusal Olmayan Davranış”, Ders Notları, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü.
- [2] Otani S., (1980), “Nonlinear dynamic analysis of reinforced concrete building structures”, Canadian Journal Civil Engineering, 7 (2), 333-344.
- [3] Dorninger K., Rammerstorfer F.G., (1990), “A layered composite shell element for elastic and thermoelastic stress and stability analysis at large deformations”, International Journal For Numerical Methods In Engineering, 30, 833 -858.
- [4] Darılmaz K., (2012), “Depreme Dayanıklı Betonarme Binaların Tasarımına Giriş”, 1. Baskı, Sage Yayıncılık.
- [5] Celep Z. Kumbasar N., (2000), “Deprem Mühendisliğine Giriş”, 4. Baskı, Beta Yayıncılık.
- [6] Doğangün A., (2005), “Betonarme Yapıların Hesap ve Tasarımı”, 3. Baskı, Birsen Yayınevi.
- [7] Celep Z., (2009), “Betonarme Yapılar”, 5. Baskı, İstanbul Teknik Üniversitesi Yayınları.
- [8] Fahjan Y. M., Başak K., Kubin J., Tan M. T., (2011), “Perdeli Betonarme Yapılar İçin Doğrusal Olmayan Analiz Metotları”, Yedinci Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, 252-264, İstanbul, Türkiye, 30 Mayıs - 3 Haziran.
- [9] Wilson E. L., (2002), “Three-Dimensional Static and Dynamic Analysis of Structures, A Physical Approach With Emphasis on Earthquake Engineering”, 3rd Edition, Computers and Structures USA.
- [10] Nicolae I., Reynouard J. M., (2000), “Nonlinear Analysis of Reinforced Concrete Shear Wall Under Earthquake Loading”, Journal Of Earthquake Engineering, 4 (2), 183- 213.
- [11] Spacone E., El-Tawil S., (2004), “Nonlinear Analysis of Steel-Concrete Composite Structures: State of the Art” ASCE Journal of Structural Engineering, 130 (2), 159-168.
- [12] Miao Z. W., Lu X. Z., Jiang J. J., 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, 171-182, Sanya, Hainan, China, 21-23 August.
- [13] Çakıroğlu A., Özer E., (1980), “Malzeme ve Geometri Değişimleri Bakımından Lineer Olmayan Sistemler”, 7. Baskı, Matbaa Teknisyenleri Basımevi.

- [14] Başak K., (2013), “Perdeli Taşıyıcı Sistemlerin Artımsal İtme Yöntemi ile Deprem Performansının Değerlendirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü.
- [15] Görgülü O., (2014), “Mevcut Betonarme Okul Binalarında Güçlendirme Perdelerinin Etkinliğinin Doğrusal olmayan Dinamik Analiz ile İrdelenmesi”, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.
- [16] DBYBHY, (2007), Bölüm 2 Depreme Dayanıklı Binalar için Hesap Kuralları, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik.
- [17] Chopra A. K., (1995), “Dynamics of Structures: Theory and Applications to Earthquake Engineering”, 5th Edition, University of California at Berkeley Press.
- [18] Fahjan Y., (2011), “Yapı Dinamiği”, Ders Notları, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü.
- [19] Özdemir Z., Fahjan Y. M., (2007), “Gerçek Deprem Kayıtlarının Tasarım Spektrumlarına Uygun Olarak Zaman ve Frekans Tanım Alanlarında Ölçekleme Yöntemlerinin Karşılaştırılması”, 6. Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, 435-446, İstanbul, Türkiye 16-20 Ekim.
- [20] Fahjan Y. M., (2008), “Türkiye Deprem Yönetmeliği Tasarım İvme Spektrumuna Uygun Gerçek Deprem Kayıtlarının Seçilmesi ve Ölçeklenmesi”, İnşaat Mühendisleri Odası Teknik Dergi, 93 (19), 4423-4444.

ÖZGEÇMİŞ

Asım Tepeçelik 1988 yılında Bursa'da doğdu. 2006 yılında girdiği Yıldız Teknik Üniversitesi (YTÜ), İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü'nü 2011 yılında başarıyla tamamlayarak, aynı yıl yüksek lisans eğitimine Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü (GYTE) Deprem ve Yapı Anabilim Dalı'nda başladı. 2011'den bu yana özel sektörde mühendislik hizmeti vermektedir.