

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ZAMAN TANIM ALANI HESAP YÖNTEMİ İLE 30
KATLI BETONARME BİR YAPININ DEPREM
PERFORMANSININ BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Alptuğ ÖZTÜRK

Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
Enstitü Bilim Dalı : YAPI
Tez Danışmanı : Prof. Dr. Naci ÇAĞLAR

Aralık 2017

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ZAMAN TANIM ALANI HESAP YÖNTEMİ İLE 30
KATLI BETONARME BİR YAPININ DEPREM
PERFORMANSININ BELİRLENMESİ**

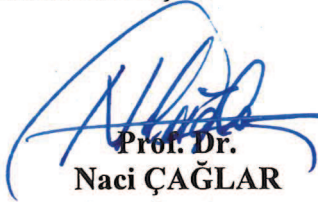
YÜKSEK LİSANS TEZİ

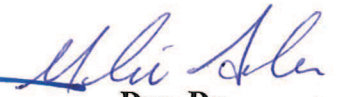
Alptuğ ÖZTÜRK

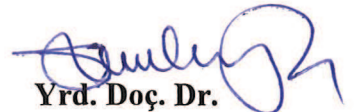
Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Enstitü Bilim Dalı : YAPI

Bu tez 13.12.2017 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir.


Prof. Dr.
Naci ÇAĞLAR
Jüri Başkanı


Doç. Dr.
Mehmet Emin ARSLAN
Üye


Yrd. Doç. Dr.
Ali SARIBIYIK
Üye

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.



Alptuğ ÖZTÜRK

23.11.2017

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca ve tez çalışmam sürecinde kıymetli zamanını ayıran, bilgi ve tecrübesiyle her türlü desteği sağlayan, çok değerli tez danışmanım Prof. Dr. Naci ÇAĞLAR'a ve sayın jüri üyelerine teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım sırasında değerli bilgilerini hiç esirgmeden benimle paylaşan sayın Araş. Gör. Gökhan DOK ve Araş. Gör. Aydın DEMİR'e, tez çalışmam sürecinde sürekli olarak fikir alışverişinde bulunduğum İnş. Müh. Muharrem YÜKSEL'e ve iş arkadaşlarım İnş. Müh. Ahmet Lokman DEMİRHAN ve İnş. Müh. Yasin Coşku ŞENTÜRK'e teşekkür ederim.

Ayrıca inşaat mühendisliği bölümünü tercih etmemdeki en önemli faktör olan, üniversite ve çalışma hayatım boyunca bilgi ve tecrübesiyle, maddi ve manevi desteklerini hiç esirgemeyen hem amcam hem patronum saygıdeğer İnş. Müh. İbrahim ÖZTÜRK'e teşekkürü bir borç bilirim.

Hayatım boyunca bana desteğini esirgemeyen aileme ve tez döneminde bana en yakın desteği veren sevgili eşime şükranlarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	vi
TABLolar LİSTESİ	ix
ÖZET	x
SUMMARY	xi

BÖLÜM 1.

GİRİŞ	1
1.1. Konu	1
1.2. Konu ile İlgili Çalışmalar	2
1.3. Amaç ve Kapsam	5
1.4. Tezin İçeriği	5

BÖLÜM 2.

DEPREM ETKİSİ ALTINDA BETONARME ELEMANLARIN DAVRANIŞI	7
2.1. Malzeme Bakımından Davranış	7
2.2. Betonarme Kesitte Basit Eğilme Etkisi Davranışı	9
2.3. Betonarme Kesitte Birleşik Eğilme Etkisi Davranışı	10
2.4. Betonarme Kesitte Eğilme Rijitliği	11
2.5. Süneklik	12
2.6. Plastik Mafsal Kavramı	13
2.7. Betonarmede Kapasite Tasarımı	14

BÖLÜM 3.

BİNA PERFORMANSININ DOĞRUSAL ELASTİK OLMAYAN

YÖNTEMLERLE BELİRLENMESİ	16
3.1. Doğrusal Elastik Olmayan Davranışın İdealleştirilmesi	16
3.2. Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi	19
3.2.1. Yapay deprem yer hareketleri	19
3.2.2. Kaydedilmiş veya benzeştirilmiş deprem yer hareketleri	20
3.2.3. Zaman tanım alanında hesap	20
3.3. Bina Deprem Performansının Belirlenmesi	20
3.3.1. Betonarme binaların deprem performansı	20
3.3.2. Hemen kullanım performans düzeyi	21
3.3.3. Can güvenliği performans düzeyi	21
3.3.4. Göçme öncesi performans düzeyi	22
3.3.5. Göçme durumu performans düzeyi	23
3.4. Binalar İçin Hedeflenen Performans Düzeyleri	23
3.5. Betonarme Elemanların Kesit Birim Şekil Değiştirme Kapasiteleri	25
3.6. Betonarme Malzeme Modelleri	26
3.6.1. Sargılı ve sargısız beton modelleri	26
3.6.2. Donatı çeliği için malzeme modeli	26

BÖLÜM 4.

SAYISAL ANALİZ	28
4.1. Bina Genel Bilgileri	28
4.2. Yapısal Modelin Oluşturulması	33
4.2.1. Malzeme modelleri	37
4.2.2. Kesitlerin moment-eğrilik bağıntılarının oluşturulması ve akma yüzeylerinin elde edilmesi	38
4.2.3. Kesitlerin plastik mafsallarının oluşturulması	43
4.2.4. Perde ve kolonlarda plastik mafsallarının oluşturulması	43
4.2.5. Kirişlerde plastik mafsallarının oluşturulması	46
4.2.6. Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz	48
4.2.7. Analiz için kullanılacak deprem ivme kayıtları	48

4.2.8. Zaman tanım alanında analiz için SAP2000’ de veri girişi yapılması	51
4.3. Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi	53
4.3.1. Deprem etkilerinin irdelenmesi	53
4.3.2. Kirişlerde hasar durumunun incelenmesi	55
4.3.3. Kolonlarda hasar durumunun incelenmesi	63
4.3.4. Perdelerde hasar durumunun incelenmesi	69
 BÖLÜM 5.	
SONUÇLAR	74
 KAYNAKLAR	77
ÖZGEÇMİŞ	79

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

A_s	: Boyuna donatı alanı
A_c	: Kolon veya perdenin brüt kesit alanı
E_c	: Betonun elastisite modülü
E_s	: Donatı çeliğinin elastisite modülü
$(EI)_e$	: Çatlamış kesite ait etkin eğilme rijitliği
$(EI)_0$	: Çatlamamış kesite ait eğilme rijitliği
h	: Çalışan doğrultudaki kesit boyutu
L_p	: Plastik mafsalsal boyu
ϵ_{cg}	: En dış lifdeki beton basınç birim şekil değiştirmesi
ϵ_{cu}	: Kesitin en dış lifindeki beton basınç birim şekil değiştirmesi
ϵ_s	: Donatı çeliği birim şekil değiştirmesi
ϕ_p	: Plastik eğrilik istemi
ϕ_t	: Toplam eğrilik istemi
ϕ_y	: Eşdeğer akma eğriliği
θ_p	: Plastik dönme istemi
TDY	: Türkiye Deprem Yönetmeliği 2007

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. İdeal malzeme modelleri (Ozer, 2006).	8
Şekil 2.2. Yükleme – şekil değiştirme eğrisi (Anıl, 2015).	9
Şekil 2.3. Betonarme kesitte eğilme momenti – eğrilik ilişkisi (Celep, 2007).	10
Şekil 2.4. Normal kuvvet etkisi altında betonarme bir kesitin moment – eğrilik ilişkisi (Celep, 2007).	10
Şekil 2.5. Sürekli kiriş ve kolonda kesit durumları (Celep, 2007).	11
Şekil 2.6. Kesit, eleman ve sistem için yük-şekil (yer) değiştirme ilişkisi (Celep, 2007).	12
Şekil 2.7. Kesitte gevrek ve sünek davranış grafikleri (Celep, 2008).	13
Şekil 2.8. Sürekli kirişte mesnet ve açıklık bölgesinde plastik eğrilik değişimi (Celep, 2007).	14
Şekil 2.9. İki halkalı zincirin gevrek ve sünek güç tükenmesi (Celep, 2007).	15
Şekil 3.1. Moment-plastik şekildeğiştirme kabulleri (TDY, 2007).	18
Şekil 3.2. Kesit hasar bölgeleri (TDY, 2007).	21
Şekil 3.3. Yapılar için performans düzeyleri (TDY, 2007).	21
Şekil 3.4. Sargılı ve sargısız beton için gerilme-şekildeğiştirme grafikleri (TDY, 2007).	27
Şekil 3.5. Donatı çeliğinin gerilme-şekildeğiştirme grafiği (TDY, 2007).	27
Şekil 4.1. Perdeli-çerçeve model tip kat kalıp aplikasyon planı	29
Şekil 4.2. Çerçeve model tip kat kalıp aplikasyon planı	29
Şekil 4.3. Perde elemanlar için orta-dikme çubuk modeli	33
Şekil 4.4. Perdeli-çerçeve model ve çerçeve model için eleman numaraları	34
Şekil 4.5. Perdeli-çerçeve model ve çerçeve model için eleman numaraları	35
Şekil 4.6. Perdeli-çerçeve model Sap2000 üç boyut görüntüsü	36
Şekil 4.7. SAP2000’de C35 beton sınıfı için malzeme modeli	37
Şekil 4.8. SAP2000’de S420 donatı çeliği için malzeme modeli	37

Şekil 4.9. SAP2000 section designer’da 80x60 kiriş tanımı(t-m)	38
Şekil 4.10. 80x60 kiriş için moment-eğrilik bağıntısı(t-m)	39
Şekil 4.11. 80x60 kiriş için mander sargılı beton modeli(t-m)	39
Şekil 4.12. SAP2000 section designer’da 140x80 kolon tanımı(t-m)	40
Şekil 4.13. 140x80 kolon için akma yüzeyleri(t-m)	40
Şekil 4.14. 140x80 kolon için moment-eğrilik bağıntısı(t-m)	40
Şekil 4.15. 140x80 kolon için mander sargılı beton modeli(t-m)	41
Şekil 4.16. Sap2000 section designer’da 520x40 perde tanımı(t-m)	41
Şekil 4.17. 520x40 perde için akma yüzeyleri(t-m)	42
Şekil 4.18. 520x40 perde için moment-eğrilik bağıntısı(t-m)	42
Şekil 4.19. 520x40 perde için mander sargılı beton modeli (t-m)	42
Şekil 4.20. C140x80 kolonu için P-M2-M3 plastik mafsalları tanımı	43
Şekil 4.21. C4-140/80 kolon için eksenel kuvvet tanımı	45
Şekil 4.22. C4-140/80 kolon için plastik mafsalları veri girişi	45
Şekil 4.23. B80x60 kirişi için M3 plastik mafsalları tanımı	46
Şekil 4.24. B80x60 kirişi için plastik dönme ilişkisi	47
Şekil 4.25. Plastik mafsalları tipik yük-deformasyon ilişkisi	47
Şekil 4.26. Kullanılan deprem kayıtlarının ivme-zaman grafikleri	50
Şekil 4.27. Kullanılan deprem kayıtlarının Sap2000’de tanımlanması	51
Şekil 4.28. G+0,3Q başlangıç koşulunun tanımlanması	52
Şekil 4.29. Zaman tanım alanında veri girişi	52
Şekil 4.30. Landers deprem kaydı etkisi altında yerdeğiştirme-zaman grafikleri ...	54
Şekil 4.31. Imperial Valley deprem kaydı etkisi altında yerdeğiştirme-zaman grafikleri	54
Şekil 4.32. Düzce K-G deprem kaydı etkisi altında yerdeğiştirme-zaman grafikleri	55
Şekil 4.33. Perdeli-çerçeve model için x yönü kirişlerde hasar dağılımları	58
Şekil 4.34. Çerçeve model için x yönü kirişlerde hasar dağılımları	58
Şekil 4.35. Perdeli-çerçeve model için y yönü kirişlerde hasar dağılımları	59
Şekil 4.36. Çerçeve model için y yönü kirişlerde hasar dağılımları	59
Şekil 4.37. Sap2000 plastik dönme istemi (rad)	60
Şekil 4.38. Eşdeğer akma eğriliği (rad/m)	61

Şekil 4.39. Toplam eğrilik için birim deformasyon değerleri	62
Şekil 4.40. Perdeli-çerçevesel model için x yönü kolonlarda hasar dağılımları	66
Şekil 4.41. Çerçevesel model için x yönü kolonlarda hasar dağılımları	66
Şekil 4.42. Perdeli-çerçevesel model için y yönü kolonlarda hasar dağılımları	67
Şekil 4.43. Çerçevesel model için y yönü kolonlarda hasar dağılımları	67
Şekil 4.44. Perdeli-çerçevesel model için x yönü perdelerde hasar dağılımları	71
Şekil 4.45. Perdeli-çerçevesel model için y yönü perdelerde hasar dağılımları	71



TABLolar LİSTESİ

Tablo 3.1. Gözönüne alınabilecek deprem için parametreler	23
Tablo 3.2. Farklı deprem düzeylerinde binalar için öngörülen minimum performans hedefleri (TDY, 2007).	24
Tablo 3.3. Donatı çeliğine ait bilgiler (TDY, 2007)	26
Tablo 4.1. Döşeme yük analizi	30
Tablo 4.2. Kiriş yayılı yük değerleri	31
Tablo 4.3. Perdeli-çerçeveli model için kesit boyutları ve donatı miktarları	32
Tablo 4.4. Perdeli-çerçeveli model için kesit boyutları ve donatı miktarları	32
Tablo 4.5. Perdeli-çerçeveli model için etkin eğilme rijitliği katsayıları	34
Tablo 4.6. Çerçeveli model için etkin eğilme rijitliği katsayıları	35
Tablo 4.7. Periyot ve kütle katılım oranları	36
Tablo 4.8. Kolon elemanlarında eksenel kuvvet değerleri (perdeli-çerçeveli model)	44
Tablo 4.9. Perde elemanlarında eksenel kuvvet değerleri (perdeli-çerçeveli model)	44
Tablo 4.10. Kolon elemanlarında eksenel kuvvet değerleri (çerçeveli model)	44
Tablo 4.11. Türkiye’de yerel zemin sınıfı Z2 olan bölgelerde kullanılabilecek deprem kayıtları ve ölçekleme katsayıları (Fahjan, 2007).	51
Tablo 4.12. Deprem kayıtları için genel bilgiler	51
Tablo 4.13. Perdeli-çerçeveli model için katlarda oluşan kiriş hasar dağılımları ...	56
Tablo 4.14. Çerçeveli model için katlarda oluşan kiriş hasar dağılımları	57
Tablo 4.15. Perdeli-çerçeveli model için katlarda oluşan kolon hasar dağılımları..	64
Tablo 4.16. Çerçeveli model için katlarda oluşan kolon hasar dağılımları	65
Tablo 4.17. Perdeli-çerçeveli model için katlarda oluşan perde hasar dağılımları ..	70

ÖZET

Anahtar kelimeler: Betonarme yüksek bina, zaman tanım alanında hesap, doğrusal olmayan analiz, performans analizi, perdeli-çerçeve yapı, çerçeve yapı

Ülkemiz sismik yönden aktif bir deprem kuşağı üzerinde bulunmakta olup, geçmiş yıllarda yaşanan büyük maddi ve manevi kayıplar, deprem yönetmeliklerinde yer alan tasarım kuralları ile kontrol altına alınmaya çalışılmıştır. Ülkemizde ve dünyada, özellikle son yıllarda çok katlı bina sayısında önemli oranda artış olmuştur. Deprem etkisi altında olan bu çok katlı yapıların taşıyıcı sistemlerinin seçimi, yapının deprem davranışı açısından oldukça önem arz etmektedir. Taşıyıcı sistem seçiminde perde duvarlar binanın deprem dayanımını ve deprem performansını önemli ölçüde artırmaktadır.

Bu çalışmada, çok katlı yapıların taşıyıcı sistemlerinde betonarme perde duvar elemanlarının deprem performansına etkileri incelenmiştir. Bu amaçla 30 katlı betonarme yüksek bir bina için, perdeli-çerçeve ve çerçeve olarak iki farklı model oluşturulmuş ve SAP2000 sonlu elemanlar programı ile zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik analizleri yapılmıştır. İki farklı model için sonuçlar ayrı ayrı değerlendirilmiş ve deprem etkisi altında perdeli-çerçeve model ile çerçeve modelde oluşan yer değiştirmeler karşılaştırılmış ve yapıların hedef deprem performans seviyelerini sağlayıp sağlayamadıkları kontrol edilmiştir.

Tez kapsamında yapılan tüm analizler ve değerlendirmeler neticesinde betonarme çok katlı yapıların tasarımında ve taşıyıcı sistem seçiminde perdeli sistemin kullanılmasının, yapı elemanlarının hasar seviyelerini önemli derecede azalttığı ve yapının performans seviyesini artırdığı tespit edilmiştir.

DETERMINATION OF THE PERFORMANCE ANALYSIS OF A 30 STORIES REINFORCED CONCRETE STRUCTURE USING TIME HISTORY ANALYSIS

SUMMARY

Keywords: Reinforced concrete tall building, time-history analysis, nonlinear analysis, performance analysis, shear wall-frame structure, frame structure

Since our country is on a very active seismic zone in terms of earthquakes occurring throughout the World, there have been great financial and spiritual losses for years. That's why, conditions resulted from these earth movements are tried to be under control with new earthquake regulations in last years. There is a great increase on number of multistory buildings around the world and in our country which covers a lot of active seismic-zones in recent years. It is very important to select the type of structural system of the concrete structures in terms of their structural behavior under seismic effect. Reinforced concrete shear walls which provide a great resistance to the concrete structures against earthquake are very effective components for the concrete buildings when deciding (designing) the structural systems.

In this study, effects of shear walls on structural behavior of multistory buildings under seismic loads are investigated. For this purpose, two different 30 story buildings are modelled in SAP2000. One is composed of just frame systems, the other one is composed of both frame systems and shear-walls as well. Then, these models are tested by nonlinear dynamic analyzes through time history method. Finally, analyze results of two models are examined separately, and existing displacements on model compared to each other. Then, intended level of performance results were checked to be sure if the results correspond to expected values or not.

All the committed analyses and evaluations which are done this study indicate that using shear walls is significantly reducing the level of damage and increasing the level of performance of structures when selecting the bearing system of multistory reinforced concrete constructions.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

1.1. Konu

Ülkemiz sismik yönden aktif bir deprem kuşağı üzerinde bulunmakta olup, geçmiş yıllarda yaşanan büyük maddi ve manevi kayıplar, deprem yönetmeliklerinde yer alan tasarım kuralları ile kontrol altına alınmaya çalışılmaktadır.

Son yıllarda dünyada ve ülkemizde çok katlı bina sayısında önemli oranda artış olmuştur. Deprem etkisi altında olan bu çok katlı yapıların taşıyıcı sistemlerinin seçimi, yapının deprem davranışı açısından oldukça önem arz etmektedir. Taşıyıcı sistem seçiminde perde duvarlar binanın deprem dayanımını ve deprem performansını önemli ölçüde artırmaktadır. Büyük ötelenme rijitliğine sahip perde duvar elemanları deprem etkisi altında yanal ötelenmeleri de azaltmaktadır.

Yapıların depreme dayanıklı tasarımında kullanılan yönetmelikler, alışlagelmiş orta ve az yükseklikteki binaların tasarımı için hazırlanmış dokümanlardan oluşmaktadır. Bu bağlamda bina tasarımı, ‘dayanım esaslı’ tasarım yaklaşımı çerçevesinde azaltılmış deprem yüklerine göre doğrusal elastik davranış varsayımı ile yapılan yaklaşık analizlere ve tasarımcıları belirli taşıyıcı sistemlere yönlendirirler (Aydınoğlu, 2009).

Sonlu elemanlar yönteminin gelişen ve günden güne daha da geliştiren bilgisayar programları ile yapı modellemesinin kolaylaşması ve yapılan deneysel ve teorik çalışmalar ile betonarme elemanların davranışlarının daha iyi anlaşılması, özellikle yapıların elastik ötesi davranışının daha hızlı ve daha doğru şekilde değerlendirilmesini sağlamaktadır. Özellikle doğrusal olmayan davranışın göz önüne alındığı deprem etkisi altında taşıyıcı sistemin tasarımı bu duruma iyi bir örnek oluşturmaktadır. Türkiye Deprem yönetmeliği (TDY2007)’de mevcut binaların

deprem güvenliklerinin değerlendirilmesinde, tasarımı yapılacak binalarda, daha belirgin biçimde doğrusal elastik olmayan davranışın esas alındığı görülmektedir (Celep, 2008).

1.2. Konu ile İlgili Çalışmalar

Betonarme yüksek yapıların doğrusal olmayan zaman tanım alanı hesap yöntemi ile ilgili literatürde yapılan bazı çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

G.Uygun ve Z.Celep (2007), yaptıkları çalışmada TDY 2007'ye uygun olarak tasarlanmış mevcut bir yapının farklı hesap yöntemleri ile deprem performans seviyeleri tespit edilmiş ve üç farklı hesap yönteminin sonuçları grafiklerle karşılaştırma yapılmıştır. Yapının farklı hesap yöntemleri ile elde edilen sonuçları değerlendirildiğinde, doğrusal yöntemin diğer hesap yöntemlerinden daha basit bir çözümleme yönteminin olduğu, sonuçların daha tutucu olduğu görülmüştür. Doğrusal olmayan analizlerde ise doğrusal yöntem sonuçlarına yakın değerler elde edildiği ve sonuçların daha makul olduğu, ancak dinamik analiz sonuçlarının çok yakın olmadığı görülmüştür.

N.Aydınoğlu (2009), çalışmalarında yüksek binaların deprem davranışı ve deprem tasarımında, bu binaların daha gerçekçi deprem davranışlarını izlemek ve şiddetli bir deprem sonrası yapıda oluşacak hasar seviyesinin tespit edilebilmesi için, özel deprem yönetmeliklerinin hazırlanması gerektiği konusunu gündeme getirmiştir. Çalışma kapsamında performansa göre tasarım yaklaşımı, performans hedefleri, kapasite tasarımı ve minimum deprem yükleri, malzeme dayanımları ve performans kriterleri gibi ana başlıklar altında, çok katlı binaların deprem tasarımlarının gerçekleştirilmesi gerektiği belirtilmiştir.

Z.Celep ve M.Gençoğlu (2009), çalışmalarında betonarme yapılarda şekil değiştirmeye dayalı tasarım ile kuvvete dayalı tasarım arasında karşılaştırmalı açıklamalar yapılmış ve basit sayısal örneklerle şekil değiştirmeye dayalı tasarıma duyulan ihtiyaç konusu tartışılmıştır. Yapılan çalışma kapsamında incelenen basit

örneklerde zaman tanım alanında doğrusal olmayan çözüm sonuçları yapılan kabullerden çok fazla etkilendiği, farklı deprem kayıtlarının farklı sonuçlara neden olduğu, verilerdeki küçük değişikliklerin sonuçlarda büyük farklılıklar oluşturduğu sonuçlarına varılmıştır.

K.Güler ve diğerleri (2009), yaptıkları çalışmada 60 katlı yüksek bir binanın ETABS yazılımı kullanılarak oluşturulan modelde 8 adet deprem kaydı kullanılmış ve zaman tanım alanı doğrusal elastik hesap yöntemi ile analizler yapılmış ve farklı deprem kayıtları için kat yerdeğiştirmeleri, kat kesme kuvvetleri ve devrilme momentlerinin karşılaştırılması yapılmış olup, elemanlar bazında sünek davranış ve elastik olmayan dönme değerleri kontrol edilmiş, ancak performans analizi tez kapsamında incelenmemiştir.

M.S.Döndüren ve A.Karaduman (2010), yaptıkları çalışmada taşıyıcı sistemi perdeli-çerçeve ve sadece çerçeve olan aynı yapı için iki farklı model oluşturulmuş ve mod birleştirme yöntemi ile, bu iki yapının hedef performans seviyeleri ve deplasman davranışlarının karşılaştırılması yapılmıştır. Çok katlı betonarme binalarda taşıyıcı sistemde perde elemanların deprem davranışı açısından taşıyıcı sisteme önemli katkı sağladığı tespit edilmiştir.

Y.Fahjan ve diğerleri (2011), yaptıkları çalışmada perdeli betonarme binalar için doğrusal olmayan analiz metodlarını hem başlıklı hem de başlıksız perde duvarlara sahip betonarme çerçeve binalara uygulanmıştır. Perde duvarlar orta-dikme çubuk elemanları veya kabuk elemanlar ile modellenmiştir. Farklı modellerin sonuçları, yapısal sistemlerin genel davranışı açısından karşılaştırılmıştır ve modelleme yaklaşımları sonuçlarının benzer performans gösterdikleri görülmüştür.

M.İnel ve diğerleri (2011), yaptıkları çalışmada az katlı betonarme binaların deprem etkisi altında yatay deplasman değerlerinin üç boyutlu modeller üzerinde zaman tanım alanında analiz yöntemi ile değerlendirilmiştir. İki farklı deprem yönetmeliğini ve iki farklı malzeme durumunu dikkate alınarak oluşturulan modeller için yapılan analizler

sonucunda, yapının tepe noktası deplasmanı ve maksimum görelî kat ötelenme oranları incelenmiştir.

N.Çağlar ve diğerkleri (2014), yaptıkları çalışmada TDY2007'ye göre tasarlanmış üç katlı betonarme bir yapı modellenmiş ve oluşturulan modelin artımsal statik itme analizi ve doğrusal elastik olmayan zaman tanım alanı hesap yöntemi ile taban kesme kuvvetleri, kat yerdeğıştirmeleri ve görelî kat ötelemeleri karşılaştırılmıştır. Ayrıca yapının zaman tanım alanında yerdeğıştirme değerklerinin artımsal itme analizinden daha düşük çıktığı sonucuna varılmıştır.

B.Sürel (2010), yapmış olduğı yüksek lisans tezi kapsamında, doğrusal olmayan artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi ile 8 katlı perdeli çerçevesel bir binanın performans analizleri karşılaştırılmıştır. Doğrusal olmayan zaman tanım alanı hesap yöntemi ile belirlenen kesit hasarları için bulunan sonuçların artımsal eşdeğer deprem yükü yönteminden daha tutarlı ve uygun sonuçlar verdiği görölmüş ve her iki yöntem ile hedef performans seviyesinin sağlandığı sonucuna varılmıştır.

G.Dok (2011), yapmış olduğı yüksek lisans tezi çalışmasında, 32 katlı betonarme bir yapının deprem performansı, doğrusal olmayan zaman tanım alanı hesap yöntemi ile belirlenmiştir. Tez kapsamında doğrusal elastik yöntem ile ETABS programında modellenen yapı için temel ve gerilme analizleri yapılmış olup, doğrusal olmayan analiz için SAP2000 programı kullanılmıştır. Yapılan analizler neticesinde kesit hasar bölgeleri TDY2007'ye göre tespit edilmiş ve yapının hedef performans seviyesinin sağlanamadığı sonucuna varılmıştır.

A.Karaca (2014), yapılan tez kapsamında, 33 katlı betonarme bir yapının doğrusal olmayan zaman tanım alanı hesap ile deprem performans seviyesi belirlenmiştir. Yapılan hesaplar neticesinde, yapının Can Güvenliğı hedef performans seviyesinin sağlandığı tespit edilmiştir.

A.Tepençelik (2015), yapmış olduğu yüksek lisans tezi kapsamında, perdeli taşıyıcı sistemlerin zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizleri için, perde duvarların doğru modellenebilmesi üzerinde Perform 3D programı ile karşılaştırma yapılmıştır. Başlıklı ve başlıksız olarak modellenen perdelerin, doğrusal ve doğrusal olmayan analizleri üzerinde durulmuştur. Farklı modelleme yaklaşımlarının sonucunda elde edilen analiz sonuçlarında kat deplasmanlarının oldukça uyumlu olduğu görülmüştür. SAP2000 ve Perform-3D programlarının analiz sonuçlarının başlıksız perde modelleri için uyumlu olduğu, başlıklı perdeli modeller için ise uyumlu olmadığı görülmüş, Perform-3D programının daha tutarlı sonuçlar verdiği kanaatine varılmıştır.

1.3. Amaç ve Kapsam

Bu çalışma kapsamında, deprem etkisi altındaki betonarme yüksek binaların deprem performansına betonarme perde duvarların etkileri incelenmiştir. Bu amaçla 30 katlı çerçeve ve perdeli-çerçeve iki farklı yapı modeli oluşturulmuş ve bu yapı modellerinin SAP2000 sonlu elemanlar programı ile zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizleri yapılmıştır. Taşıyıcı sistemi çerçeve ve perdeli-çerçeve olan iki farklı yapı modeli için, perde duvarların dışında kalan tüm özellikler sabit tutulmuştur. Her iki yapı modeli de simetrik olarak tasarlanmış ve burulma etkilerinin oluşmaması sağlanmıştır. Tüm elemanlar için minimum donatı oranları seçilmiştir. Yapılan sayısal analizlerde Landers, Imperial Valley ve Düzce K-G olmak üzere 3 adet gerçek deprem kaydı seçilmiştir. Deprem kayıtları yapıya hem x-doğrultusu hem de y-doğrultusu boyunca etkitilmiş ve yapıların yapmış oldukları deprem davranışları incelenmiştir.

1.4. Tezin İçeriği

Bu tez çalışması 5 bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde deprem etkisi altındaki betonarme yüksek binaların taşıyıcı sistem seçiminde perde duvar elemanlarının deprem performansına etkileri ve bu kapsamda yapılan literatür çalışmalarından özet bilgiler verilmiştir. Yapılan çalışmanın amaç ve kapsamı açıklanmıştır.

İkinci bölümde, betonarme elemanların deprem etkisi altındaki davranışları, malzeme bakımından davranış, basit ve bileşik eğilme etkisi bakımından davranış, süneklik, kapasite tasarımı ve plastik mafsalları gibi kavramlar üzerinde durulmuştur.

Üçüncü bölümde, depremde bina performansının doğrusal elastik olmayan yöntemlerle belirlenmesi açıklanmıştır. TDY2007’de belirtilen yönetmelik koşulları, sınır değerler ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi çerçevesinde performans kavramı ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

Dördüncü bölümde, tez kapsamında incelenen perdeli-çerçeve ve çerçeve modellerin sayısal analizleri performans kavramı dikkate alınarak model Sap2000 sonlu elemanlar programı ile modellenmiş ve modelleme adımları detaylı olarak açıklanmıştır.

Beşinci bölümde, oluşturulan 30 katlı betonarme yapının analiz sonuçları karşılaştırmalı olarak incelenmiş ve analizler değerlendirilmiştir.

BÖLÜM 2. DEPREM ETKİSİ ALTINDA BETONARME ELEMANLARIN DAVRANIŞI

Betonarme taşıyıcı sistemlerin düşey ve deprem yükleri altında tasarımında, taşıyıcı sistem elemanlarındaki kesit tesirleri ve yerdeğiştirmelerin tespit edilmesi gerekmektedir. Hesaplanan kesit etkileri altında kesitin tasarımı (geometrik boyutlar ve donatı düzenlenmesi) belirlenmeli ve deprem yükü altında yatay yer değiştirmelerin sınır değerler içerisinde kalması sağlanmalıdır (Celep, 2008).

Deprem etkisi altındaki yapının davranışının belirlenmesinde ve depreme dayanıklı yapı tasarımında, binayı oluşturan yapı elemanlarının davranışlarının çok iyi bilinmesi gerekmektedir (Celep, 2004).

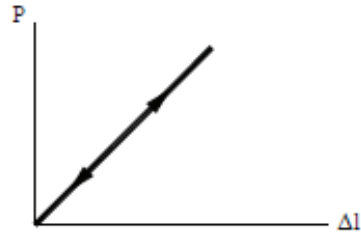
Bu bölümde betonarme elemanların deprem etkisi altındaki davranışları, malzeme bakımından davranış, basit ve birleşik eğilme etkisi bakımından davranış, süneklik, kapasite tasarımı ve plastik mafsalları gibi kavramlar açıklanmıştır.

2.1. Malzeme Bakımından Davranış

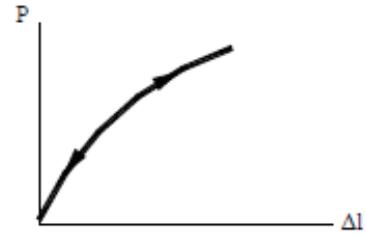
Malzemenin gerilme – şekil değiştirme ilişkisi genel olarak doğrusal değildir. Malzeme özelliğine bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Yaklaşık sonuçlar elde edebilmek için basit malzeme modelleri kabul edilmektedir. İleri matematiksel modellerin kullanılması durumunda karmaşık taşıyıcı sistemler için yorum yapılabilmesi zorlaşmaktadır. En basit modeller doğrusal elastik ve plastik modellerden oluşmaktadır. Bazıları şu şekilde sıralanabilir;

- Doğrusal elastik malzeme
- Doğrusal olmayan elastik malzeme
- Elastoplastik malzeme

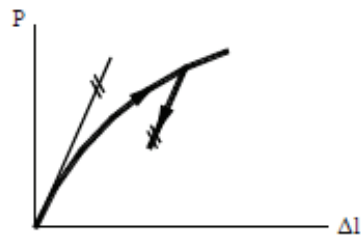
- İdeal elastoplastik malzeme
- Pekleşen ideal elastoplastik malzeme
- Rijit Plastik malzeme



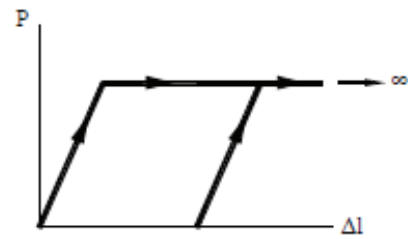
(a) Doğrusal- elastik malzeme



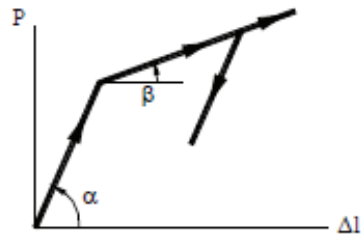
(b) Doğrusal olmayan elastik malzeme



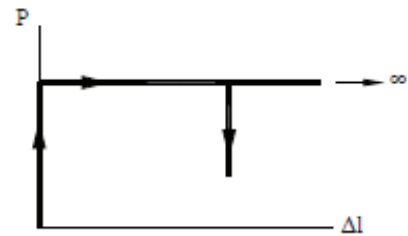
(c) Elastoplastik malzeme



(d) İdeal elastoplastik malzeme



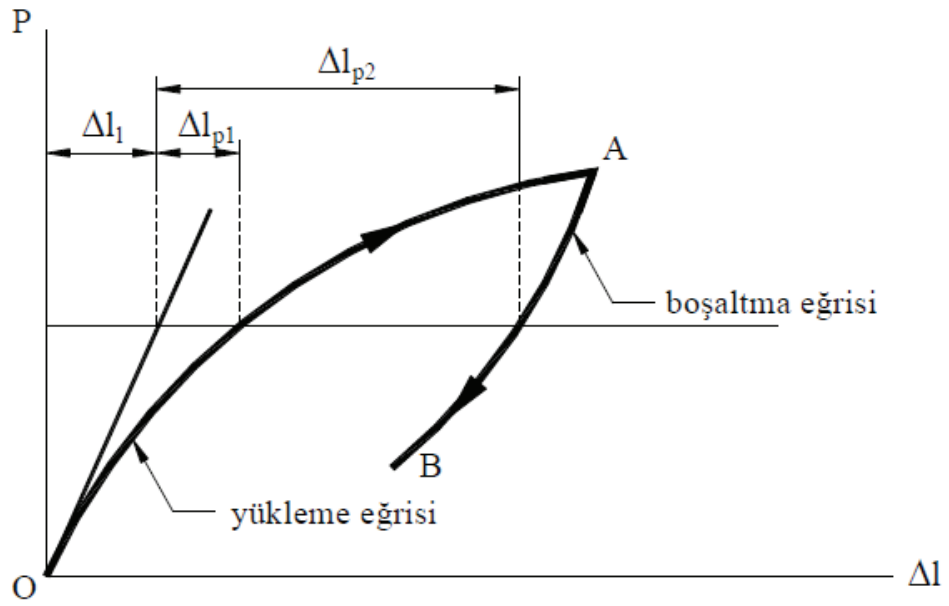
(e) Pekleşen ideal elastoplastik malzeme



(f) Rijit plastik malzeme

Şekil 2.1. İdeal malzeme modelleri (Ozer, 2006).

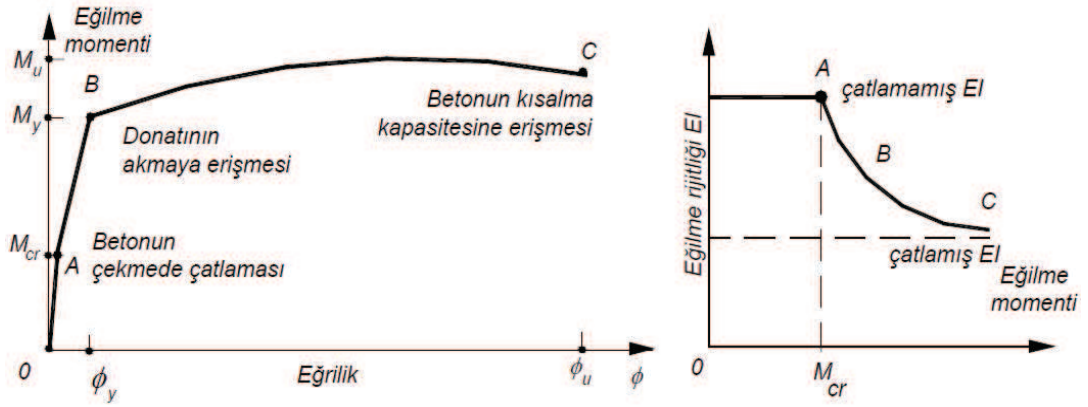
Şekil 2.2.'de yükleme – şekildeğiştirme eğrisi verilen katı bir cismin, artan yük etkisi altında OA kısmında oluşan eğriye yükleme eğrisi, cisim üzerindeki yüklemenin sıfırlanması durumunu ifade eden AB eğrisine boşaltma eğrisi denir. Şekil 2.2.'de görülen Δl_1 kısmı doğrusal şekildeğiştirmeleri, Δl_{p1} ve Δl_{p2} kısmı ise doğrusal olmayan şekildeğiştirmeleri ifade etmektedir (Ozer, 2006).



Şekil 2.2. Yükleme – şekil değiştirme eğrisi (Anıl, 2015).

2.2. Betonarme Kesitte Basit Eğilme Etkisi Davranışı

Betonarme dikdörtgen bir kesitte basit eğilme durumunda eğilme momenti-eğrilik ilişkisi Şekil 2.3.'te görülmektedir. Kesit üzerinde eğilme momenti değerinin az olması durumunda betonda basınç ve çekme gerilmeleri oluşur, bu durumda donatı elastik davranmaktadır. Donatının elastik davrandığı bölümde betonun kesit davranışına katkısı daha fazladır. Betonun elastisite modülü ve kesitin brüt atalet momenti kesitin eğilme rijitliğini doğrudan etkilemektedir. Moment değerinin büyümesi ile çekme bölgesindeki beton çatlak ve oluşan çatlak kesitin tarafsız eksenine doğru ilerler. İlk doğrusal olmayan davranış betonun çatlaması ile başlar. Betonun doğrusal olmayan davranışı gerilmelerin artması ile daha da belirgin hale gelir. Kesit üzerindeki eğilme momentinin artması ile donatı akma gerilmesine ulaşır. Donatının plastik davranışa geçmesi durumunda, beton üzerindeki doğrusal olmayan davranış daha da belirgin hale gelir. Donatının akma gerilmesine ulaşmasıyla sünek bir davranış gösteren kesit, betonun şekil değiştirme kapasitesine erişmesiyle güç tükenmesi oluşur.

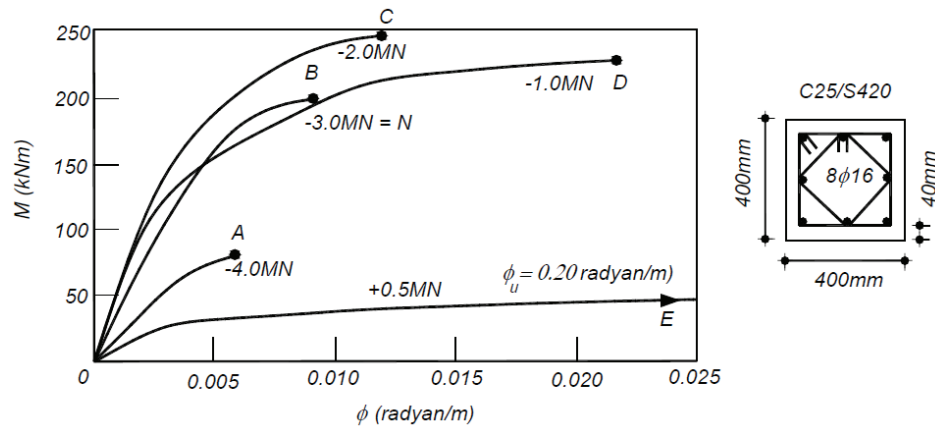


Şekil 2.3. Betonarme kesitte eğilme momenti – eğrilik ilişkisi (Celep, 2007).

Betonarme bir kesitin $M - \phi$ moment-eğrilik ilişkisinde Şekil 2.3.'te gösterildiği üzere B ile C noktaları arasındaki eğrinin uzun olması kesitin güç tükenmesinin sünek olduğunu gösterir. Bu eğrinin uzun olması çekme donatısına doğrudan bağlıdır. Çekme donatısının yönetmeliklerde kesitler için verilen dengeli donatı sınırlamasından, daha fazla olması durumunda, donatı akma konumuna ulaşmadan beton en büyük kışalma değerine ulaşır ve güç tükenmesine erişir. Moment-eğrilik değişiminde B noktasından sonra eğri oluşmaz, kesitte gevrek ve ani olarak güç tükenmesi meydana gelir. Bu tür kırılma basınç kırılması olarak adlandırılır.

2.3. Betonarme Kesitte Birleşik Eğilme Etkisi Davranışı

Şekil 2.4.'te farklı normal kuvvet etkileri altındaki betonarme bir kesitin karşılıklı etki diyagramı görülmektedir.



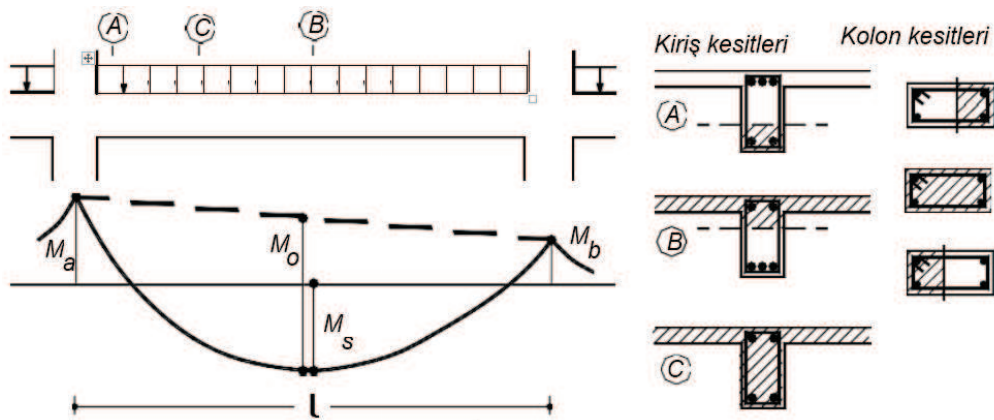
Şekil 2.4. Normal kuvvet etkisi altında betonarme bir kesitin moment – eğrilik ilişkisi (Celep, 2007).

Kesitteki tarafsız eksen derinliklerinin değişimi ile normal kuvvet ve moment değerleri her derinlik için ayrı ayrı hesaplanabilmektedir. Bulunan her noktanın bir grafik üzerinde birleştirilmesi ile oluşan eğri Karşılıklı etki diyagramı olarak adlandırılmaktadır. Dayanım zarfı olarak da nitelendirilen bu diyagram taşıma gücü sınır değerlerini göstermektedir. Kesit üzerindeki M-N değerleri taşıma gücü sınır değerlerine erişmesi halinde, yapılan yükleme ile bulunan değerler karşılıklı etki diyagramı üzerinde değişkenlik gösterebilmektedir.

2.4. Betonarme Kesitte Eğilme Rijitliği

Betonarme sistemlerde şekil değiştirmelerin hesap edilebilmesi için kesit rijitliğinin bilinmesi gerekmektedir. Kesit rijitliği ise beton ve çelik malzemenin elastisite modülüne, kesit ve donatının en kesit alanlarına ve kesitin atalet momentine bağlıdır. Çok değişkenli ve karmaşık etkenlere bağlı olmasından dolayı kesit rijitlikleri yaklaşık hesaplarla elde edilebilmektedir.

Kesitin eğilme rijitliği eğilme momenti-eğrilik ilişkisinden bulunabilmektedir. Şekil 2.3.'te görüleceği üzere elastik olarak kabul edilen bölgede momentin değeri düşük olduğu için kesitte çatlama oluşmamaktadır. Moment değerinin artması ile kesitte çatlama meydana gelir ve kesitin eğilme rijitliği çatlamış kesit rijitliğine doğru hızla azalır.



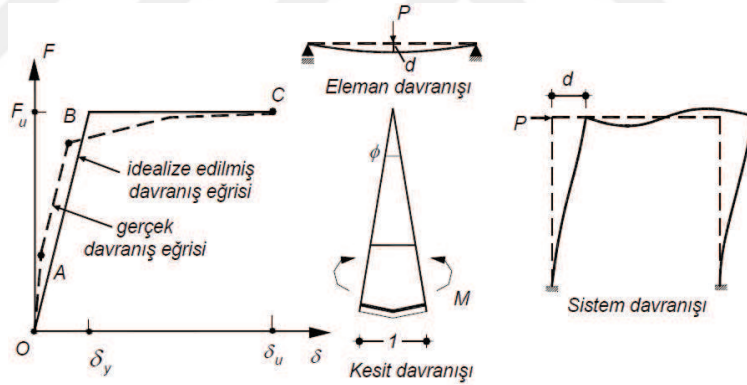
Şekil 2.5. Sürekli kiriş ve kolonda kesit durumları (Celep, 2007).

Şekil 2.5.'te görüleceği üzere, mesnet ve açıklık bölgesi arasında moment değerleri oldukça küçüktür ve bu bölgelerde kesitte çatlamamış kısımlar kalacaktır. Momentin mesnette üstte, açıklıkta altta olması nedeniyle kesitin basınç ve çekme bölgelerinin yer değiştirmesine sebep olur. Bu nedenle açıklık ve mesnette farklı eğilme rijitlikleri oluşur. TDY2007'de bu durum için ortalama bir değer alınması öngörülmektedir.

2.5. Süneklik

Yapının deprem sırasında ortaya çıkan enerjinin büyük kısmını, elastik sınırın ötesinde elastik olmayan davranışla mukavemetinde ciddi bir kayba uğramadan büyük şekil değiştirmelerle yutma kabiliyetine süneklik denir.

Kesit üzerindeki yüklemelerin artması ile donatıda akma gerilmelerine ulaşılır. Süneklik sayesinde kalıcı yer değiştirmeler ile enerjinin büyük bir kısmı tüketilmekte ve iç kuvvetler akma durumuna ulaşmayan diğer kesitlere dağılmaktadır.

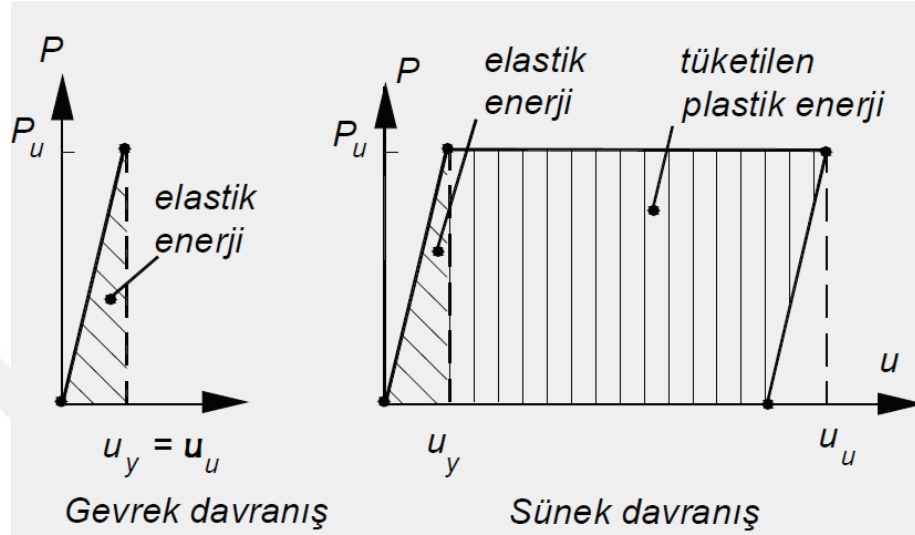


Şekil 2.6. Kesit, eleman ve sistem için yük-şekil (yer) değiştirme ilişkisi (Celep, 2007).

Süneklik için sayısal tanımlama, taşıma gücü sınır yerdeğiştirme değerinin, elastik sınır yer değiştirme değerine oranı olarak tanımlanmaktadır ($\mu = \delta_u / \delta_y$). Şekil 2.6.'da görüleceği üzere F kuvveti, δ yerdeğiştirmeyi ifade etmektedir. F_u yükün maksimum değeri ve δ_y elastik davranışın sona erdiğine ve δ_u maksimum yerdeğiştirme olarak tanımlanmaktadır.

Yapının hiperstatiklik derecesi başlangıçta yüksek iken, deprem kuvvetlerinin ve süresinin artması sonucunda gittikçe azalacaktır. Bu nedenle yapının göçme

mekanizmasına geçmemesi için mafsalsal sayısı ve süneklik sınırlandırılmaktadır. Kirişlerde denge altı donatı, kolonlarda yeterli sargı donatısı ve uygun detaylandırma ile kesme kırılmalarının moment kırılmasından önce oluşmaması süneklik sınırlandırılması için önemlidir.



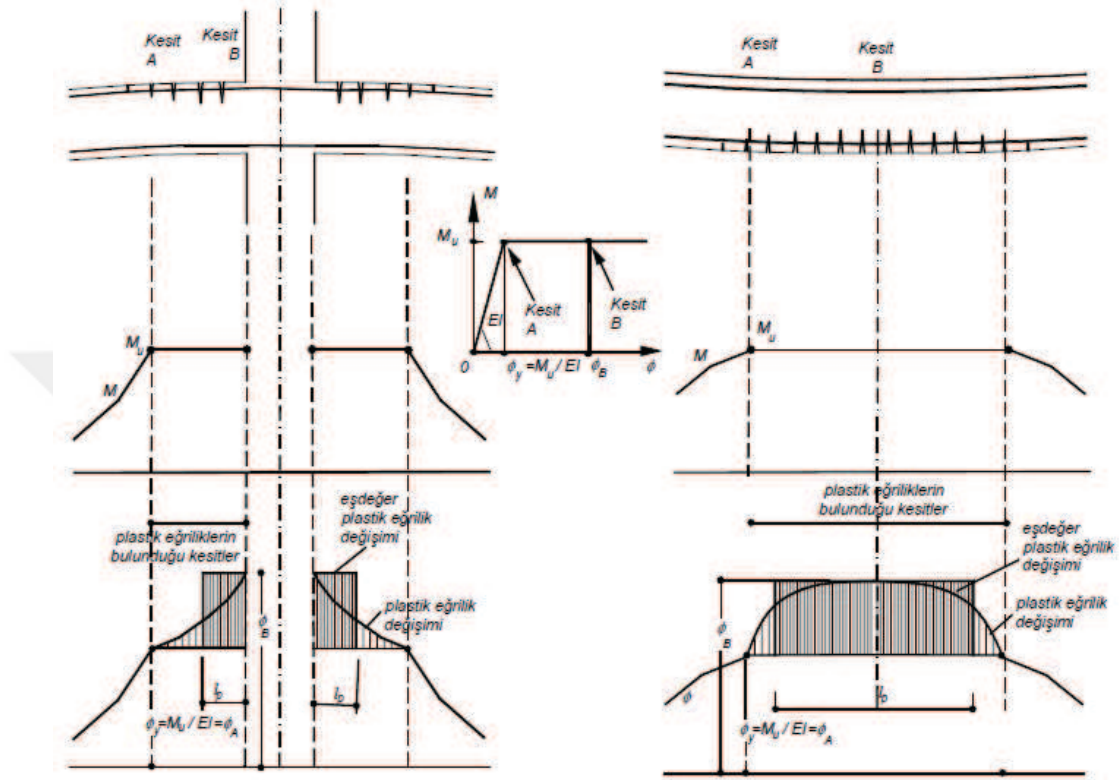
Şekil 2.7. Kesitte gevrek ve sünek davranış grafikleri (Celep, 2008).

2.6. Plastik Mafsalsal Kavramı

Betonarme elemanlarda moment değerinin büyük olduğu kesitlerde, kesit üzerindeki moment değerinin artması durumunda kesitin moment taşıma kapasitesine erişmesiyle kesit moment taşıyamaz duruma gelir. Sabit moment altında kesitte şekil değiştirmeler meydana gelir. Bu dönmeler esnasında kesitin tarafsız eksene yakın bölgeleri elastik davranış gösterirken, en dış bölgelerdeki davranış ise elasto-plastik özelliktedir. Bu davranış kesitin en çok zorlandığı bölgelerinde oluşmakta olup, doğrusal olmayan bu dönmelerin plastik mafsalsal olarak tanımlanan belirli kesitlerde toplandığı hipoteze plastik mafsalsal hipotezi denir.

Şekil 2.8.'de bir kiriş kesiti üzerinde mesnet bölgesi ve açıklık bölgesinde meydana gelen plastik şekil değiştirmeler ve eğilme momenti değerleri görülmektedir. M_u değeri akma momentini ve ϕ_y değeri akma eğriliğini ifade etmektedir. Kesit A'da moment değerinin düşük olması nedeniyle elastik eğrilik, Kesit B'de ise mesnete yakın bölgede plastik eğrilikler oluşmaktadır. A ile B kesiti arasındaki taralı kısım ise plastik mafsalsal

boyu olarak tanımlanır ve bu boy eğilme momentine, kesit yüksekliğine, kesit üzerindeki normal kuvvete ve eğrilik moment bağıntısına bağlı olarak değişmektedir. TDY2007’de basit olarak $L_p = 0.5h$ olarak kabul edilmiştir.



Şekil 2.8. Sürekli kirişte mesnet ve açıklık bölgesinde plastik eğrilik değişimi (Celep, 2007).

2.7. Betonarmede Kapasite Tasarımı

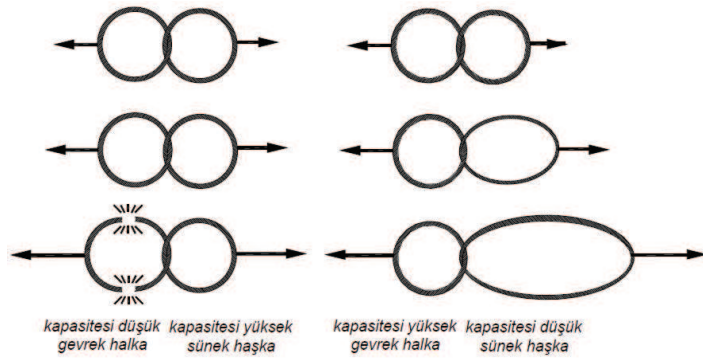
Taşıyıcı sistemlerde sünek davranışın gerçekleşebilmesi için TDY2007 ile gündeme gelen kapasite kavramı daha da önem kazanmıştır. Sünek davranıştaki asıl amaç kesitlerde oluşan doğrusal ve doğrusal olmayan şekil değişiklikleri ile deprem etkisinden oluşan büyük enerjilerin sönmülenebilmesidir. Kırma ve normal kuvvetler etkisinde oluşacak gevrek kırılmanın önlenmesi için kesitlerin bu kapasitelerinin yeterli büyüklükte olması sağlanmalıdır. Yani taşıyıcı sistem taşıma gücüne eğilme momenti etkisi altında ve çekme donatısının akması ile ulaşmalıdır. Kesitin kırma ve normal kuvvet kapasiteleri, eğilme momenti kapasitesine göre tasarlanmalıdır.

Kapasite tasarımında, davranışın sünek olarak meydana gelebilmesi için, kesitte güç tükenmesi durumunun süneklik koşullarını sağlayabilmesi gerekir. Yönetmeliklerde

bu koşulların sağlanabilmesi için sınırlamalar ve tasarım kuralları bulunmaktadır. Yeterli kenetlenme boyunun sağlanması, dengeli donatı oranı, sargı donatısının yeterli oranda kullanılması, kolonların kirişlerden daha güçlü olması koşulu, kuşatılmış kolon kontrolü, kolon ve kirişlerde kesme güvenliği kontrolü, kolonlar düşey yük kontrolü, perde elemanlarda tasarım kesme kuvveti ve zımbalama kontrolü bu kurallardan bazılarıdır.

Şekil 2.9.'da kapasite kavramının daha iyi anlaşılabilmesi için iki halkalı zincirin uygulanan kuvvetler ile güç tükenmesi durumunun gevrek ya da sünek davranış göstermeleri tasvir edilmiştir. Yapılarda toptan göçme ve gevrek kırılmanın önlenmesi için tasarım aşamasında verilen sınır değerler ve koşulların eleman bazında sistemin bütününe nasıl tesir edeceği açıklanmıştır.

Kapasite tasarımı kavramı, yatay etkilerden oluşan tesirlerin tasarım için öngörülen yönetmelik koşullarını sağlanması, öngöremediğimiz daha büyük tesirlerde ise, güç tükenmesi durumunun sünek olarak büyük yer ve şekil değiştirmeler yaparak meydana gelmesidir. Bu suretle sünek olan bütün halkaların kapasitelerine erişmesi sağlanır (Celep, 2008).



Şekil 2.9. İki halkalı zincirin gevrek ve sünek güç tükenmesi (Celep, 2007).

BÖLÜM 3. BİNA PERFORMANSININ DOĞRUSAL ELASTİK OLMAYAN YÖNTEMLERLE BELİRLENMESİ

Deprem mühendisliğinde, yeni gelişen bir kavram olan, yapıların performansa dayalı tasarım ve değerlendirme kavramı, önce mevcut yapıların deprem güvenliğinin belirlenmesi için geliştirilmiştir. Daha sonralarda performansa dayalı tasarım kavramının yeni yapıların tasarımı için de kullanılabileceği gündeme gelmiştir (Celep, 2004). TDY2007 yedinci bölümde performansa dayalı tasarım kavramı ile ilgili temel kavramlar ve hesap yöntemleri açıklanmıştır.

“Deprem etkisi altında mevcut binaların yapısal performanslarının belirlenmesi ve güçlendirme analizleri için kullanılacak doğrusal elastik olmayan hesap yöntemlerinin amacı, verilen bir deprem için sünek davranışa ilişkin plastik şekil değiştirme istemleri ile gevrek davranışa ilişkin iç kuvvet istemlerinin hesaplanmasıdır. Daha sonra bu istem büyüklükleri, bu bölümde tanımlanmış bulunan şekil değiştirme ve iç kuvvet kapasiteleri ile karşılaştırılarak, kesit ve bina düzeyinde yapısal performans değerlendirmesi yapılacaktır (TDY, 2007).”

3.1. Doğrusal Elastik Olmayan Davranışın İdealleştirilmesi

TDY2007 bölüm 7’de belirtildiği üzere doğrusal elastik olmayan davranışın idealleştirilmesi hakkında yapılan bazı kabuller aşağıda açıklanmıştır.

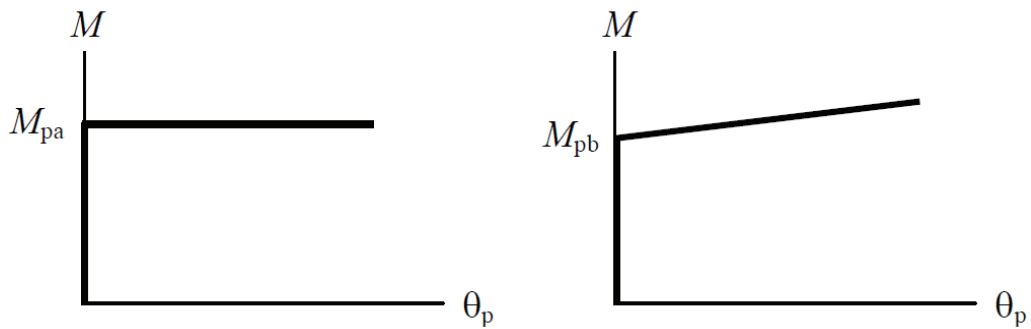
- “Malzeme bakımından doğrusal elastik olmayan davranışın idealleştirilmesi için, literatürde geçerliliği kanıtlanmış modeller kullanılabilir. Ancak, mühendislik uygulamalarındaki yaygınlığı ve pratikliği nedeni ile aşağıdaki kısımlarda doğrusal elastik olmayan analiz için yığılı plastik davranış modeli esas alınmıştır. Basit eğilme durumunda plastik mafsallı hipotezi ’ne karşı gelen bu modelde, çubuk eleman olarak idealleştirilen kiriş, kolon ve perde türü taşıyıcı sistem

elemanlarındaki iç kuvvetlerin plastik kapasitelerine erdiği sonlu uzunluktaki bölgeler boyunca, plastik şekil değiştirmelerin düzgün yayılı biçimde olduğu varsayılmaktadır. Plastik mafsallı boyu olarak adlandırılan plastik şekil değiştirme bölgesi'nin uzunluğu (L_p), çalışan doğrultudaki kesit boyutu (h)'nin yarısına eşit alınacaktır ($L_p = 0.5 h$). $H_w / l_w \leq 2.0$ olan perdelerde, eğilme etkisi altında plastik şekil değiştirmeler gözönüne alınmayacaktır (TDY, 2007)."

- "Sadece eksenel kuvvet altında plastik şekil değiştirme yapan elemanların plastik şekil değiştirme bölgelerinin uzunluğu, ilgili elemanın serbest boyuna eşit alınacaktır (TDY, 2007)."
- "Yığılı plastik şekil değiştirmeyi temsil eden plastik kesitin, teorik olarak TDY2007 7.6.4.1.'de tanımlanan plastik şekil değiştirme bölgesinin tam ortasına yerleştirilmesi gerekir. Ancak pratik uygulamalarda aşağıda belirtilen yaklaşık idealleştirmelere izin verilebilir (TDY, 2007)."
- a. "Kolon ve kirişlerde plastik kesitler, kolon-kiriş birleşim bölgesinin hemen dışına, diğer deyişle kolon veya kirişlerin net açıklıklarının uçlarına konulabilir. Ancak, düşey yüklerin etkisinden ötürü kiriş açıklıklarında da plastik mafsalların oluşabileceği gözönüne alınmalıdır (TDY, 2007)."
- b. "Betonarme perdelerde, plastik kesitlerin her katta perde kesiminin alt ucuna konulmasına izin verilebilir. U, T, L veya kutu kesitli perdeler, bütün kolları birlikte çalışan tek perde olarak idealleştirilmelidir. Binaların bodrum katlarında rijit çevre perdelerinin bulunması durumunda, bu perdelerden üst katlara doğru devam eden perdelerin plastik kesitleri bodrum üstünden başlamak üzere konulmalıdır (TDY, 2007)."
- "Bir veya iki eksenli eğilme ve eksenel kuvvet etkisinde plastikleşen betonarme kesitlerin akma yüzeyleri olarak TDY2007'de tanımlanan koşullara göre belirlenen etkileşim diyagramları kullanılacaktır. Akma yüzeyleri, TDY2007'ye göre uygun biçimde doğrusallaştırılarak iki boyutlu davranış durumunda akma

çizgileri, üç boyutlu davranış durumunda ise akma düzlemleri olarak modellenebilir (TDY, 2007).”

- “İtme analizi modelinde kullanılacak plastik kesitlerin iç kuvvet-plastik şekil değiştirme bağıntıları ile ilgili olarak aşağıdaki paragraflar dikkate alınacaktır (TDY, 2007).”
 - a. “İç kuvvet-plastik şekildeğiştirme bağıntılarında pekleşme etkisi (plastik dönme artışına bağlı olarak plastik momentin artışı) yaklaşık olarak terk edilebilir (Şekil 3.1.). Bu durumda, bir veya iki eksenli eğilme ve eksenel kuvvet etkisindeki kesitlerde plastikleşmeyi izleyen itme adımlarında, iç kuvvetlerin akma yüzeyinin üzerinde kalması koşulu ile plastik şekil değiştirme vektörünün akma yüzeyine yaklaşık olarak dik olması koşulu gözönüne alınacaktır (TDY, 2007).”
 - b. “Pekleşme etkisinin gözönüne alınması durumunda (Şekil 3.1.), bir veya iki eksenli eğilme ve eksenel kuvvet etkisindeki kesitlerde plastikleşmeyi izleyen itme adımlarında iç kuvvetlerin ve plastik şekildeğiştirme vektörünün sağlaması gereken koşullar, ilgili literatürden alınan uygun bir pekleşme modeline göre tanımlanacaktır (TDY, 2007).”



Şekil 3.1. Moment-plastik şekildeğiştirme kabulleri (TDY, 2007).

3.2. Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi

“Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yönteminin amacı, taşıyıcı sistemdeki doğrusal olmayan davranış gözönüne alınarak sistemin hareket denkleminin adım adım entegre edilmesidir. Analiz sırasında her bir zaman artımında sistemde meydana gelen yerdeğiştirme, plastik şekildeğiştirme ve iç kuvvetler ile bu büyüklüklerin deprem istemine karşı gelen maksimum değerleri hesaplanır.

Zaman tanım alanında yapılacak analizde kullanılacak yapay, kaydedilmiş veya benzeştirilmiş yer hareketleri TDY2007’de belirtildiği üzere madde 3.2.1. ve 3.2.2.’ye göre belirlenecek ve analizde 3.2.3. gözönüne alınacaktır (TDY, 2007).”

3.2.1. Yapay deprem yer hareketleri

“Yapay yer hareketlerinin kullanılması durumunda, aşağıdaki özellikleri taşıyan en az üç deprem yer hareketi üretilecektir (TDY, 2007).”

- a. “Kuvvetli yer hareketi kısmının süresi, binanın birinci doğal titreşim periyodunun 5 katından ve 15 saniyeden daha kısa olmayacaktır (TDY, 2007).”
- b. “Üretilen deprem yer hareketinin sıfır periyoda karşı gelen spektral ivme değerlerinin ortalaması A_{og} ’den daha küçük olmayacaktır (TDY, 2007).”
- c. “Yapay olarak üretilen her bir ivme kaydına göre %5 sönüm oranı için yeniden bulunacak spektral ivme değerlerinin ortalaması, gözönüne alınan deprem doğrultusundaki birinci (hâkim) periyod T_1 ’e göre $0.2T_1$ ile $2T_1$ arasındaki periyodlar için, 2.4.’te tanımlanan $S_{ae}(T)$ elastik spektral ivmelerinin %90’ından daha az olmayacaktır (TDY, 2007).”

3.2.2. Kaydedilmiş veya benzeştirilmiş deprem yer hareketleri

“Zaman tanım alanında yapılacak deprem hesabı için kaydedilmiş depremler veya kaynak ve dalga yayılımı özellikleri fiziksel olarak benzeştirilmiş yer hareketleri kullanılabilir. Bu tür yer hareketleri üretilirken yerel zemin koşulları da uygun biçimde gözönüne alınmalıdır. Kaydedilmiş veya benzeştirilmiş yer hareketlerinin kullanılması durumunda en az üç deprem yer hareketi üretilecek ve bunlar TDY 2007’de belirtildiği üzere madde 3.2.1.’de verilen tüm koşulları sağlayacaktır (TDY, 2007).”

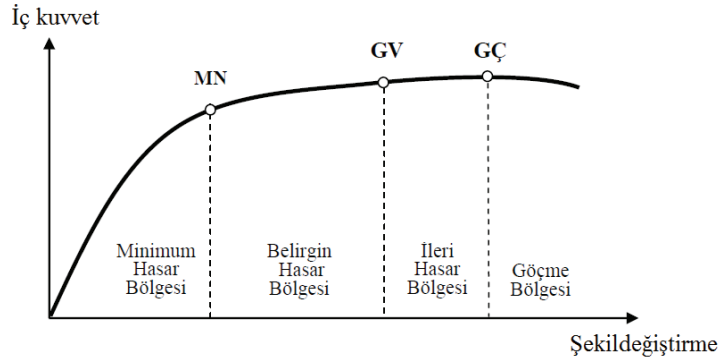
3.2.3. Zaman tanım alanında hesap

“Zaman tanım alanında doğrusal elastik olmayan hesap yapılması durumunda, taşıyıcı sistem elemanlarının tekrarlı yükler altındaki dinamik davranışını temsil eden iç kuvvet-şekildeğiştirme bağıntıları, teorik ve deneysel geçerlilikleri kanıtlanmış olmak kaydı ile, ilgili literatürden yararlanılarak tanımlanacaktır. Doğrusal veya doğrusal olmayan hesapta, üç yer hareketi kullanılması durumunda sonuçların maksimumu, en az yedi yer hareketi kullanılması durumunda ise sonuçların ortalaması tasarım için esas alınacaktır (TDY, 2007).”

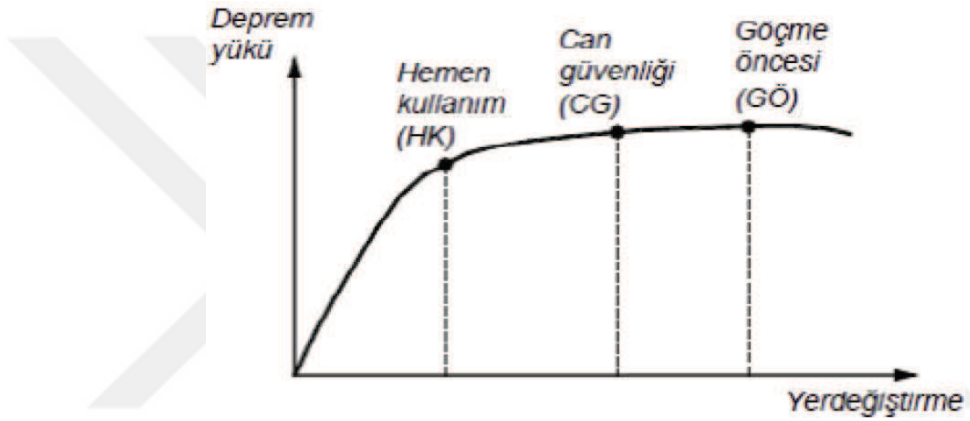
3.3. Bina Deprem Performansının Belirlenmesi

3.3.1. Betonarme binaların deprem performansı

“Binaların deprem performansı, uygulanan deprem etkisi altında binada oluşması beklenen hasarların durumu ile ilişkilidir ve dört farklı hasar durumu esas alınarak tanımlanmıştır. TDY2007’de tanımlanan depremde bina performansının doğrusal elastik ve doğrusal elastik olmayan hesap yöntemleri ile belirlenmesinin uygulanması ve eleman hasar bölgelerine karar verilmesi ile bina deprem performans düzeyi belirlenir (TDY, 2007).”



Şekil 3.2. Kesit hasar bölgeleri (TDY, 2007).



Şekil 3.3. Yapılar için performans düzeyleri (TDY, 2007).

3.3.2. Hemen kullanım performans düzeyi

“Herhangi bir katta, uygulanan her bir deprem doğrultusu için yapılan hesap sonucunda kirişlerin en fazla %10’u Belirgin Hasar Bölgesi’ne geçebilir, ancak diğer taşıyıcı elemanlarının tümü Minimum Hasar Bölgesi’ndedir. Eğer varsa, gevrek olarak hasar gören elemanların güçlendirilmeleri kaydı ile, bu durumdaki binaların Hemen Kullanım Performans Düzeyi’nde olduğu kabul edilir (TDY, 2007).”

3.3.3. Can güvenliği performans düzeyi

“Eğer varsa, gevrek olarak hasar gören elemanların güçlendirilmeleri kaydı ile, aşağıdaki koşulları sağlayan binaların Can Güvenliği Performans Düzeyi’nde olduğu kabul edilir:”

- a. “Herhangi bir katta, uygulanan her bir deprem doğrultusu için yapılan hesap sonucunda, ikincil (yatay yük taşıyıcı sisteminde yer almayan) kirişler hariç olmak üzere, kirişlerin en fazla %30'u ve kolonların aşağıdaki (b) paragrafında tanımlanan kadarı İleri Hasar Bölgesi'ne geçebilir (TDY, 2007).”
- b. “İleri Hasar Bölgesi'ndeki kolonların, her bir katta kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetine toplam katkısı %20'nin altında olmalıdır. En üst katta İleri Hasar Bölgesi'ndeki kolonların kesme kuvvetleri toplamının, o kattaki tüm kolonların kesme kuvvetlerinin toplamına oranı en fazla %40 olabilir (TDY, 2007).”
- c. “Diğer taşıyıcı elemanların tümü Minimum Hasar Bölgesi veya Belirgin Hasar Bölgesi'ndedir. Ancak, herhangi bir katta alt ve üst kesitlerinin ikisinde birden Minimum Hasar Sınırı aşılmış olan kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetlerinin, o kattaki tüm kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetine oranının %30'u aşmaması gerekir (TDY, 2007).”

3.3.4. Göçme öncesi performans düzeyi

“Gevrek olarak hasar gören tüm elemanların Göçme Bölgesi'nde olduğunun gözönüne alınması kaydı ile, aşağıdaki koşulları sağlayan binaların Göçme Öncesi Performans Düzeyi'nde olduğu kabul edilir.”

- a. “Herhangi bir katta, uygulanan her bir deprem doğrultusu için yapılan hesap sonucunda, ikincil (yatay yük taşıyıcı sisteminde yer almayan) kirişler hariç olmak üzere, kirişlerin en fazla %20'si Göçme Bölgesi'ne geçebilir.”
- b. “Diğer taşıyıcı elemanların tümü Minimum Hasar Bölgesi, Belirgin Hasar Bölgesi veya İleri Hasar Bölgesi'ndedir. Ancak, herhangi bir katta alt ve üst kesitlerinin ikisinde birden Minimum Hasar Sınırı aşılmış olan kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetlerinin, o kattaki tüm kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetine oranının %30'u aşmaması gerekir.”

- c. “Binanın mevcut durumunda kullanımı can güvenliği bakımından sakıncalıdır (TDY, 2007).”

3.3.5. Göçme durumu performans düzeyi

“Bina Göçme Öncesi Performans Düzeyi’ni sağlayamıyorsa Göçme Durumu’ndadır. Binanın kullanımı can güvenliği bakımından sakıncalıdır (TDY, 2007).”

3.4. Binalar İçin Hedeflenen Performans Düzeyleri

“Yeni yapılacak binalar için TDY2007’de spektral ivme katsayısı bölümünde tanımlanan ivme spektrumu, 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan depremi esas almaktadır. Bu deprem düzeyine ek olarak, mevcut binaların değerlendirilmesinde ve güçlendirme tasarımında kullanılmak üzere ayrıca aşağıda belirtilen iki farklı deprem düzeyi tanımlanmıştır:”

- a. “50 yılda aşılma olasılığı %50 olan depremin ivme spektrumunun ordinatları, 2.4.’de tanımlanan spektrumun ordinatlarının yaklaşık yarısı olarak alınacaktır.”
- b. “50 yılda aşılma olasılığı %2 olan depremin ivme spektrumunun ordinatları ise spektral ivme katsayısı bölümünde tanımlanan, spektrumun ordinatlarının yaklaşık 1,5 katı olarak kabul edilmiştir (TDY, 2007).”

Tablo 3.1. Gözönüne alınabilecek deprem için parametreler

Aşılma Olasılığı	Esas alınan zaman aralığı	Ortalama dönüş periyodu
%50	50 yıl	72 yıl
%10	50 yıl	474 yıl
%2	50 yıl	2475 yıl

- “Kullanım depremi olarak Tablo 3.1.’de tanımlanan %50/50yıl depremi etkileri gözönüne alınır ve tasarım depreminin yaklaşık yarısı olarak kabul

edilebilir. Ortalama dönüş periyodu yaklaşık 75 yıl olan bu depremin binanın ömründe en az bir kere veya daha fazla ortaya çıkması muhtemeldir (TDY, 2007).”

- “Tasarım depremi de Tablo 3.1.’de tanımlanan %10/50yıl etkisiyle yönetmeliklerde yeni yapılar için verilen etkileri doğurur. Ortalama dönüş periyodu yaklaşık 500 yıl olan bu deprem yapının ömrü boyunca ortaya çıkması sık olmayan bir olaydır (TDY, 2007).”
- “Maksimum deprem ise yaklaşık 2500 yıllık dönüş periyodu ile bölgede jeolojik bilgiler gözönüne alınarak belirlenebilecek en büyük deprem olarak kabul edilir. Bu deprem etkileri tasarım depreminin yaklaşık 1,25-1,5 katı kadardır. Deprem yönetmeliklerinde tasarım depremi etkisinin, bina önem katsayısı ile artırılması sonucu böyle bir deprem tanımlanmaya çalışılır (TDY, 2007).”

“Mevcut veya güçlendirilecek binaların deprem performanslarının belirlenmesinde esas alınacak deprem düzeyleri ve bu deprem düzeylerinde binalar için öngörülen minimum performans hedefleri Tablo 3.2.’de verilmiştir (TDY, 2007).”

(HK: Hemen Kullanım; CG: Can Güvenliği; GÖ: Göçme Öncesi)

Tablo 3.2. Farklı deprem düzeylerinde binalar için öngörülen minimum performans hedefleri (TDY, 2007).

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

3.5. Betonarme Elemanların Kesit Birim Şekil Değiştirme Kapasiteleri

“Beton ve donatı çeliğinin birim şekildeğiştirmeleri cinsinden TDY2007 bölüm 7’de verilen birim şekil değiştirme istemlerine göre elde edilen deprem istemleri, aşağıda tanımlanan birim şekildeğiştirme kapasiteleri ile karşılaştırılarak, kesit düzeyinde taşıyıcı sistem performansı belirlenecektir (TDY, 2007).”

“Plastik şekildeğiştirmelerin meydana geldiği betonarme sünek taşıyıcı sistem elemanlarında, çeşitli kesit hasar sınırlarına göre izin verilen şekildeğiştirme üst sınırları (kapasiteleri) aşağıda tanımlanmıştır.”

- a. “Kesit Minimum Hasar Sınırı (MN) için kesitin en dış lifindeki beton basınç birim şekildeğiştirmesi ile donatı çeliği birim şekildeğiştirmesi üst sınırları”

$$(\epsilon_{cu})_{MN} = 0.0035 \quad ; \quad (\epsilon_s)_{MN} = 0.010$$

- b. “Kesit Güvenlik Sınırı (GV) için etriye içindeki bölgenin en dış lifindeki beton basınç birim şekildeğiştirmesi ile donatı çeliği birim şekildeğiştirmesi üst sınırları.”

$$(\epsilon_{cg})_{GV} = 0.0035 + 0.01 (\rho_s / \rho_{sm}) \leq 0.0135 \quad ; \quad (\epsilon_s)_{GV} = 0.040$$

- c. “Kesit Göçme Sınırı (GÇ) için etriye içindeki bölgenin en dış lifindeki beton basınç birim şekildeğiştirmesi ile donatı çeliği birim şekildeğiştirmesi üst sınırları.”

$$(\epsilon_{cg})_{GC} = 0.004 + 0.014 (\rho_s / \rho_{sm}) \leq 0.018 \quad ; \quad (\epsilon_s)_{GC} = 0.060$$

“Gözönüne alınan enine donatıların TDY2007’ye göre “özel deprem etriyeleri ve çirozları” olarak düzenlenmiş olması zorunludur (TDY, 2007).”

3.6. Betonarme Malzeme Modelleri

“TDY2007 bilgilendirme eki 7B maddesinde beton ve donatı çeliği için gerilme-şekildeğiştirme bağıntıları verilmiştir (TDY, 2007).”

3.6.1. Sargılı ve sargısız beton modelleri

“Doğrusal Elastik Olmayan Yöntemler ile performans değerlendirmesinde, başkaca bir modelin seçilmediği durumlarda kullanılmak üzere, sargılı ve sargısız beton için aşağıdaki gerilme-şekildeğiştirme bağıntıları tanımlanmıştır. TDY2007’de açıklandığı üzere sargılı beton modeli oldukça fazla değişkene bağlıdır. Sargı donatısının çapı, aralığı, dağılımı hacimsel oranı, çekme dayanımı ve boyuna donatının dağılımı, hacimsel oranı, betonun basınç dayanımı gibi faktörler sargılı beton gerilme şekildeğiştirme grafiklerini değiştirmektedir (TDY, 2007).”

3.6.2. Donatı çeliği için malzeme modeli

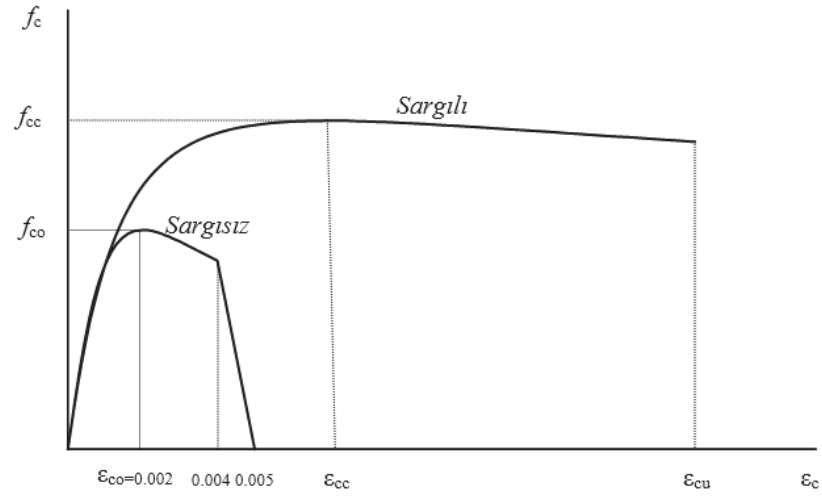
“Doğrusal Elastik Olmayan Yöntemler ile performans değerlendirmesinde kullanılmak üzere, donatı çeliği için aşağıdaki gerilme-şekildeğiştirme bağıntıları tanımlanmıştır (TDY, 2007).”

“Donatı çeliğinin elastiklik modülü $E_s = 2 \cdot 10^5$ MPa’dır. S220 ve S420 kalitesindeki donatı çeliklerine ait diğer bilgiler aşağıdaki tablodan alınabilir (TDY, 2007).”

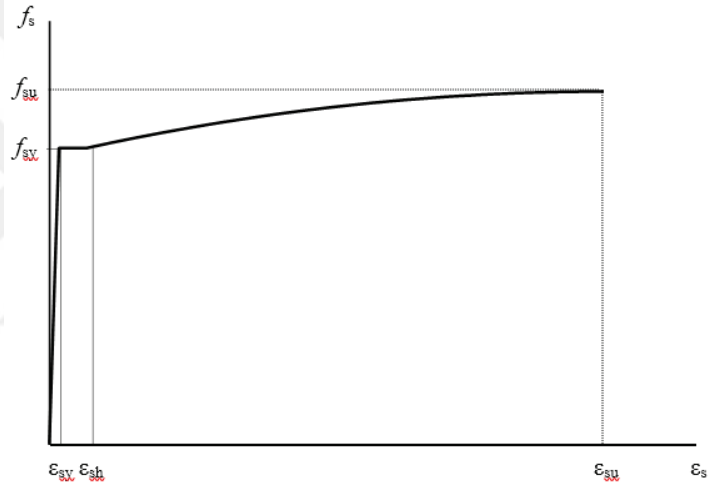
Tablo 3.3. Donatı çeliğine ait bilgiler (TDY, 2007)

Kalite	f_{sy} (Mpa)	ϵ_{sy}	ϵ_{sh}	ϵ_{su}	f_{su} (Mpa)
S220	220	0.0011	0.011	0.16	275
S420	420	0.0021	0.008	0.10	550

“Şekil 4.5.’te görüleceği üzere ilk kısım doğrusal davranışın bulunduğu elastik bölgedir. İkinci kısımda donatı akma durumunda olup, üçüncü kısımda pekleşme meydana gelmektedir (TDY, 2007).”



Şekil 3.4. Sargılı ve sargısız beton için gerilme-şekildeğiştirme grafikleri (TDY, 2007).



Şekil 3.5. Donatı çeliğinin gerilme-şekildeğiştirme grafiği (TDY, 2007).

BÖLÜM 4. SAYISAL ANALİZ

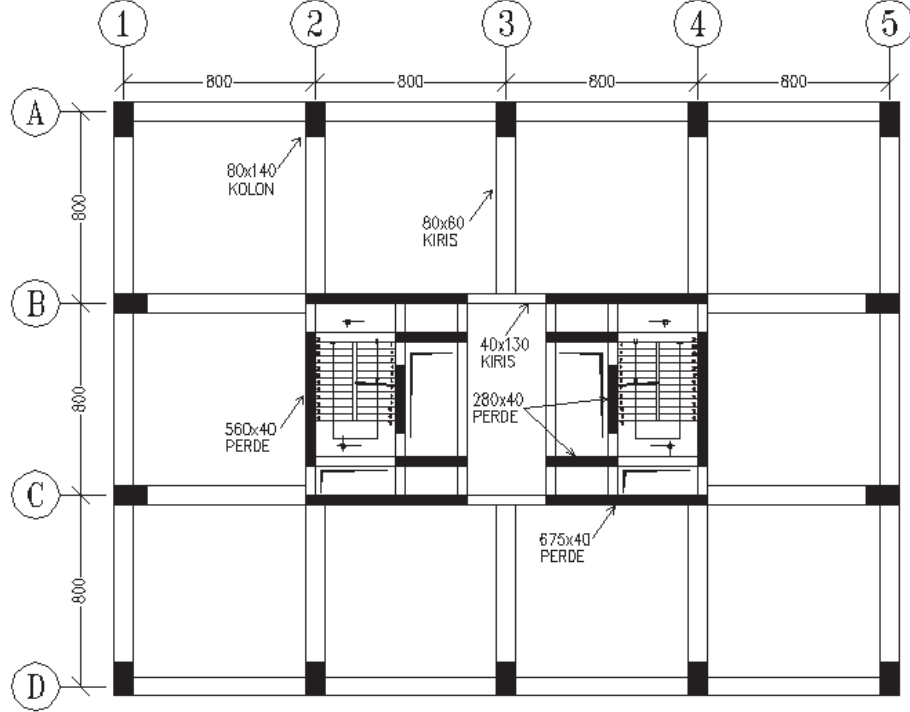
Bu çalışma kapsamında çok katlı yapıların taşıyıcı sistemlerinde betonarme perde duvar elemanlarının deprem performansına etkileri incelenmiştir. 2007 deprem yönetmeliğine göre tasarlanmış 30 katlı betonarme yüksek bir bina için, perdeli-çerçeve (Şekil 4.1.) ve çerçeve (Şekil 4.2.) olarak 2 farklı model oluşturulmuş ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik analizleri yapılmıştır. Konut-ofis olarak kullanılacak olan yapının beklenen performans seviyesi 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan depremde Can Güvenliği performans seviyesini sağlaması hedeflenmektedir. Yapının deprem performans seviyesinin belirlenmesinde 3 farklı deprem kaydı yapıya her iki deprem doğrultusunda etki ettirilmiştir.

4.1. Bina Genel Bilgileri

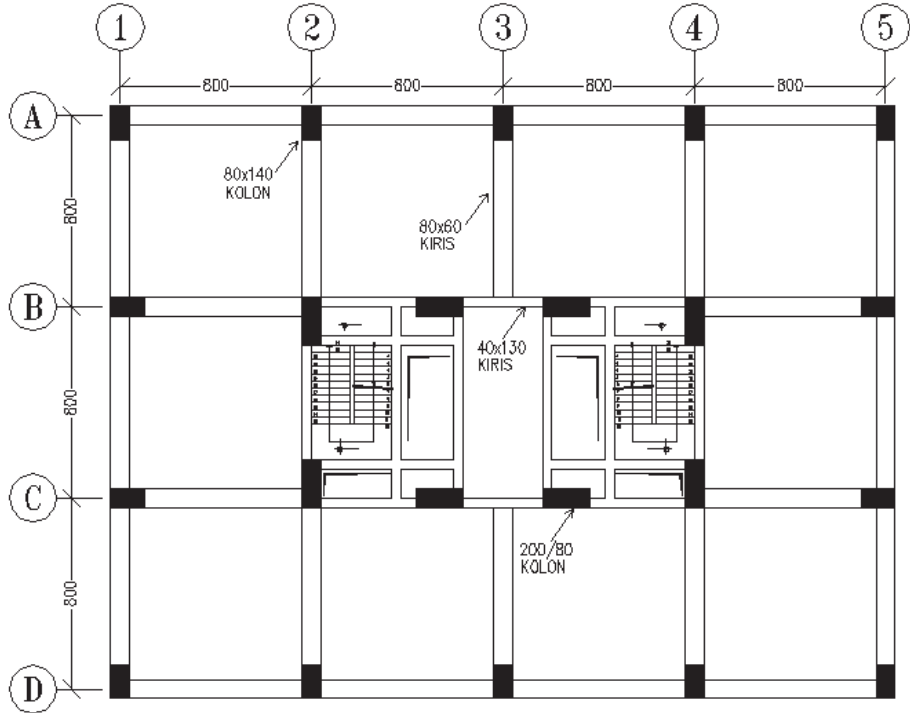
30 hesap katlı olan yapıda modelleme ve inceleme kolaylığı açısından statik sistemde bazı idealleştirmeler yapılmıştır. Rijit çevre perdelerinin bulunduğu bodrum katlar iptal edilmiş olup, zemin kat döşemesi üzerinden yapının başladığı varsayılmıştır. Temel seviyesinin zemin kat döşemesi düşünüldüğü kotta ankastre mesnet tanımları yapılmış ve temel hesapları bu tez kapsamında incelenmemiştir. Kat yüksekliklerinin tüm katlarda eşit olduğu ve tüm katların aynı olduğu kabul edilmiştir.

Kat yükseklikleri tüm katlarda 3,50m olup, yapının toplam yüksekliği 105m'dir. Yapının aks sistemi düzenli ve sistematik olup, 8,0m x 8,0m'dir. Yapı X yönünde 32m ve Y yönünde 24m boyutlarındadır. Plak-kiriş sistem olarak tasarımı yapılan modellemelerde kolon ebatları 80x140, kiriş ebatları 40x130 ve 80x60, perde kalınlıkları 40 cm kalınlığında seçilmiştir. Döşeme kalınlıkları ise 20cm'dir.

Yapının deprem bölgesi 1.derece ve yerel zemin sınıfının Z2 olduğu öngörülmüştür. Malzeme özellikleri, beton kalitesi C35 ve donatı çeliği S420'dir.



Şekil 4.1. Perdeli-çerçevesi model tip kat kalıp aplikasyon planı



Şekil 4.2. Çerçevesi model tip kat kalıp aplikasyon planı

Bina Özellikleri:

- Kat yükseklikleri: 3,50m
- Kat sayısı: 30
- Bina toplam Yüksekliği: 105 m
- Bina Taşıyıcı Sistem: Perdeli-Çerçevesel ve Çerçevesel
- Bina Kullanım Amacı: Ofis-Konut
- Beton sınıfı: C35
- Donatı Çeliği Sınıfı: S420

Hesap Kabulleri:

- Deprem Bölgesi: 1.Derece ($A_0=0,40$)
- Zemin sınıfı: Z2 ($T_A=0,15$ $T_B=0,40$)
- Hareketli Yük Katılım Katsayısı: 0,30

Hedef performans seviyesi: 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan depremde ‘Can Güvenliği’

Döşeme elemanlarının serbestlik derecesini artırması nedeniyle döşemeler kaldırılıp, döşeme üzerine gelen yüklemeler kirişlere yayılı yük olarak aktarılmıştır. Tüm katlarda rijit diyafram ataması yapılmıştır. Döşemeler üzerindeki yük analizi Tablo 4.1.’de verilmiştir.

Tablo 4.1. Döşeme yük analizi

YÜKLEME ADI	YÜK TÜRÜ	YÜK DEĞERİ
SW	Döşeme zati yük	$0,2m \cdot 25kN/m^3 = 5 kN/m^2$
G1	Kaplama yükü	$2,5 kN/m^2$ (ofis-konut içi)
G1	Kaplama yükü	$3,0 kN/m^2$ (koridor-merdiven)
G2	İç duvar yükü	$2,5 kN/m^2$
G2	Dış cephe yükü	$1,5 kN/m^2$
Q	Hareketli yük	$3,0 kN/m^2$ (ofis-konut içi)
Q	Hareketli yük	$5,0 kN/m^2$ (koridor-merdiven)

Kirişlere aktarılan yayılı yükler her kiriş için ayrı ayrı hesaplanmış ve Tablo 4.2.'de açıklanmıştır.

Tablo 4.2. Kiriş yayılı yük değerleri

KİRİŞ TANIMI	YÜKLEME ADI	YAYILI YÜK DEĞERLERİ
Dış Çevre Kirişleri (80*60)	SW	$5 \text{ kN/m}^2 * 16\text{m}^2/8\text{m} = 10 \text{ kN/m}$
	G1	$2,5 \text{ kN/m}^2 * 16\text{m}^2/8\text{m} = 5,0 \text{ kN/m}$
	G2	$1,5 \text{ kN/m}^2 * (3,50\text{m}-0,6\text{m}) = 4,35 \text{ kN/m}$
	Q	$3,0 \text{ kN/m}^2 * 16\text{m}^2/8\text{m} = 6,0 \text{ kN/m}$
İç Kirişler (80*60)	SW	$5 \text{ kN/m}^2 * 16\text{m}^2/8\text{m} * 2 = 20 \text{ kN/m}$
	G1	$2,5 \text{ kN/m}^2 * 16\text{m}^2/8\text{m} * 2 = 10 \text{ kN/m}$
	G2	$2,5 \text{ kN/m}^2 * (3,50\text{m}-0,6\text{m}) = 7,25 \text{ kN/m}$
	Q	$3,0 \text{ kN/m}^2 * 16\text{m}^2/8\text{m} * 2 = 12 \text{ kN/m}$
Bağ Kirişleri (40*130)	SW	$5 \text{ kN/m}^2 * 16\text{m}^2/8\text{m} = 10 \text{ kN/m}$
	G1	$2,5 \text{ kN/m}^2 * 16\text{m}^2/8\text{m} = 5,0 \text{ kN/m}$
	G2	Kiriş üzerinde duvar bulunmamaktadır
	Q	$3,0 \text{ kN/m}^2 * 16\text{m}^2/8\text{m} = 6,0 \text{ kN/m}$
Koridor Kirişleri (40*130)	SW	$5,0 \text{ kN/m}^2 * (3,30*8/2) / 8 = 8,25 \text{ kN/m}$
	G1	$3,0 \text{ kN/m}^2 * (3,30*8/2) / 8 = 4,95 \text{ kN/m}$
	G2	$2,5 \text{ kN/m}^2 * (3,50\text{m}-1,30\text{m}) = 5,5 \text{ kN/m}$
	Q	$5,0 \text{ kN/m}^2 * (3,30*8/2) / 8 = 8,25 \text{ kN/m}$
Yangın Koridoru Kirişleri (40*130)	SW	$5,0 \text{ kN/m}^2 * (1,40*2,8/2) / 2,8 = 3,5 \text{ kN/m}$
	G1	$3,0 \text{ kN/m}^2 * (1,40*2,8/2) / 2,8 = 2,1 \text{ kN/m}$
	G2	Kiriş üzerinde duvar bulunmamaktadır
	Q	$5,0 \text{ kN/m}^2 * (1,40*2,8/2) / 2,8 = 3,5 \text{ kN/m}$
Merdiven Kirişleri (40*130)	SW	$5,0 \text{ kN/m}^2 * (3,55*5,2/2) / 3,55 = 13 \text{ kN/m}$
	G1	$3,0 \text{ kN/m}^2 * (3,55*5,2/2) / 3,55 = 7,8 \text{ kN/m}$
	G2	Kiriş üzerinde duvar bulunmamaktadır
	Q	$5,0 \text{ kN/m}^2 * (3,55*5,2/2) / 3,55 = 13 \text{ kN/m}$
Sahanlık Kirişleri (40*130)	SW	$5,0 \text{ kN/m}^2 * (3,55*1,4/2) / 3,55 = 3,5 \text{ kN/m}$
	G1	$3,0 \text{ kN/m}^2 * (3,55*1,4/2) / 3,55 = 2,1 \text{ kN/m}$
	G2	Kiriş üzerinde duvar bulunmamaktadır
	Q	$5,0 \text{ kN/m}^2 * (3,55*1,4/2) / 3,55 = 3,5 \text{ kN/m}$

Betonarme kesitlerin tasarımında minimum donatı oranları dikkate alınmış ve seçilen donatılar Tablo 4.1. ve Tablo 4.2.'de gösterilmiştir.

Tablo 4.3. Perdeli-çerçevesel model için kesit boyutları ve donatı miktarları

KESİT (cm)	Başlık Kesiti (cm)	Minimum Donatı Oranı	Minimum		Gövde Donatısı Alanı (cm ²)	Seçilen Başlık Donatısı	Seçilen Gövde Donatısı
			Başlık Donatı Alanı (cm ²)	Minimum Donatı Oranı			
PERDE	675x40	140x40	0,01	56,00	0,0025	39,50	18φ20
	560x40	120x40	0,01	48,00	0,0025	32,00	16φ20
	280x40	80x40	0,01	32,00	0,0025	16,00	10φ20
KOLON	140x80	-	0,01	112,00	-	-	26φ25
KİRİŞ	80x60	-	0,003	14,40	-	-	7φ20
	40x130	-	0,003	15,60	-	-	4φ25

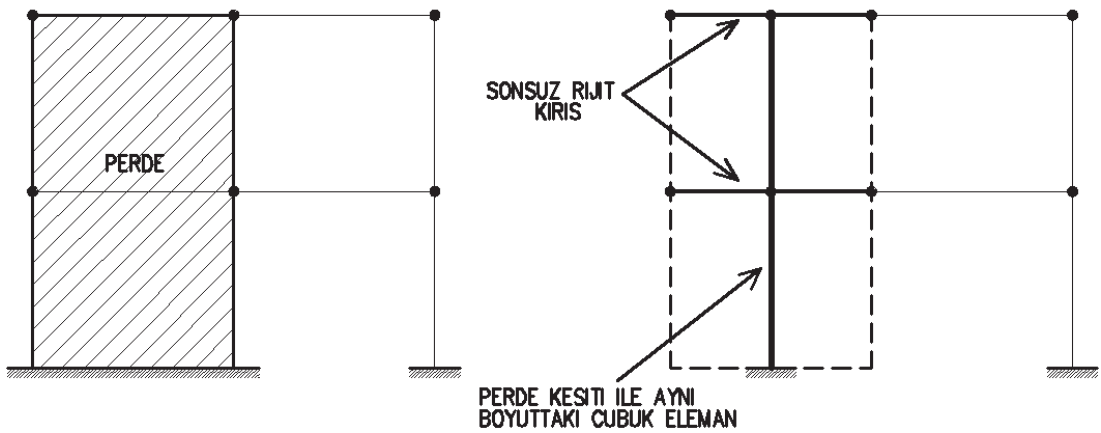
Tablo 4.4. Perdeli-çerçevesel model için kesit boyutları ve donatı miktarları

KESİT (cm)	Başlık Kesiti (cm)	Minimum Donatı Oranı	Minimum		Gövde Donatısı Alanı (cm ²)	Seçilen Başlık Donatısı	Seçilen Gövde Donatısı
			Başlık Donatı Alanı (cm ²)	Minimum Donatı Oranı			
KOLON	200x80	-	0,01	160,00	-	-	32φ25
	140x80	-	0,01	112,00	-	-	26φ25
KİRİŞ	80x60	-	0,003	14,40	-	-	7φ20
	40x130	-	0,003	15,60	-	-	4φ25

4.2. Yapısal Modelin Oluşturulması

Yapının doğrusal elastik olmayan yöntem ile modellenmesi için SAP2000 v19.1.0 sonlu elemanlar programı kullanılmıştır. (Şekil 4.4.) Kalıp aplikasyon planlarına uygun olarak üç boyutlu olarak modellenen yapının doğrusal elastik olmayan analizlerinin yapılabilmesi için, modelleme ve inceleme kolaylığı açısından model üzerinde bazı idealleştirmeler yapılmıştır. Döşeme elemanlarının serbestlik derecesini artırması nedeniyle kaldırılıp, döşeme üzerine gelen yüklemeler kirişlere yayılı yük olarak aktarılmıştır. Döşemelerin katlarda rijit diyafram etkisi oluşturmamasından dolayı, bu etkiyi sisteme tanımlamak için tüm katlara ayrı ayrı rijit diyafram ataması yapılmıştır. Döşemeler gibi temellerinde sistemin serbestlik derecesini artıracak yaklaşımı nedeniyle ve sistemin çözüm süresini kabul edilebilir seviyelerde tutabilmek için, temel analizleri tez kapsamında incelenmemiştir. Temel sistemi kaldırılarak kolon ve perde tabanlarına temel seviyesinde ankastre mesnet ataması yapılmıştır.

Diğer bir modelleme varsayımı olarak perde elemanlarının orta-dikme çubuk modelleme olarak sisteme tanımlanmasıdır. Perde elemanların Shell elemanlarla modellenmesi durumunda plastik mafsallık atamasının yapılamamasından dolayı, perde elemanlar kolon elemanlar gibi çubuk elemanlar olarak modellenmiş olup, ağırlığı olmayan çok büyük eğilme rijitliğine sahip sonsuz kiriş elemanlarla sisteme bağlanmaktadır (Şekil 4.3.).



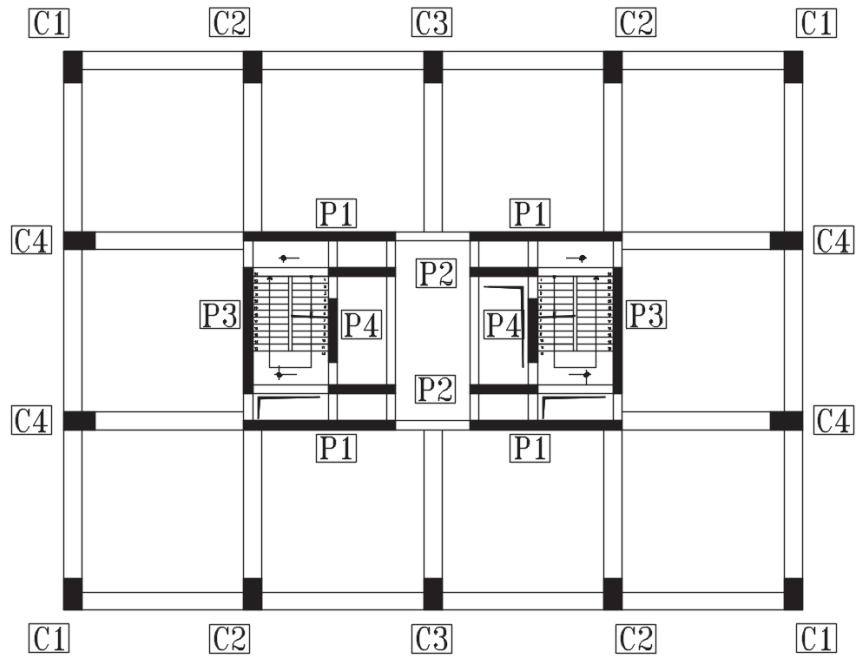
Şekil 4.3. Perde elemanlar için orta-dikme çubuk modeli

Kiriş, kolon ve perdelerde etkin eğilme rijitlikleri TDY2007'ye uygun olarak tüm elemanlara tanımlanmıştır. Eğilme etkisindeki kolon ve perde elemanlarda çatlamış kesite ait etkin eğilme rijitlikleri veri girişini kolaylaştırmak için her 5 katta bir tanımlanmıştır.

Perdeli-çerçevesel model için Tablo 4.3.'te etkin eğilme rijitlikleri değerleri ve Şekil 4.4.'te eleman numaraları gösterilmiştir.

Tablo 4.5. Perdeli-çerçevesel model için etkin eğilme rijitliği katsayıları

		1-5 Katları	6-10 Katları	11-15 Katları	16-20 Katları	21-25 Katları	26-30 Katları
PERDE	P1	0,8	0,78	0,64	0,53	0,43	0,4
	P2	0,8	0,76	0,72	0,53	0,43	0,4
	P3	0,8	0,73	0,63	0,53	0,43	0,4
	P4	0,8	0,73	0,63	0,53	0,43	0,4
KOLON	C1	0,8	0,78	0,68	0,56	0,45	0,4
	C2	0,8	0,8	0,75	0,61	0,48	0,4
	C3	0,8	0,8	0,77	0,63	0,49	0,4
	C4	0,8	0,8	0,77	0,61	0,48	0,4

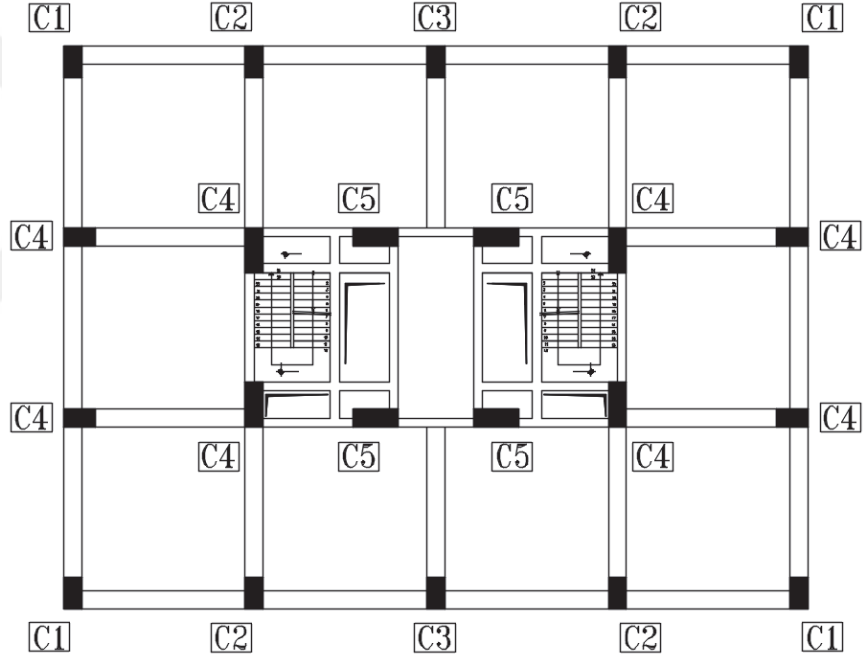


Şekil 4.4. Perdeli-çerçevesel model ve çerçevesel model için eleman numaraları

Çerçevesel model için ise Tablo 4.4.'te etkin eğilme rijitlikleri değerleri ve Şekil 4.5.'te eleman numaraları gösterilmiştir.

Tablo 4.6. Çerçevesel model için etkin eğilme rijitliği katsayıları

		1-5 Katları	6-10 Katları	11-15 Katları	16-20 Katları	21-25 Katları	26-30 Katları
KOLON	C1	0,8	0,76	0,66	0,55	0,44	0,4
	C2	0,8	0,8	0,8	0,66	0,50	0,4
	C3	0,8	0,8	0,8	0,67	0,51	0,4
	C4	0,8	0,8	0,8	0,65	0,5	0,4
	C5	0,8	0,8	0,8	0,68	0,52	0,4
	C6	0,8	0,8	0,8	0,67	0,51	0,4

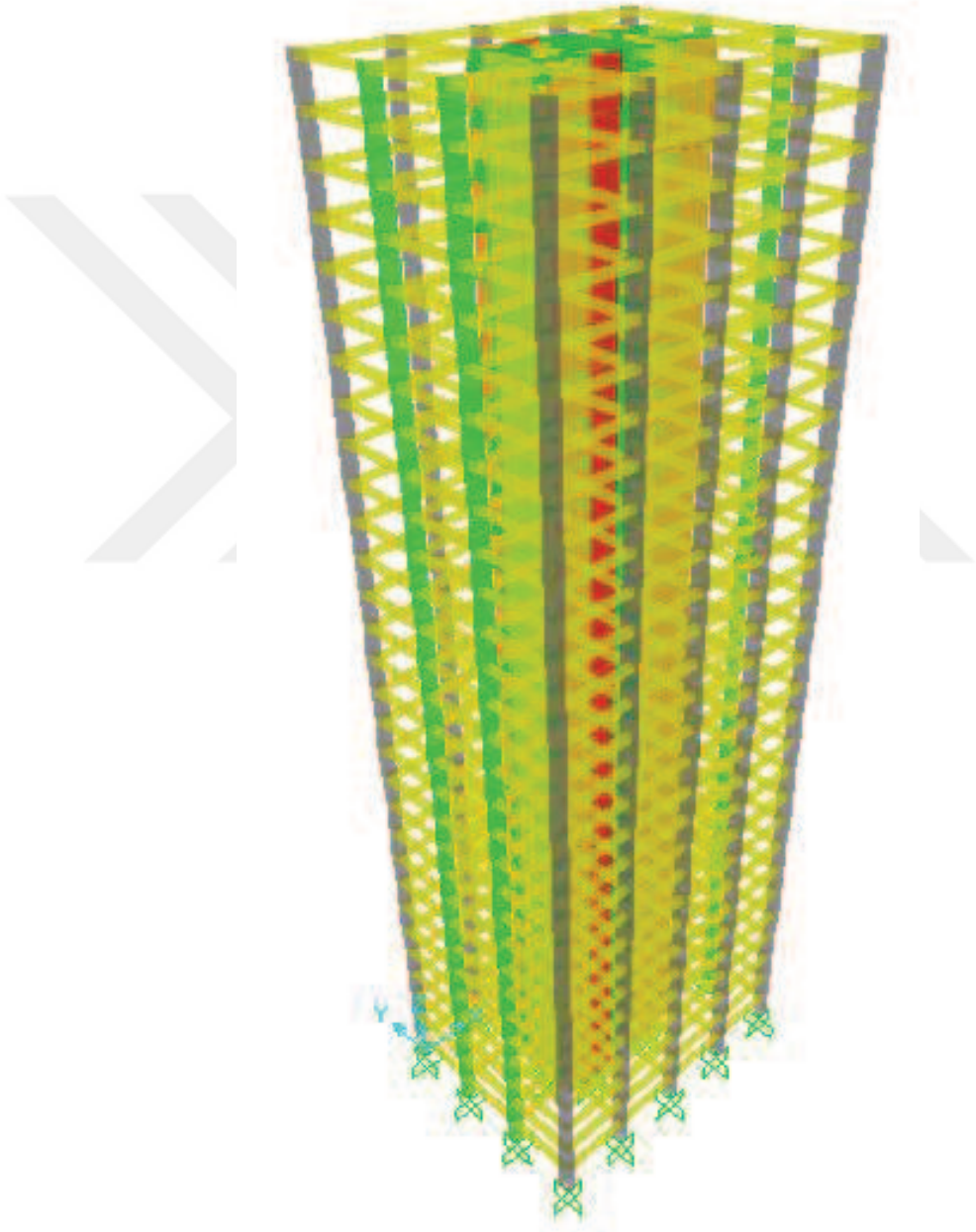


Şekil 4.5. Perdeli-çerçevesel model ve çerçevesel model için eleman numaraları

“Hesaba katılması gereken yeterli titreşim modu sayısı, Y, göz önüne alınan birbirine dik x ve y yatay deprem doğrultularının her birinde, her bir mod için hesaplanan etkin kütlelerin toplamının hiçbir zaman bina toplam kütlelerinin %90’ından daha az olmayacaktır (TDY, 2007).” Perdeli-çerçevesel ve çerçevesel olan iki farklı model için yapılara ait periyot ve kütle katılım oranları Tablo 4.5.’te verilmiştir. Oluşturulan modele ait üç boyut Sap2000 modeli ise Şekil 4.6.’da gösterilmiştir.

Tablo 4.7. Periyot ve kütle katılım oranları

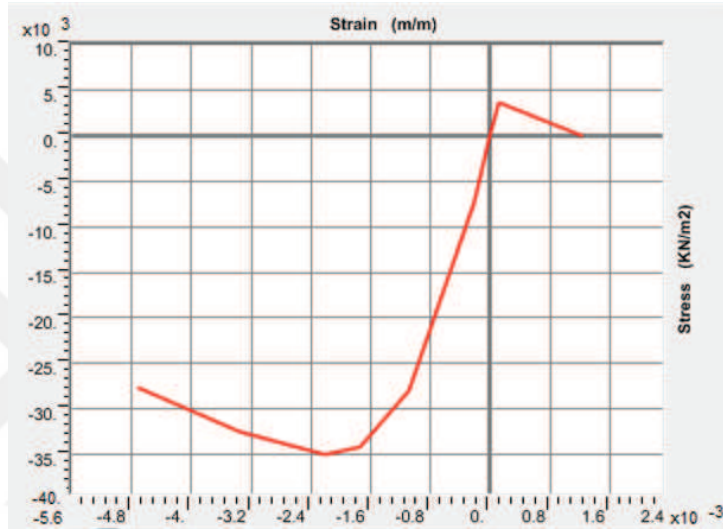
	Perdeli-Çerçevesel Model		Çerçevesel Model	
	Periyot (sn)	Kütle Katılım Oranı (%)	Periyot (sn)	Kütle Katılım Oranı (%)
T_{1x}	2,40	93,80	3,63	95,40
T_{1Y}	3,28	95,40	4,56	95,70



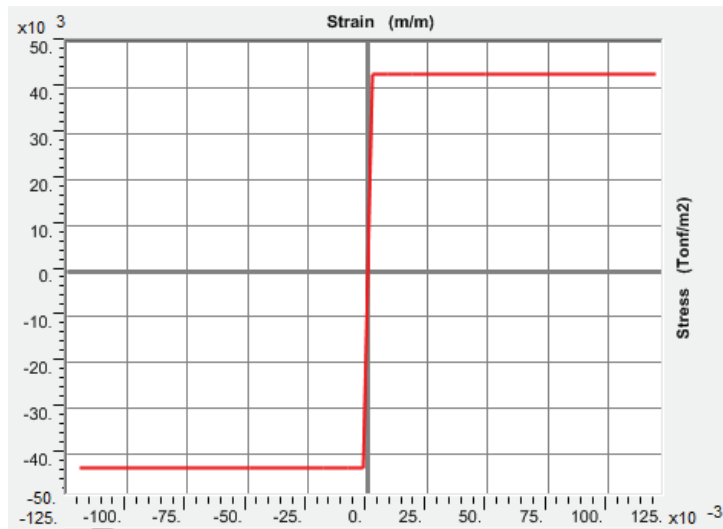
Şekil 4.6. Perdeli-çerçevesel model Sap2000 üç boyut görüntüsü

4.2.1. Malzeme modelleri

Yapı modelinin oluşturulmasında beton sınıfı C35 ve donatı çeliği S420 kullanılmıştır. TDY2007 Ek-7B Beton ve Donatı çeliği için gerilme-şekil değiştirme sınırları malzeme modeli olarak kullanılmıştır. Şekil 4.7.'de C35 beton sınıfı için oluşturulan malzeme modeli ve Şekil 4.8.'de S420 donatı çeliği için oluşturulan malzeme modelleri SAP2000 programında tanımlanmıştır.



Şekil 4.7. SAP2000'de C35 beton sınıfı için malzeme modeli



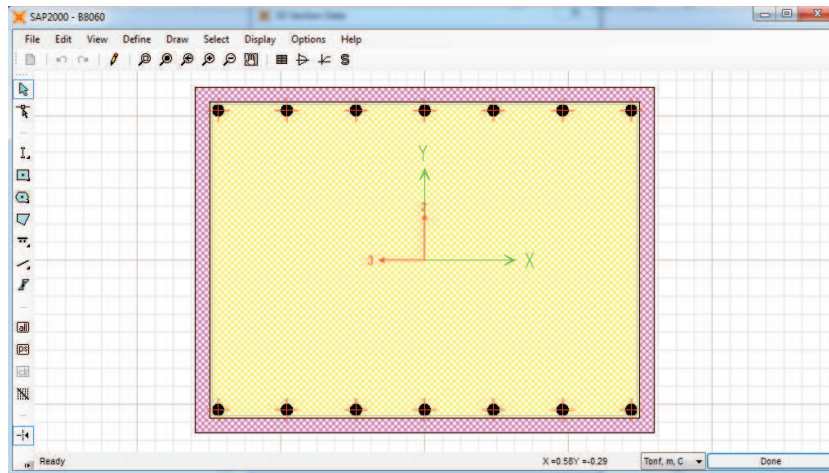
Şekil 4.8. SAP2000'de S420 donatı çeliği için malzeme modeli

4.2.2. Kesitlerin moment-eğrilik bağıntılarının oluşturulması ve akma yüzeylerinin elde edilmesi

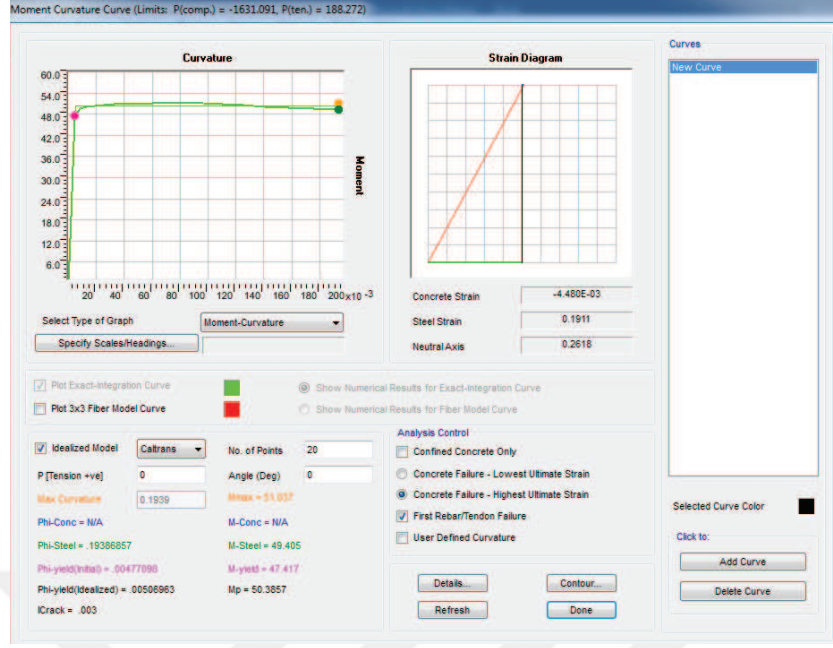
SAP2000 programında bulunan Section Designer özelliği, perde, kolon ve kiriş elemanlarının doğrusal olmayan malzeme modellerinin oluşturulmasında kullanılmaktadır. Bu özellik sayesinde moment-eğrilik bağıntıları ve akma yüzeyleri (normal kuvvet-moment etkileşim diyagramlarının) tanımlanabilmekte ve hasar bölgeleri (şekil değiştirme sınırlarının) belirlenebilmektedir. Eksenel kuvvet etkisi altında olan perde ve kolon elemanlarında moment-eğrilik ilişkisi ile beraber akma yüzeylerinin de dikkate alınması gerekmektedir. Kirişler ise sadece eğilme etkisi altında olduğundan, moment-eğrilik bağıntılarının bulunması yeterli olmaktadır.

Yapısal elemanların tümü (kiriş, kolon, perde) için Section Designer'da kesit özellikleri ve donatı miktarları seçilen donatılara uygun olarak tanımlanmıştır.

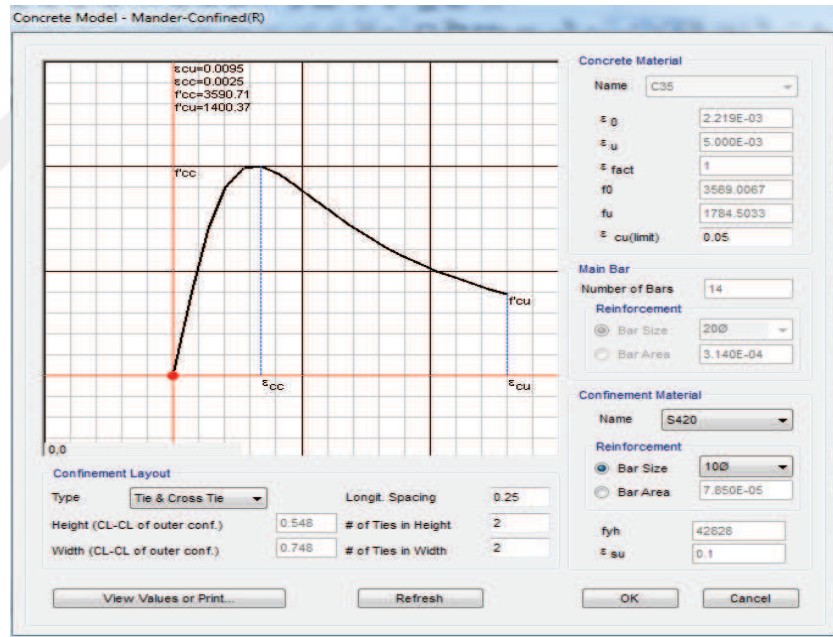
Kiriş elemanları için Section Designer'da tanımlanan kesit özellikleri, donatı miktarları, moment eğrilik bağıntıları, mander sargılı beton modeli Şekil 4.9., Şekil 4.10. ve Şekil 4.11.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.9. SAP2000 section designer'da 80x60 kiriş tanımı(t-m)

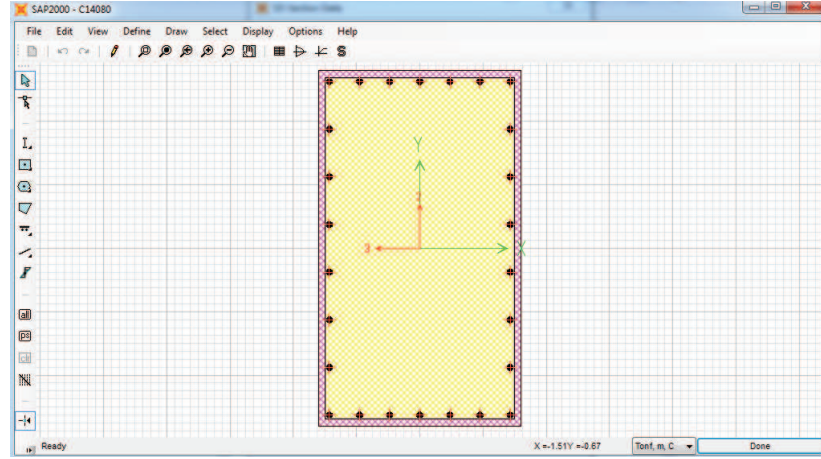


Şekil 4.10. 80x60 kiriş için moment-eğrilik bağıntısı(t-m)

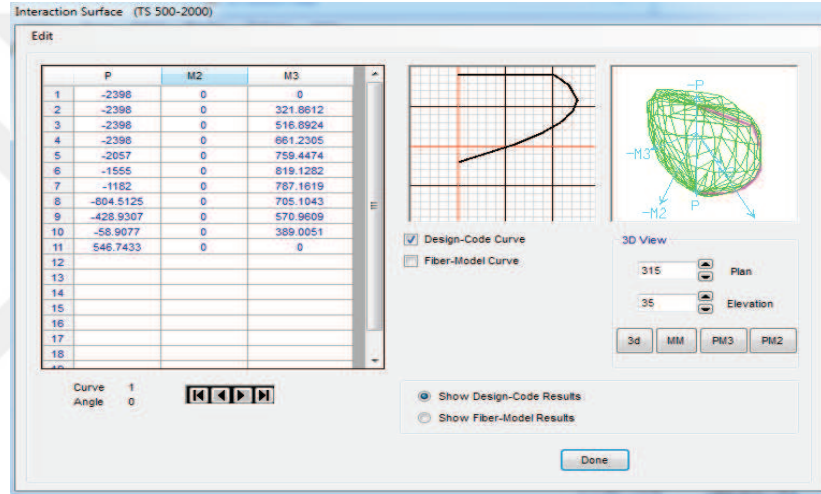


Şekil 4.11. 80x60 kiriş için mander sargılı beton modeli(t-m)

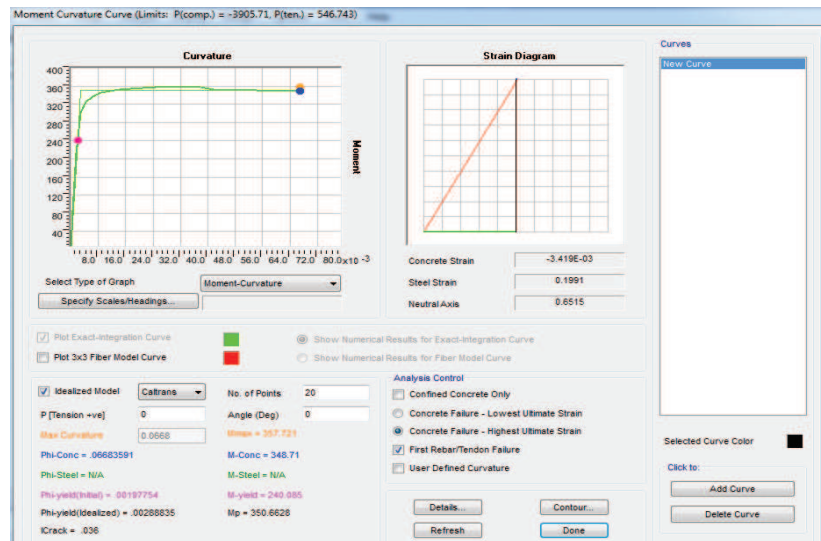
Kolon elemanları için Section Designer'da tanımlanan kesit özellikleri, donatı miktarları, moment eğrilik bağıntıları, akma yüzeyleri, normal kuvvet-moment etkileşim diyagramları, mander sargılı beton modeli Şekil 4.12., Şekil 4.13., Şekil 4.14. ve Şekil 4.15.'te gösterilmiştir.



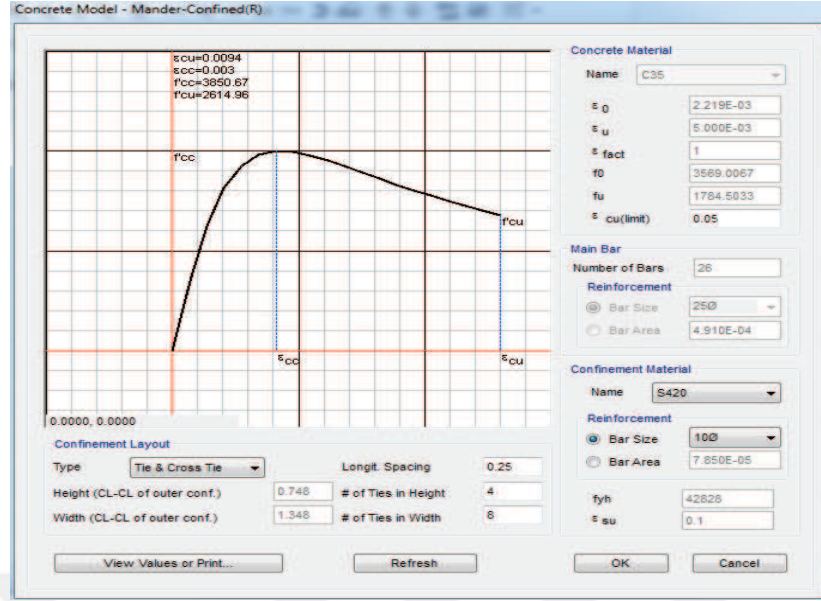
Şekil 4.12. SAP2000 section designer'da 140x80 kolon tanımı(t-m)



Şekil 4.13. 140x80 kolon için akma yüzeyleri(t-m)

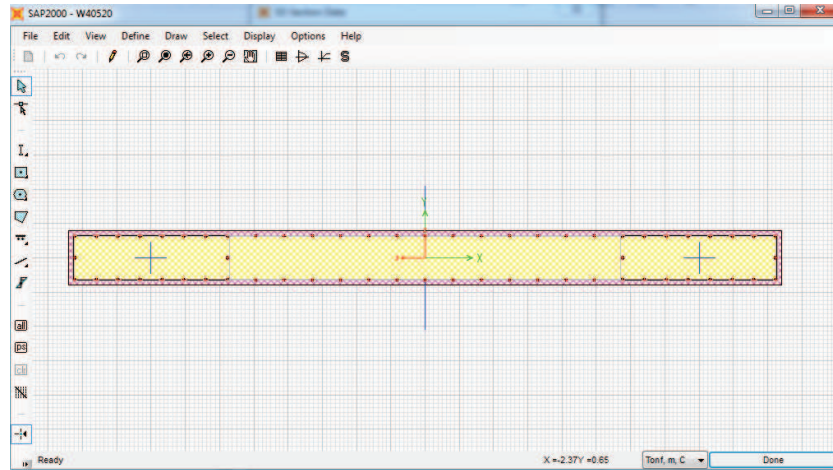


Şekil 4.14. 140x80 kolon için moment-eğrilik bağıntısı(t-m)



Şekil 4.15. 140x80 kolon için mander sargılı beton modeli(t-m)

Perde elemanlar için Section Designer’da tanımlanan kesit özellikleri, donatı miktarları, moment eğrilik bağıntıları, akma yüzeyleri, normal kuvvet-moment etkileşim diyagramları, mander sargılı beton modeli Şekil 4.16., Şekil 4.17., Şekil 4.18. ve Şekil 4.19.’da gösterilmiştir.



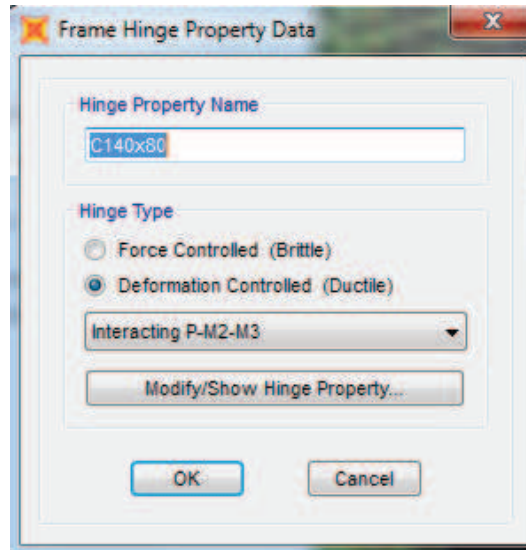
Şekil 4.16. Sap2000 section designer’da 520x40 perde tanımı(t-m)

4.2.3. Kesitlerin plastik mafsallarının oluşturulması

Perde, kolon ve kiriş elemanlarında plastik mafsal özellikleri SAP2000’de ‘Define-Section Properties-Hinge Properties’ menüsünde tanımlanmaktadır. Tüm kesitler için plastik mafsal tanımları, Define-Frame Section-Section Designer menüsünde hesaplanarak programa manuel olarak tanımlanmıştır. Kolon ve perde elemanları eksenel kuvvet altında olan elemanlar olması nedeniyle ‘Interacting P-M2-M3 mafsal özelliği ile tanımlanmaktadır. Burada P eksenel kuvveti, M2 ve M3 ise Moment değerlerini ifade etmektedir. Kiriş elemanlarında ise eksenel kuvvet olmadığı varsayılmakta ve sadece M3 plastik mafsal tanımlaması yapılmaktadır. Plastik şekildeğiştirmelerin sadece eleman uçlarında olduğu kabul edilerek, çubuk elemanların 0.05 i ve 0.95 ine plastik mafsal ataması yapılmıştır.

4.2.4. Perde ve kolonlarda plastik mafsallarının oluşturulması

Daha önceki bölümlerde detaylı şekilde aktarıldığı üzere perdeler, kolonlar gibi ‘frame’ eleman olarak atandığı için, plastik mafsal özelliklerinin oluşturulması perde ve kolonlarda aynı şekilde tanımlanmıştır. Eksenel kuvvet altındaki bu elemanlar için P-M2-M3 mafsal özelliği kullanılmıştır (Şekil 4.20.).



Şekil 4.20. C140x80 kolonu için P-M2-M3 plastik mafsal tanımı

Kolon ve perdelerde eksenel kuvvetler, üst katlara çıkıldıkça azalmakta ve her katta farklılık göstermektedir. Perdeli-çerçevesel model için eksenel kuvvet değerleri Tablo 4.6. ve Tablo 4.7.'de gösterilmiştir. Çerçevesel model için eksenel kuvvet değerleri ise Tablo 4.8.'de gösterilmiştir.

Tablo 4.8. Kolon elemanlarında eksenel kuvvet değerleri (perdeli-çerçevesel model)

KOLONLARDAKİ EKSENEL KUVVET DEĞERLERİ (KN)							
	KESİT	1-5 KAT	6-10 KAT	11-15 KAT	16-20 KAT	21-25 KAT	26-30 KAT
C1	C80140	-18390	-15340	-12140	-8830	-5460	-2050
C2	C80140	-22970	-18560	-14320	-10250	-6280	-2350
C3	C80140	-23810	-19290	-14890	-10680	-6550	-2450
C4	C14080	-22800	-18420	-14890	-10180	-6220	-2330

Tablo 4.9. Perde elemanlarında eksenel kuvvet değerleri (perdeli-çerçevesel model)

PERDELERDEKİ EKSENEL KUVVET DEĞERLERİ (KN)							
		1-5 KAT	6-10 KAT	11-15 KAT	16-20 KAT	21-25 KAT	26-30 KAT
	KESİT	ARASI	ARASI	ARASI	ARASI	ARASI	ARASI
P1	W635x40	-47010	-34330	-24770	-17750	-11240	-4420
P2	W40x520	-35770	-26860	-20050	-14520	-8930	-3380
P3	W280x40	-17100	-13660	-10760	-7800	-4810	-1790
P4	W40x280	-16230	-13600	-10720	-7780	-4800	-1800

Tablo 4.10. Kolon elemanlarında eksenel kuvvet değerleri (çerçevesel model)

KOLONLARDAKİ EKSENEL KUVVET DEĞERLERİ (KN)							
		1-5 KAT	6-10 KAT	11-15 KAT	16-20 KAT	21-25 KAT	26-30 KAT
	KESİT	ARASI	ARASI	ARASI	ARASI	ARASI	ARASI
C1	C80140	-17566	-14626	-11561	-8411	-5197	-1946
C2	C80140	-24870	-20375	-15913	-11475	-7054	-2644
C3	C80140	-25642	-21043	-16456	-11877	-7304	-2736
C4	C14080	-24750	-20264	-15817	-11402	-7008	-2628
C5	C80200	-38813	-31370	-24297	-17442	-10711	-4048
C6	C20080	-35487	-29554	-23325	-16924	-10431	-3887

Veri girişini kolaylaştırmak için 30 katlı bu yapının 5 'er katta bir ortalama eksenel kuvvet okuması yapılarak 6 adet normal kuvvet 'Modify/Show Axial Force Values' menüsünden plastik mafsal özelliği kısmına tanımlanmıştır (Şekil 4.21.).

	Axial Force
1	-22800
2	-18420
3	-14890
4	-10180
5	-6220
6	-2330

Şekil 4.21. C4-140/80 kolon için eksenel kuvvet tanımı

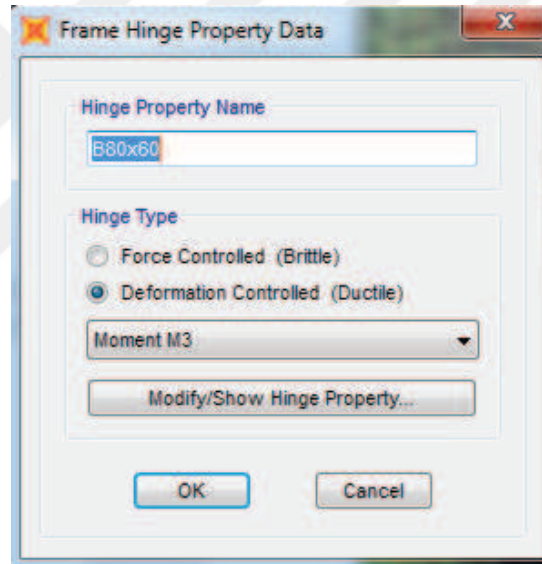
Kolon ve perdeler için program tarafından seçilen akma yüzeylerinden, eksenel kuvvetlere göre akma momentleri oluşturulmaktadır. Bu nedenle moment değerleri programa tanımlanmamaktadır. Kesitteki dönme limitinin olmaması ve kesitteki maksimum dönme miktarını görebilmek adına, 'Scale factor for rotation' kısmında 'User SF=1' olarak tanımlanmıştır. Normal kuvvet eksenine göre dairesel formda akma yüzeylerine ait Moment-eğrilik ilişkisinin elde edilebilmesi için 'Moment Rotation Dependence is Doubly Symmetric about M2 and M3' özelliği seçilmiştir. Kesitlerin simetri özelliğinden dolayı 0° ve 90° olmak üzere iki adet açı kullanılmaktadır. Tanımlanan her eksenel yük seviyesi ve iki adet açı için, kesite ait moment-plastik dönme ilişkileri Şekil 4.22.'de tanımlanmıştır.

Point	Moment/Yield Mom	Rotation/SF
A	0	0
B	1	0
C	1	1
D	1	1
E	1	1
F	1	1

Şekil 4.22. C4-140/80 kolon için plastik mafsalsal veri girişi

4.2.5. Kirişlerde plastik mafsallarının oluşturulması

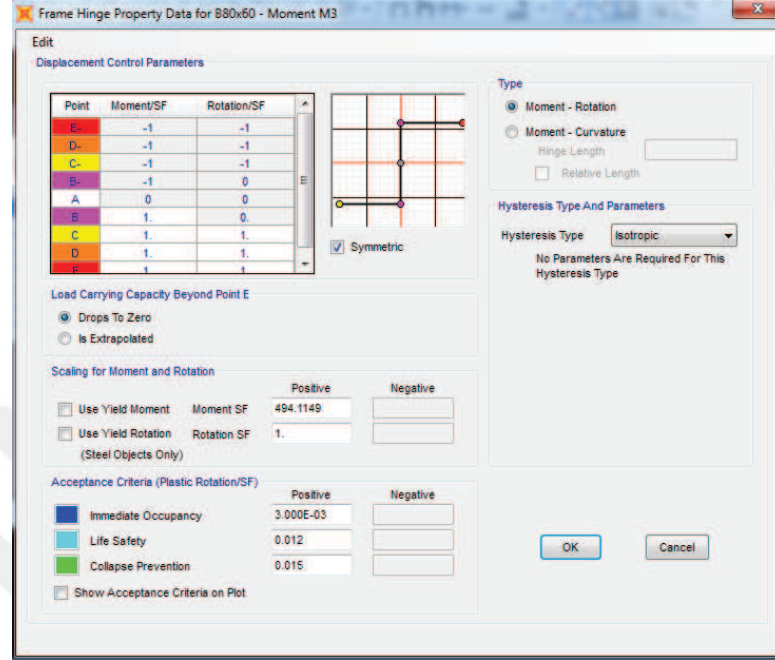
Kiriş elemanlarında normal kuvvet etkisinin ihmal edilmesi nedeniyle plastik mafsal tanımı M3 olarak programa tanımlanmıştır (Şekil 4.23.). Kolon elemanlarda olduğu gibi moment-plastik dönme ilişkileri programa kullanıcı tanımlı olarak girilmektedir. Kiriş kesitinde alt ve üst donatı oranları aynı seçildiği için ‘symmetric’ olarak seçilmiştir. ‘Section Designer’da tanımlanan kesitin M_p plastik dönme miktarı ‘Moment SF’ kısmına tanımlanmıştır. Rijit plastik kesit tanımı yapabilmek için ‘Moment/SF’ değerlerini ‘1’ olarak tanımlanmaktadır. Kesit üzerinde hasar seviyelerini anlayabilmek ve dönme miktarlarını maksimum seviyede tespit edebilmek için ‘Rotation/SF’ kısmına ‘1’ değeri girilmiştir (Şekil 4.24).



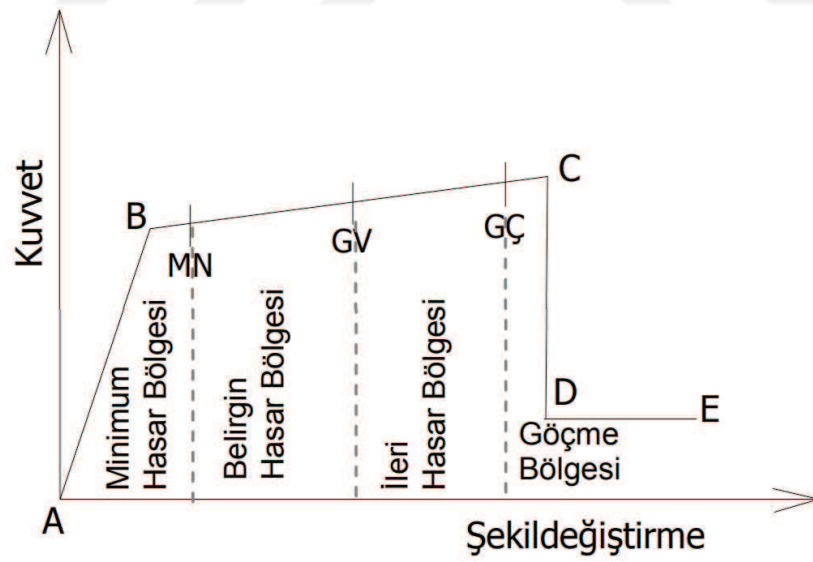
Şekil 4.23. B80x60 kirişi için M3 plastik mafsalları tanımlama

SAP2000 programında plastik mafsalları yük-deformasyon davranışını tanımlayan A, B, C, D, E noktaları her bir elemanın tipi, malzeme özellikleri, boyuna ve enine donatı içeriği ve eksenel yük seviyesine göre farklılık göstermektedir. A noktası başlangıç noktası olup sıfırdır, B noktası ise akma sınırını göstermekte olup, plastik dönme değeri sıfır olduğu için plastik şekil değiştirme meydana gelmemektedir. C noktası maksimum kapasiteyi ifade etmekte olup, dönme miktarının maksimum kapasiteye erişmesiyle D noktasına ulaşılır ve ani bir düşüş yaparak yük o mafsalda

boşalmaktadır. E noktası kesit için güç tükenmesine ulaşıldığını ifade etmektedir (Şekil 4.25.).



Şekil 4.24. B80x60 kirişi için plastik dönme ilişkisi



Şekil 4.25. Plastik mafsallın tipik yük-deformasyon ilişkisi

4.2.6. Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz

Bu bölümde TDY2007'ye uygun olarak tasarımı yapılan konut-ofis binasının doğrusal olmayan zaman tanım alanı hesap yöntemi ile yapının analizleri yapılmıştır. SAP2000 programında yapılan hesaplamalar için bazı kabuller aşağıda sıralanmıştır.

- Perde kesitlerinin kolon elemanlar gibi frame olarak tanımlanmış ve sisteme sosuz rijit kirişlerle bağlanmıştır.
- Radye temel modeli tez kapsamında incelenmemiş olup, temel seviyesinde taşıyıcı elemanlara ankastre mesnet ataması yapılmıştır.
- Döşeme elemanlarının serbestlik derecesini artırması ve modelin çalışma süresini makul seviyelerde tutabilmek için döşemeler sistemden kaldırılarak, yükler kirişlere yayılı yük şeklinde aktarılmıştır.
- Yapının çok katlı bir yapı olması ve ikinci mertebe etkilerinin elemanlarda önemli tesirleri oluşturulacağı öngörüldüğü için P-Delta analizi yapılmıştır.
- Plastik mafsalları tüm kat ve tüm elemanlara atanmıştır.

4.2.7. Analiz için kullanılacak deprem ivme kayıtları

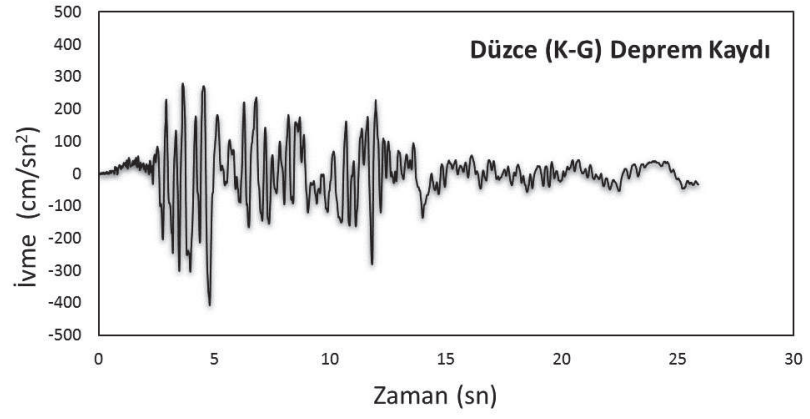
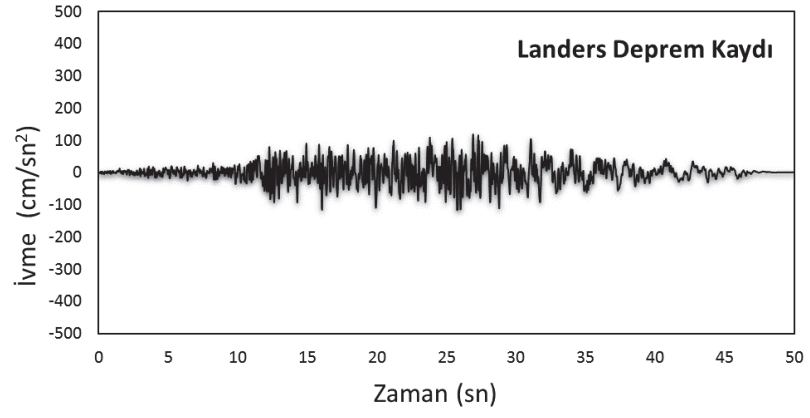
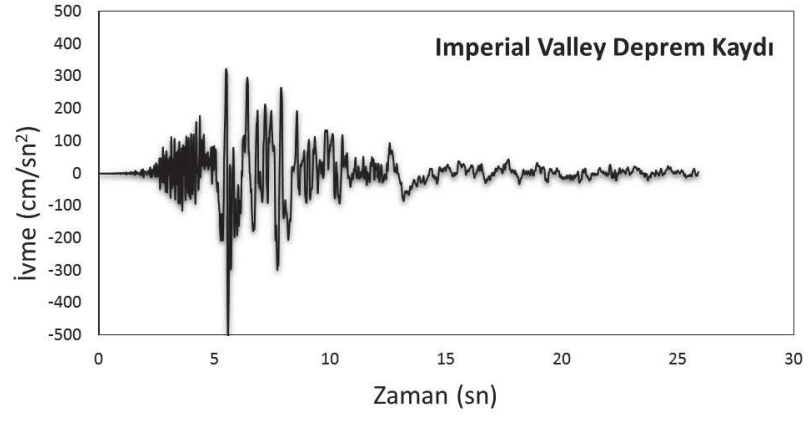
Bu tez kapsamında TDY2007'ye uygun olarak Düzce K-G, Landers ve Imperial Valley olmak üzere 3 adet gerçek deprem kaydı seçilmiştir. Üç adet deprem kaydı X ve Y doğrultularında zaman tanım alanı hesap yöntemi ile altı adet doğrusal olmayan analiz yapılmıştır. Analiz için uygulanan deprem kayıtlarının TDY2007 2.9.1. maddesi gereğince;

- “Kuvvetli yer hareketi kısmının süresi, binanın birinci doğal titreşim periyodunun 5 katından ve 15 saniyeden daha kısa olmayacaktır (TDY, 2007).”
Binanın doğal titreşim periyodu $T_1 = 3,28$ sn (perdeli-çerçevesiz)
($3,28 \cdot 5 = 16,4$ sn)
Binanın doğal titreşim periyodu $T_1 = 4,56$ sn (çerçevesiz) ($4,56 \cdot 5 = 22,8$ sn)

Düzce K-G deprem kaydı 25,9sn, Imperial Valley deprem kaydı 39,5sn ve Landers deprem kaydı 50 sn'dir. Seçilen deprem kayıtları, deprem kaydı süresi açısından uygundur.

- “Üretilen deprem yer hareketinin sıfır periyoda karşı gelen spektral ivme değerlerinin ortalaması A_0g 'den daha küçük olmayacaktır (TDY, 2007).”
%5 viskoz sönüm değeri için, elastik tepki spektrumlarında sıfır periyoda karşılık gelen ivme değerleri, Düzce K-G için 408 cm/s^2 , Imperial Valley için 518 cm/s^2 , Landers için 824 cm/s^2 'dir. Yapının 1. Derece deprem bölgesinde bulunmasından dolayı $A_0 = 0,40$ ve $g = 981 \text{ cm/s}^2$ ($A_0g = 0,40 \cdot 981$) $392,4 \text{ cm/s}^2$ olarak bulunmaktadır. Seçilen deprem kayıtları, A_0g 'den büyüktür.
- “Yapay olarak üretilen her bir ivme kaydına göre %5 sönüm oranı için yeniden bulunacak spektral ivme değerlerinin ortalaması, gözönüne alınan deprem doğrultusundaki birinci (hâkim) periyod T_1 'e göre $0.2T_1$ ile $2T_1$ arasındaki periyodlar için, 2.4.'te tanımlanan $S_{ae}(T)$ elastik spektral ivmelerinin %90'ından daha az olmayacaktır. Zaman tanım alanında doğrusal elastik analiz yapılması durumunda, azaltılmış deprem yer hareketinin elde edilmesi için esas alınacak spektral ivme değerleri Denk. (2.13.) ile hesaplanacaktır (TDY, 2007).”

Kullanılan deprem kayıtlarından Imperial Valley ve Landers ivme kayıtları için, Yasin M.FAHJAN “Türkiye Deprem Yönetmeliği (DBYBHY,2007) Tasarım İvme Spektrumuna Uygun Gerçek Deprem Kayıtlarının Seçilmesi ve Ölçeklenmesi” makalesinden seçilmiş olup, ölçeklendirme katsayıları (α_{st}) Tablo 4.9.'da verildiği gibidir. Diğer deprem kaydı olan Düzce K-G ivme kaydı ise ölçeklendirilmiş ve TDY2007'ye uygunluğu kontrol edilmiştir. Seçilen deprem kayıtlarına ait ivme zaman grafikleri Şekil 4.26.'da ve deprem kayıtlarına ait genel bilgiler Tablo 4.10'da gösterilmiştir.



Şekil 4.26. Kullanılan deprem kayıtlarının ivme-zaman grafikleri

Tablo 4.11. Türkiye’de yerel zemin sınıfı Z2 olan bölgelerde kullanılacak deprem kayıtları ve ölçekleme katsayıları (Fahjan, 2007).

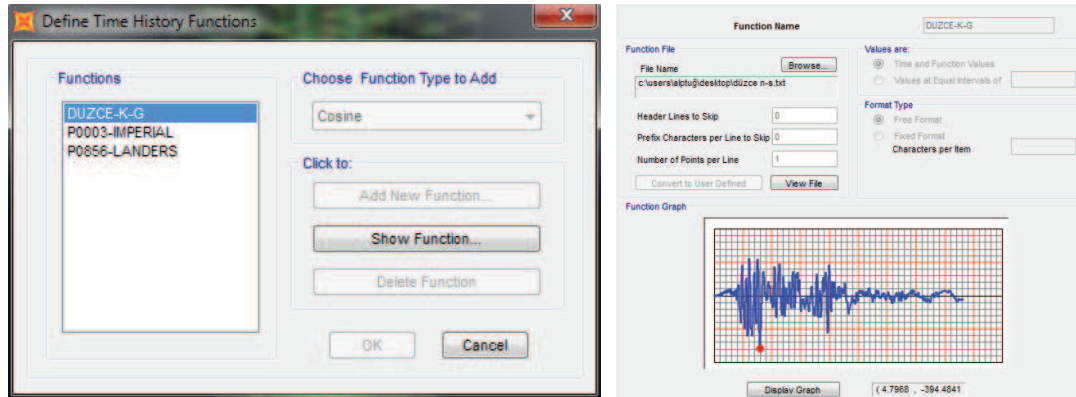
Yerel Zemin Sınıfı: Z2										
Kayıt no	Deprem	Tarih	İstasyon	Kayıt	Fay kırığına en yakın mesafe	Kayıt Süresi	Anlamlı Süre	Zarf Süre	Faylanma mekanizması	Ölçekleme Katsayısı (α_s)
P0017	Imperial Valley	15.10.1979	931 El Centro Array #12	H-E12230	18.20	39.0	19.4	27.8	SS	8.31
P0012	Imperial Valley	15.10.1979	931 El Centro Array #12	H-E12140	18.20	39.0	19.1	23.4	SS	7.01
P0730	Superstition Hills	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	FA1095	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	246612 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-E-05140	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	3061 Calipatria Fire Sta	H-CAL315	23.80	39.5	23.3	28.0	SS	12.14

Tablo 4.12. Deprem kayıtları için genel bilgiler

Deprem	Süre (s)	Maksimum İvme (cm/s^2)	Maksimum Hız (cm/s)	Maksimum Yerdeğiştirme (cm)	Zaman İlerleme aralığı (s)
Imperial Valley	39	1236	116	117	0,005
Landers	50	825	114	42	0,02
Düzce K-G	26	407	66	92	0,02

4.2.8. Zaman tanım alanında analiz için SAP2000’de veri girişi yapılması

SAP2000 programında zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz için yapılan yüklemelere ait veri girişi Şekil 4.27.’de gösterilmektedir. Seçilen deprem kayıtları Functions-Time History sekmesinden her bir deprem kaydı için ayrı ayrı oluşturulmaktadır.



Şekil 4.27. Kullanılan deprem kayıtlarının Sap2000’de tanımlanması

Zaman tanım alanında doğrusal olmayan bir analiz için, önce kütlelerle uyumlu $G+0,3Q$ olarak doğrusal olmayan bir başlangıç koşulu tanımlamıştır. Bu başlangıç koşulu diğer zaman tanım alanı analizlerinin başlangıç koşulu olarak Load Case sekmesinde programa tanıtılmaktadır (Şekil 4.28.).

Load Pattern	Load Name	Scale
G1	G1	1
Q2	Q2	0.3
SW	SW	1

Şekil 4.28. $G+0,3Q$ başlangıç koşulunun tanımlanması

Load Cases Data kısmından depremlere ait yüklemeler Nonlinear-Direct İntegration kısmından P-Delta analizi hesaba katılarak programa tanıtılmaktadır. X ve Y yönleri için ve 3 farklı deprem kaydı için toplam 6 adet kayıt oluşturulmaktadır (Şekil 4.29.).

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Accel	U1	DUZCE-K-G	0.01
Accel	U1	DUZCE-K-G	0.01

Şekil 4.29. Zaman tanım alanında veri girişi

4.3. Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi

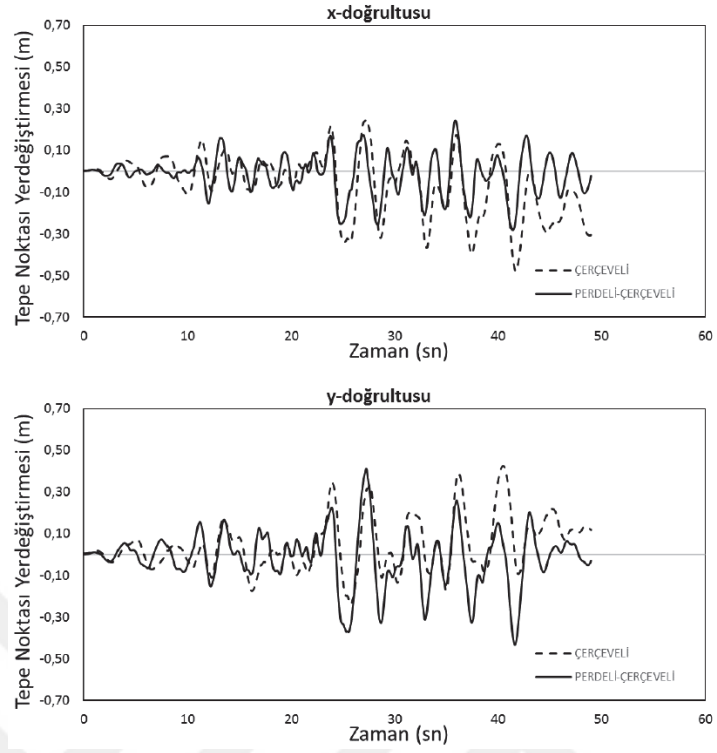
Deprem etkisi altında 30 katlı 105m yüksekliğinde betonarme yüksek bir binanın 2 farklı betonarme taşıyıcı sistem ile zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizleri yapılmıştır. Yapılan analizler neticesinde farklı deprem etkileri altında taşıyıcı sistemi perdeli-çerçeveleli olan yapı ile taşıyıcı sistemi çerçeveleli olan iki yapının deprem davranışı karşılaştırılmıştır.

TDY2007 madde 7.6.8.'e uygun olarak yapılan hesap sonucundan kesitlerde oluşan θ_p plastik dönme istemi bulunacak ve bulunan değerden plastik eğrilik istemi, $\phi_p = \theta_p/L_p$ ile hesaplanacaktır. ϕ_y akma eğriliği ise SAP2000 section designer menüsünde tanımlanan kesitler için elde edilen moment eğrilik ilişkisinden okunmaktadır. ϕ_t toplam eğrilik istemi ise “ $\phi_p + \phi_y$ ” olarak hesaplanacaktır.

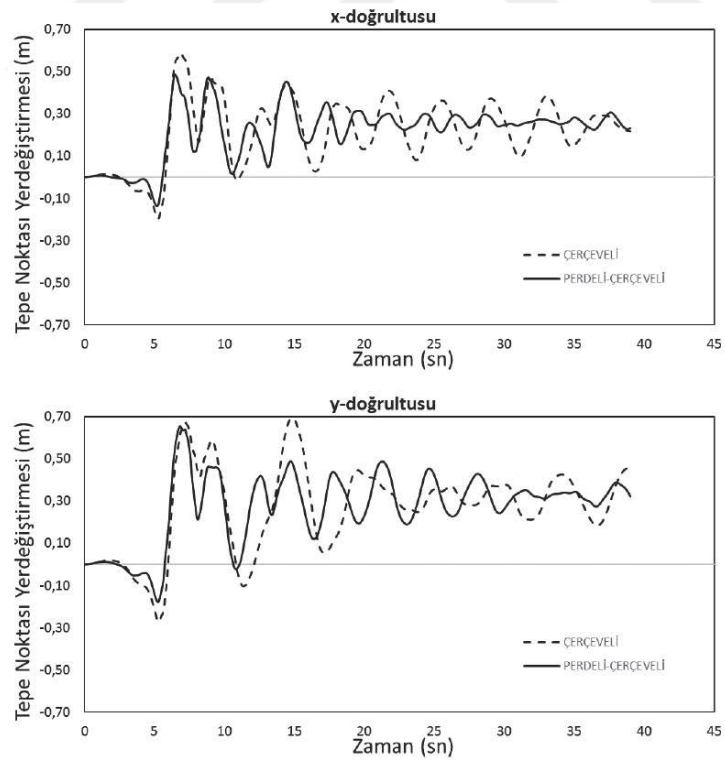
Hesaplanan toplam eğrilik istemi değeri, SAP2000 section designer özelliği kullanılarak tüm kesitler için TDY2007’de belirtilen betonun basınç birim şekil değiştirme ve donatı çeliğindeki birim şekil değiştirme kapasiteleri karşılaştırılacak ve kesit düzeyindeki hasar seviyeleri tespit edilecektir.

4.3.1. Deprem etkilerinin irdelenmesi

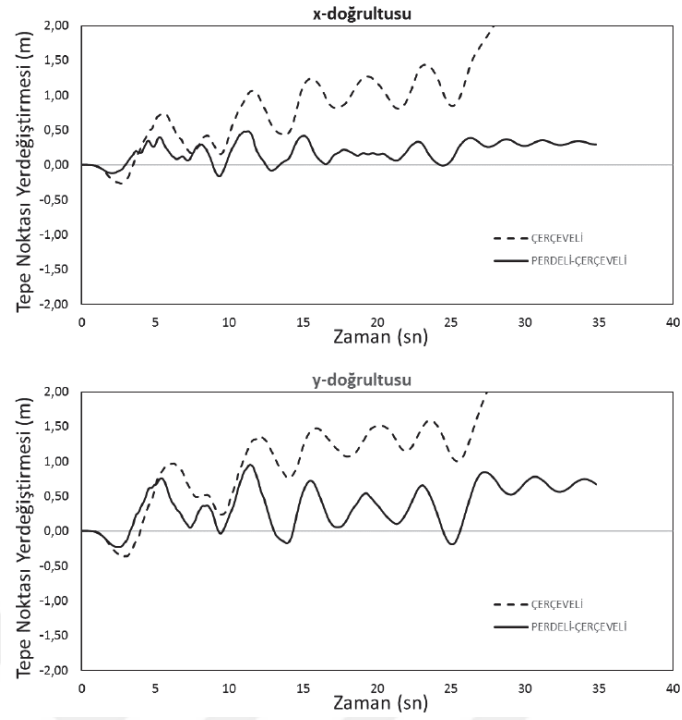
Perdeli-çerçeveleli ve çerçeveleli olarak modellenen iki farklı yapıya 6 adet deprem kaydı etki ettirilmiş ve tepe noktalarında oluşan yerdeğiştirme grafikleri karşılaştırmalı olarak Şekil 4.30., Şekil 4.31. ve Şekil 4.32.’de gösterilmiştir.



Şekil 4.30. Landers deprem kaydı etkisi altında yerdeğiştirme-zaman grafikleri



Şekil 4.31. Imperial Valley deprem kaydı etkisi altında yerdeğiştirme-zaman grafikleri



Şekil 4.32. Düzce K-G deprem kaydı etkisi altında yerdeğiştirme-zaman grafikleri

4.3.2. Kirişlerde hasar durumunun incelenmesi

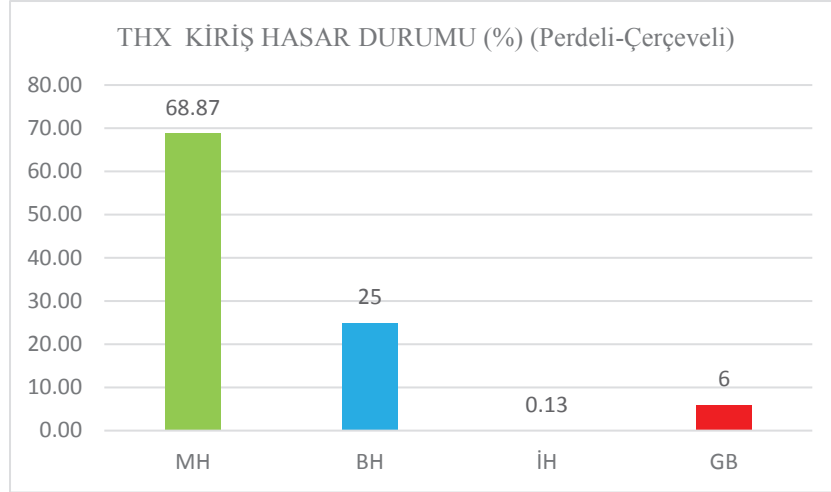
Yapının her katı için kirişlerde oluşan plastik mafsalların plastik dönme istemleri okunarak, her bir elemanın hasar sınırı tespit edilmiştir. X ve Y yönünde 3 farklı deprem için uygulanan deprem etkilerinden, en elverişsiz olan sonuçlar kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, depremin X ve Y yönlerinde her kat için kirişlerde oluşan hasar dağılımları perdeli-çerçevesel model için Tablo 4.13.'de, çerçevesel model için ise Tablo 4.14.'de gösterilmiştir. Perdeli-çerçevesel ve çerçevesel olarak modellenen her iki yapının performans seviyesinin değerlendirilebilmesi için, her katta bulunan hasar dağılımları Şekil 4.33., Şekil 4.34., Şekil 4.35. ve 4.36.'da yapının toplam hasar dağılımları olarak gösterilmiştir.

Tablo 4.13. Perdeli-çerçeve model için katlarda oluşan kiriş hasar dağılımları

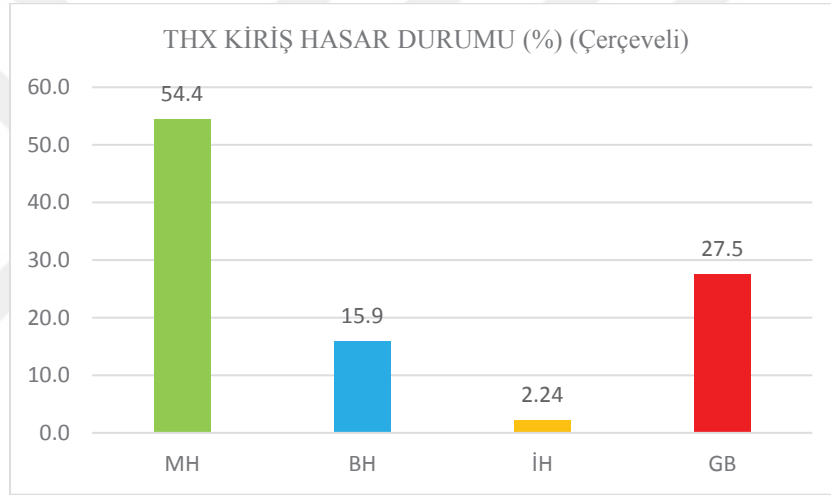
KAT	THX-HASAR DAĞILIMLARI (%)				THY-HASAR DAĞILIMLARI (%)			
	MH	BH	İH	GB	MH	BH	İH	GB
1	88	4	0	8	62	38	0	0
2	76	16	0	8	60	40	0	0
3	72	20	0	8	56	44	0	0
4	72	20	0	8	52	36	8	4
5	64	28	0	8	52	30	16	2
6	64	28	0	8	44	36	18	2
7	60	32	0	8	46	34	20	0
8	60	32	0	8	44	36	14	6
9	60	32	0	8	44	42	4	10
10	60	32	0	8	48	40	2	10
11	60	32	0	8	52	36	4	8
12	60	32	0	8	52	34	8	6
13	60	32	0	8	58	30	8	4
14	60	32	0	8	60	28	8	4
15	60	32	0	8	68	20	8	4
16	60	32	0	8	68	20	8	4
17	60	32	0	8	68	20	8	4
18	60	32	0	8	68	20	8	4
19	60	32	0	8	68	20	8	4
20	60	32	0	8	68	20	10	2
21	64	28	0	8	68	20	8	4
22	68	28	0	4	68	20	8	4
23	76	20	0	4	70	18	8	4
24	76	20	0	4	70	18	8	4
25	80	16	4	0	70	18	8	4
26	82	18	0	0	70	18	8	4
27	84	16	0	0	70	18	8	4
28	84	16	0	0	70	18	12	0
29	88	12	0	0	70	18	12	0
30	88	12	0	0	72	16	12	0

Tablo 4.14. Çerçevesel model için katlarda oluşan kiriş hasar dağılımları

KAT	THX-HASAR DAĞILIMLARI (%)				THY-HASAR DAĞILIMLARI (%)			
	MH	BH	İH	GB	MH	BH	İH	GB
1	38	3	0	59	29	36	2	33
2	24	14	0	62	16	21	0	64
3	26	9	3	62	14	17	0	69
4	28	7	3	62	14	2	2	83
5	28	7	3	62	12	2	2	84
6	31	7	3	59	14	2	0	84
7	38	12	2	48	14	12	9	66
8	38	14	0	48	24	28	3	45
9	38	7	5	50	22	22	7	48
10	38	7	0	55	21	21	7	52
11	38	7	0	55	21	21	9	50
12	38	7	0	55	28	24	3	45
13	38	7	7	48	31	28	0	41
14	38	10	3	48	31	24	5	40
15	38	14	17	31	41	24	3	31
16	38	45	7	10	48	16	3	33
17	41	48	2	9	50	14	3	33
18	45	48	7	0	64	3	3	29
19	48	48	3	0	62	5	3	29
20	64	36	0	0	62	3	3	31
21	79	21	0	0	60	7	2	31
22	84	16	0	0	60	5	2	33
23	90	10	0	0	62	7	7	24
24	90	10	0	0	62	10	0	28
25	90	10	0	0	62	7	3	28
26	90	10	0	0	62	7	0	31
27	90	10	0	0	62	7	0	31
28	90	10	0	0	62	7	2	29
29	90	10	0	0	62	7	3	28
30	90	10	0	0	62	7	3	28



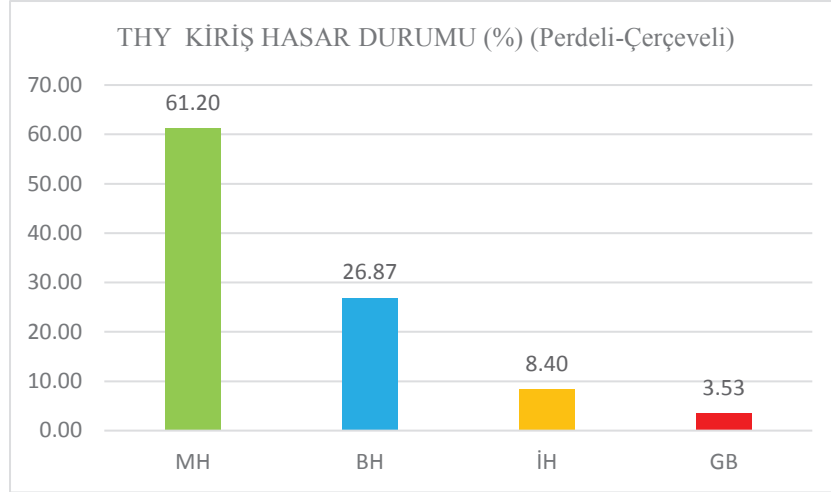
Şekil 4.33. Perdeli-çerçevesi model için x yönü kirişlerde hasar dağılımları



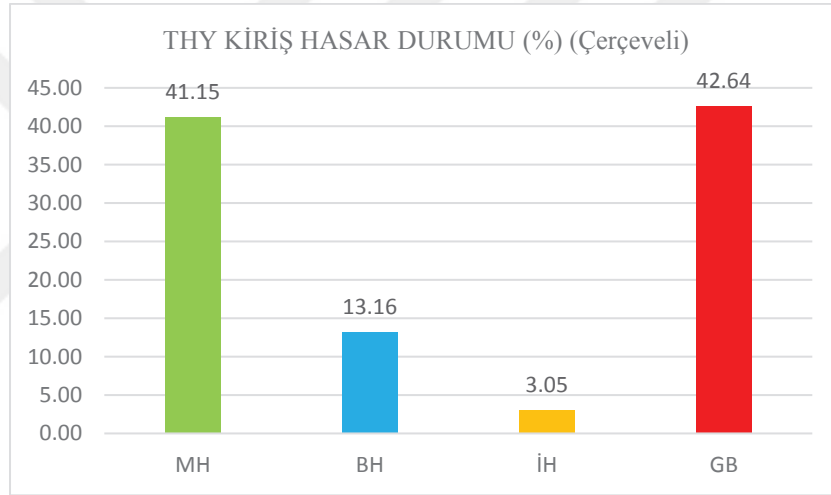
Şekil 4.34. Çerçevesi model için x yönü kirişlerde hasar dağılımları

Perdeli-Çerçevesi model için Şekil 4.33.'te görüleceği üzere X doğrultusunda deprem etkisi altında kirişlerde oluşan hasar dağılımları, %68,87 minimum hasar bölgesinde, %25 belirgin hasar bölgesinde, %0,13 ileri hasar bölgesinde, %6 göçme bölgesinde bulunmaktadır.

Çerçevesi model için ise, Şekil 4.34.'te görüleceği üzere X doğrultusunda deprem etkisi altında kirişlerde oluşan hasar dağılımları, %54,4 minimum hasar bölgesinde, %15,9 belirgin hasar bölgesinde, %2,24 ileri hasar bölgesinde, %27,5 göçme bölgesinde bulunmaktadır.



Şekil 4.35. Perdeli-çerçevesi model için y yönü kirişlerde hasar dağılımları

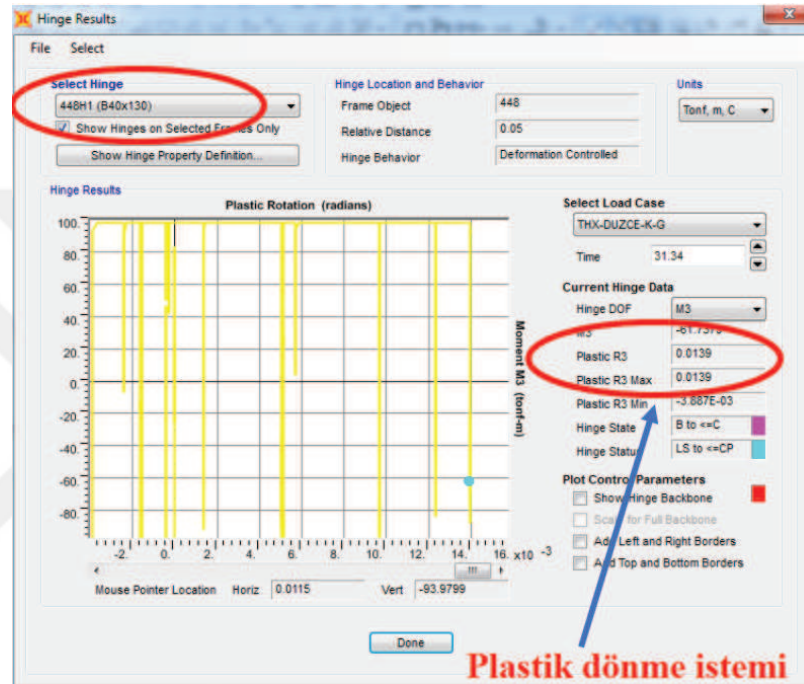


Şekil 4.36. Çerçevesi model için y yönü kirişlerde hasar dağılımları

Perdeli-Çerçevesi model için Şekil 4.35.'te görüleceği üzere y doğrultusunda deprem etkisi altında kirişlerde oluşan hasar dağılımları, %61,20 minimum hasar bölgesinde, %26,87 belirgin hasar bölgesinde, %8,40 ileri hasar bölgesinde, %3,53 göçme bölgesinde bulunmaktadır.

Çerçevesi model için Şekil 4.36.'te görüleceği üzere y doğrultusunda deprem etkisi altında kirişlerde oluşan hasar dağılımları, %41,15 minimum hasar bölgesinde, %13,16 belirgin hasar bölgesinde, %3,05 ileri hasar bölgesinde, %42,64 göçme bölgesinde bulunmaktadır.

Perdeli-çerçevesel ve çerçevesel olarak modellenen iki yapı için de hasar sınırları tespit edilen kirişler için yapılan örnek bir hesap aşağıda gösterilmektedir. Perdeli-Çerçevesel model için, 1.kat (+3.50 Kotu) kirişlerinden iki çekirdek grubunu birbirine bağlayan bağ kirişi şeklindeki 40/130 boyutlarındaki 448H1 ve 448H2 plastik mafsallarına sahip 1213 numaralı kiriş için plastik dönme istemi SAP2000'den okunmuş ve hasar bölgesi hesaplarda gösterilmiştir (Şekil 4.37.).



Şekil 4.37. Sap2000 plastik dönme istemi (rad)

Plastik Dönme istemi;

$\theta_{p,sol} = 0,0139$ rad (SAP2000'de 448H1 plastik mafsasında okunan dönme değeri)

$\theta_{p,sağ} = 0,0143$ rad (SAP2000'de 448H2 plastik mafsasında okunan dönme değeri)

“TDY2007’de belirtildiği üzere, plastik mafsallı boyu olarak adlandırılan plastik şekil değiştirme bölgesinin uzunluğu (L_p), çalışan doğrultudaki kesit boyutunun (h) yarısına eşit alınacaktır ($L_p = 0,5h$).”

$$L_p = 0,5 \cdot h = 0,5 \cdot 1,30 = 0,65 \text{ m}$$

Plastik Eğrilik istemi;

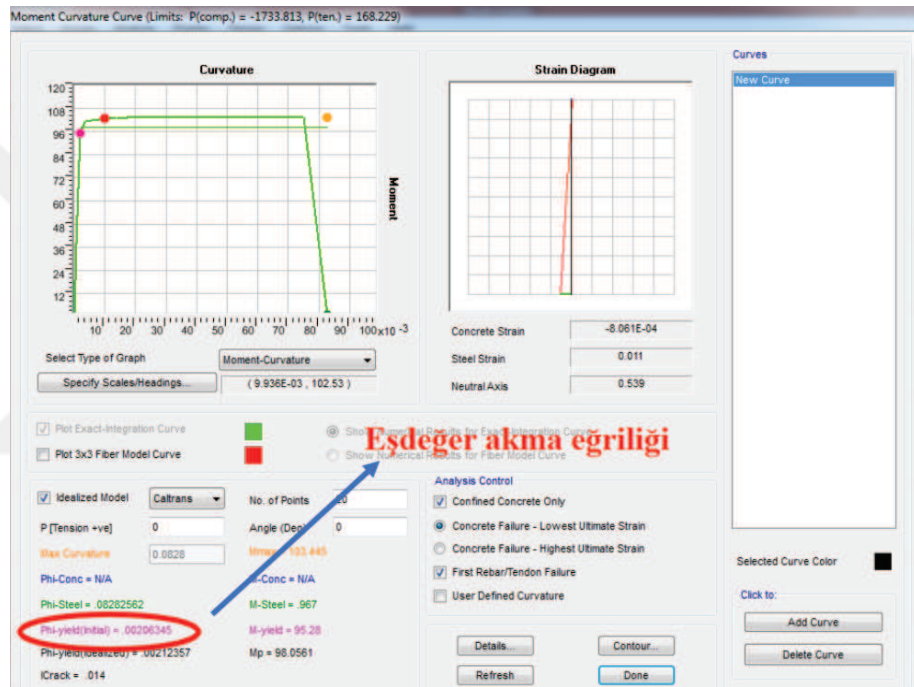
$$\varphi_p = \theta_p / L_p$$

$$\varphi_{p,sol} = 0,0139 / 0,65 = 0,0214 \text{ rad/m}$$

$$\varphi_{p,sağ} = 0,0143 / 0,65 = 0,022 \text{ rad/m}$$

Eşdeğer akma eğriliği;

$\varphi_y = 0,002 \text{ rad/m}$ (Şekil 4.38.'de gösterildiği üzere SAP2000 section designer menüsünden okunan akma eğriliği değeri)



Şekil 4.38. Eşdeğer akma eğriliği (rad/m)

Toplam Eğrilik istemi;

$$\varphi_t = \varphi_p + \varphi_y$$

$$\varphi_{t,sol} = 0,0214 + 0,002 = 0,0234 \text{ rad/m}$$

$$\varphi_{t,sağ} = 0,022 + 0,002 = 0,024 \text{ rad/m}$$

Elde edilen toplam eğrilik istemleri için TDY2007'de verilen sınır değerler kontrol edilerek hasar durumu tespit edilecektir.

- “Kesit Minimum Hasar Sınırı (MN) için kesitin en dış lifindeki beton basınç birim şekildeğiştirmesi ile donatı çeliği birim şekildeğiştirmesi üst sınırları:

$$(\epsilon_{cu})_{MN} = 0.0035 ; (\epsilon_s)_{MN} = 0.010 \text{ (TDY, 2007).}''$$

- “Kesit Güvenlik Sınırı (GV) için etriye içindeki bölgenin en dış lifindeki beton basınç birim şekildeğiştirmesi ile donatı çeliği birim şekildeğiştirmesi üst sınırları:

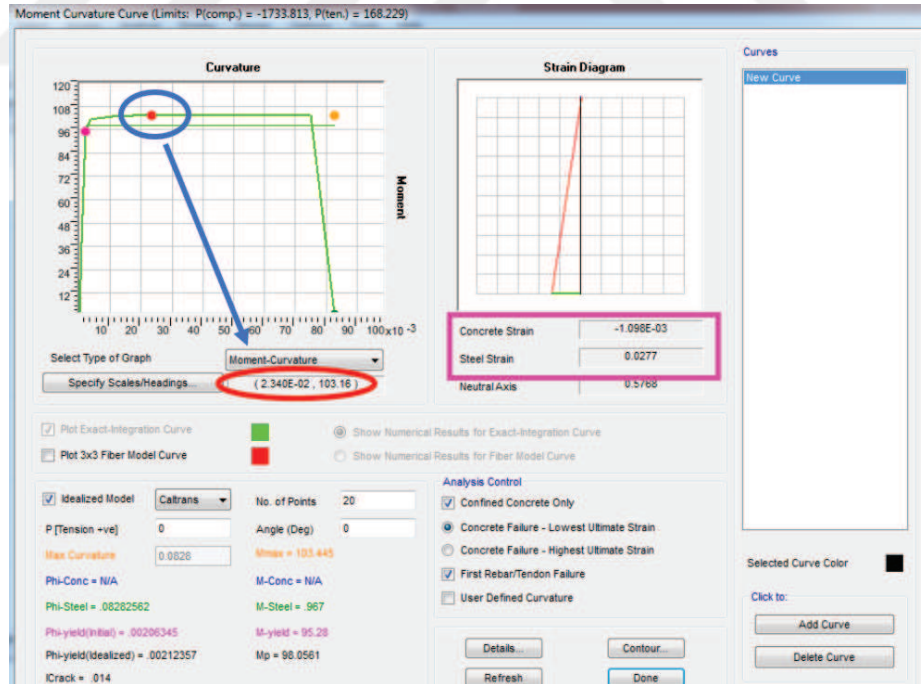
$$(\epsilon_{cu})_{GV} = 0.0035 + 0.01 (\rho_s / \rho_{sm}) \leq 0.0135 ; (\epsilon_s)_{GV} = 0.040 \text{ (TDY, 2007).}''$$

- “Kesit Göçme Sınırı (GÇ) için etriye içindeki bölgenin en dış lifindeki beton basınç birim şekildeğiştirmesi ile donatı çeliği birim şekildeğiştirmesi üst sınırları:

$$(\epsilon_{cg})_{GC} = 0.004 + 0.014 (\rho_s / \rho_{sm}) \leq 0.018 ; (\epsilon_s)_{GC} = 0.060 \text{ (TDY, 2007).}''$$

$\phi_{t,sol} = 0,0234 \text{ rad/m}$ için birim uzama değerleri,

$(\epsilon_{cu}) = 0,001098$ ve $(\epsilon_s) = 0,0277$ olarak moment eğrilik ilişkisi grafiğinden bulunmaktadır (Şekil 4.39.).



Şekil 4.39. Toplam eğrilik için birim deformasyon değerleri

$\varphi_{t,sağ} = 0,024$ rad/m için birim uzama değerleri,
 $(\epsilon_{cu}) = 0,00111$ ve $(\epsilon_s) = 0,0285$ olarak moment eğrilik ilişkisi grafiğinden bulunmaktadır.

Kesitin toplam eğrilik isteminin birim uzama sınır değerleri için kontrol edildiğinde, beton malzemesi için şekil değiştirme sınır değeri minimum hasar bölgesi için belirlenen 0,0035 değerinden daha düşük olduğu ve beton malzemesinde hasar seviyesinin minimum hasar sınırı içinde kaldığı görülmektedir. Ancak donatı malzemesi için hasar sınır değerleri kontrol edildiğinde, toplam eğrilik isteminin minimum hasar sınırı ile güvenlik sınırı arasında kaldığı ve kesitin Belirgin Hasar bölgesinde olduğu belirlenmiştir.

4.3.3. Kolonlarda hasar durumunun incelenmesi

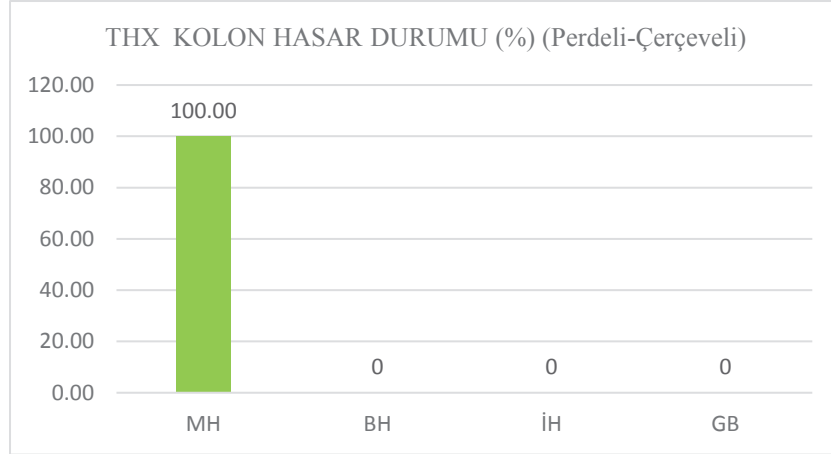
Yapının her katı için kolonlarda oluşan plastik mafsalların plastik dönme istemleri okunarak, her bir elemanın hasar sınırı tespit edilmiştir. X ve Y yönünde 3 farklı deprem için uygulanan deprem etkilerinden, en elverişsiz olan sonuçlar kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, depremin X ve Y yönlerinde her kat için kolonlarda oluşan hasar dağılımları perdeli-çerçeveli model için Tablo 4.15.'de, çerçeveli model için ise Tablo 4.16.'da gösterilmiştir. Perdeli-çerçeveli ve çerçeveli olarak modellenen her iki yapının performans seviyesinin değerlendirilebilmesi için, her katta bulunan hasar dağılımları Şekil 4.40., Şekil 4.41., Şekil 4.42. ve Şekil 4.43.'de yapının toplam hasar dağılımları olarak gösterilmiştir.

Tablo 4.15. Perdeli-çerçevesel model için katlarda oluşan kolon hasar dağılımları

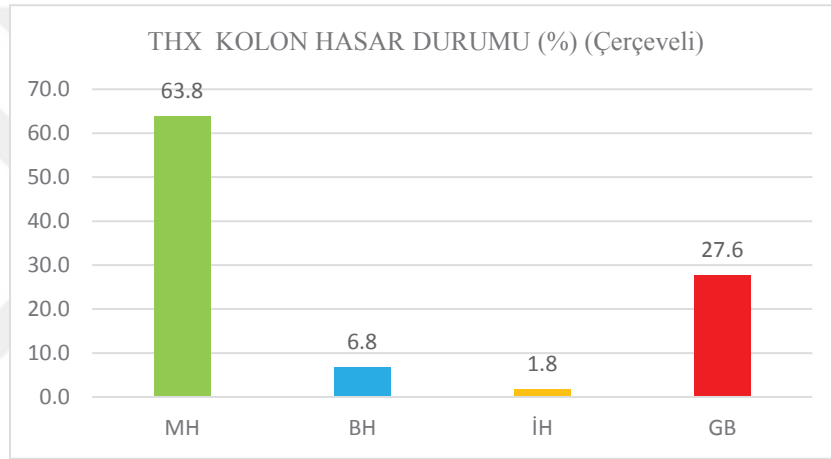
THX-HASAR DAĞILIMLARI (%)					THY-HASAR DAĞILIMLARI (%)			
KAT	MH	BH	İH	GB	MH	BH	İH	GB
1	100	0	0	0	100	0	0	0
2	100	0	0	0	100	0	0	0
3	100	0	0	0	100	0	0	0
4	100	0	0	0	100	0	0	0
5	100	0	0	0	100	0	0	0
6	100	0	0	0	100	0	0	0
7	100	0	0	0	100	0	0	0
8	100	0	0	0	100	0	0	0
9	100	0	0	0	100	0	0	0
10	100	0	0	0	100	0	0	0
11	100	0	0	0	100	0	0	0
12	100	0	0	0	100	0	0	0
13	100	0	0	0	100	0	0	0
14	100	0	0	0	100	0	0	0
15	100	0	0	0	100	0	0	0
16	100	0	0	0	100	0	0	0
17	100	0	0	0	100	0	0	0
18	100	0	0	0	100	0	0	0
19	100	0	0	0	100	0	0	0
20	100	0	0	0	100	0	0	0
21	100	0	0	0	100	0	0	0
22	100	0	0	0	100	0	0	0
23	100	0	0	0	100	0	0	0
24	100	0	0	0	100	0	0	0
25	100	0	0	0	100	0	0	0
26	100	0	0	0	100	0	0	0
27	100	0	0	0	100	0	0	0
28	100	0	0	0	100	0	0	0
29	100	0	0	0	100	0	0	0
30	100	0	0	0	100	0	0	0

Tablo 4.16. Çerçeveseli model için katlarda oluşan kolon hasar dağılımları

KAT	THX-HASAR DAĞILIMLARI (%)				THY-HASAR DAĞILIMLARI (%)			
	MH	BH	İH	GB	MH	BH	İH	GB
1	0	0	0	100	0	0	0	100
2	0	0	0	100	0	0	0	100
3	45	18	18	18	0	0	0	100
4	0	0	0	100	0	0	0	100
5	0	0	0	100	0	0	0	100
6	0	0	0	100	0	0	0	100
7	0	0	0	100	0	0	0	100
8	0	0	0	100	0	0	0	100
9	0	0	0	100	0	0	0	100
10	0	55	36	9	0	0	0	100
11	45	55	0	0	0	0	0	100
12	82	18	0	0	0	0	9	91
13	82	18	0	0	0	0	0	100
14	86	14	0	0	0	0	0	100
15	91	9	0	0	0	0	0	100
16	91	9	0	0	0	0	0	100
17	91	9	0	0	0	0	0	100
18	100	0	0	0	0	0	0	100
19	100	0	0	0	0	0	73	27
20	100	0	0	0	0	86	14	0
21	100	0	0	0	18	64	18	0
22	100	0	0	0	59	32	9	0
23	100	0	0	0	73	18	9	0
24	100	0	0	0	73	27	0	0
25	100	0	0	0	82	18	0	0
26	100	0	0	0	82	18	0	0
27	100	0	0	0	91	9	0	0
28	100	0	0	0	91	9	0	0
29	100	0	0	0	91	9	0	0
30	100	0	0	0	82	18	0	0



Şekil 4.40. Perdeli-çerçeveseli model için x yönü kolonlarda hasar dağılımları



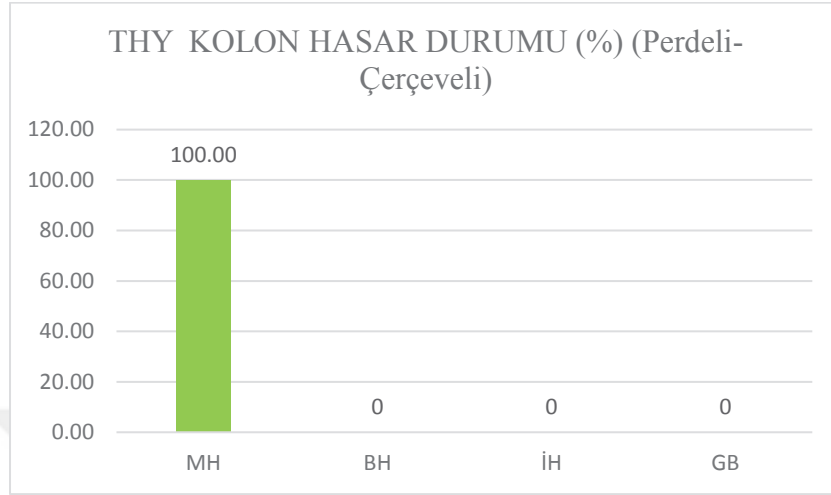
Şekil 4.41. Çerçeveseli model için x yönü kolonlarda hasar dağılımları

Perdeli-çerçeveseli model için Şekil 4.40. ve Şekil 4.42.'de görüleceği üzere kolonlarda minimum hasar sınırını geçen herhangi bir eleman bulunmamaktadır. Tüm kolon elemanları minimum hasar bölgesindedir.

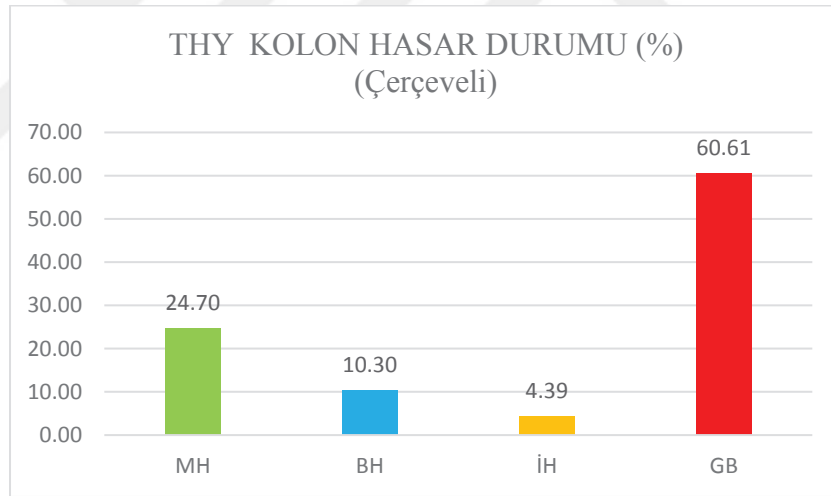
Çerçeveseli model için Şekil 4.41.'de görüleceği üzere X doğrultusunda deprem etkisi altında kolonlarda oluşan hasar dağılımları, %63,8 minimum hasar bölgesinde, %6,8 belirgin hasar bölgesinde, %1,8 ileri hasar bölgesinde, %27,6 göçme bölgesinde bulunmaktadır.

Çerçeveseli model için Şekil 4.43.'te görüleceği üzere Y doğrultusunda deprem etkisi altında kolonlarda oluşan hasar dağılımları, %24,70 minimum hasar bölgesinde,

%10,30 belirgin hasar bölgesinde, %4,39 ileri hasar bölgesinde, %60,61 göçme bölgesinde bulunmaktadır.



Şekil 4.42. Perdeli-çerçevesi model için y yönü kolonlarda hasar dağılımları



Şekil 4.43. Çerçevesi model için y yönü kolonlarda hasar dağılımları

Perdeli-çerçevesi ve çerçevesi olarak modellenen iki yapı için de hasar sınırları tespit edilen kolonlar için yapılan örnek bir hesap aşağıda gösterilmektedir. Çerçevesi model için, 1.kat (+0.00 - +3.50 Kotu arası) kolonlarından 80/140 boyutundaki 431H1 ve 431H2 plastik mafsallarına sahip 1190 numaralı kolon için plastik dönme istemi SAP2000'den okunmuş ve hasar bölgesi hesaplarda gösterilmiştir.

Plastik Dönme istemi ;

$\theta_{p,alt} = 0,073 \text{ rad}$ (SAP2000’de 431H1 plastik mafsalında okunan dönme değeri)

$\theta_{p,üst} = 0,0215 \text{ rad}$ (SAP2000’de 431H2 plastik mafsalında okunan dönme değeri)

“TDY2007 madde 7.6.4.1 gereğince, Plastik mafsal boyu olarak adlandırılan plastik şekil değiştirme bölgesinin uzunluğu (L_p), çalışan doğrultudaki kesit boyutunun (h) yarısına eşit alınacaktır ($L_p = 0,5h$).”

$$L_p = 0,5 * h = 0,5 * 0,80 = 0,40 \text{ m}$$

Plastik Eğrilik istemi ;

$$\varphi_p = \theta_p / L_p$$

$$\varphi_{p,alt} = 0,073 / 0,40 = 0,1825 \text{ rad/m}$$

$$\varphi_{p,üst} = 0,0215 / 0,40 = 0,0537 \text{ rad/m}$$

Eşdeğer akma eğriliği;

$\varphi_y = 0,0036 \text{ rad/m}$ (SAP2000 section designer menüsünden okunan akma eğriliği değeri)

Toplam Eğrilik istemi;

$$\varphi_t = \varphi_p + \varphi_y$$

$$\varphi_{t,alt} = 0,1825 + 0,0036 = 0,1861 \text{ rad/m}$$

$$\varphi_{t,üst} = 0,0537 + 0,0036 = 0,0573 \text{ rad/m}$$

Elde edilen toplam eğrilik istemleri için TDY2007’de verilen sınır değerler kontrol edilerek hasar durumu tespit edilecektir.

- “Kesit Minimum Hasar Sınırı (MN) için kesitin en dış lifindeki beton basınç birim şekil değiştirmesi ile donatı çeliği birim şekil değiştirmesi üst sınırları:

$$(\epsilon_{cu})_{MN} = 0.0035 ; (\epsilon_s)_{MN} = 0.010 \text{ (TDY, 2007).”}$$

- “Kesit Güvenlik Sınırı (GV) için etriye içindeki bölgenin en dış lifindeki beton basınç birim şekildeğiştirmesi ile donatı çeliği birim şekildeğiştirmesi üst sınırları:

$$(\epsilon_{cu})_{GV} = 0.0035 + 0.01 (\rho_s / \rho_{sm}) \leq 0.0135 ; (\epsilon_s)_{GV} = 0.040 \text{ (TDY, 2007).}”$$

- “Kesit Göçme Sınırı (GÇ) için etriye içindeki bölgenin en dış lifindeki beton basınç birim şekildeğiştirmesi ile donatı çeliği birim şekildeğiştirmesi üst sınırları:

$$(\epsilon_{cg})_{GC} = 0.004 + 0.014 (\rho_s / \rho_{sm}) \leq 0.018 ; (\epsilon_s)_{GC} = 0.060 \text{ (TDY, 2007).}”$$

$\phi_{t,alt} = 0,1861 \text{ rad/m}$ için birim uzama değerleri,

$(\epsilon_{cu}) = 0,00833$ ve $(\epsilon_s) = 0,0983$ olarak moment eğrilik ilişkisi grafiğinden bulunmaktadır.

$\phi_{t,üst} = 0,0573 \text{ rad/m}$ için birim uzama değerleri,

$(\epsilon_{cu}) = 0,00247$ ve $(\epsilon_s) = 0,0394$ olarak moment eğrilik ilişkisi grafiğinden bulunmaktadır.

Kesitin toplam eğrilik isteminin birim uzama sınır değerleri için kontrol edildiğinde, beton malzemesi için şekil değiştirme sınır değeri minimum hasar bölgesi için belirlenen 0,0035 değerini aştığı ve beton malzemesinde hasar seviyesinin belirgin hasar bölgesinde olduğu görölmektedir. Donatı malzemesi için hasar sınır değerleri kontrol edildiğinde, toplam eğrilik isteminin göçme sınırını aştığı ve Göçme Bölgesinde olduğu belirlenmiştir.

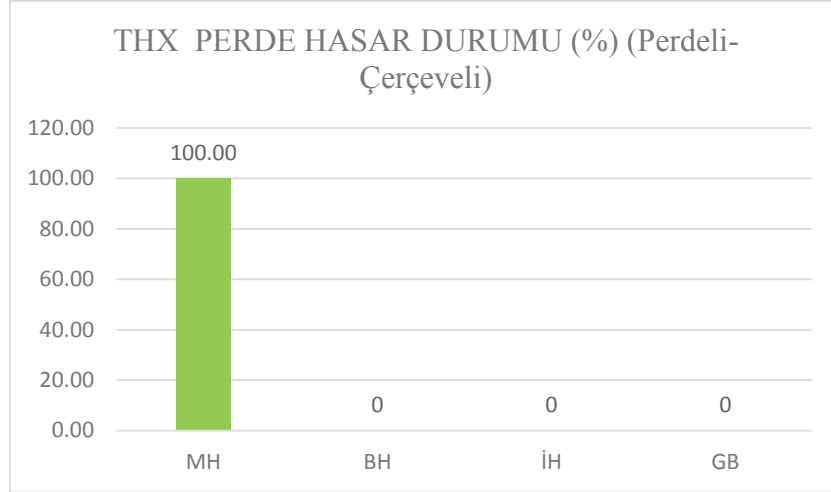
4.3.4. Perdelerde hasar durumunun incelenmesi

Perdeli-Çerçevesel modelin her katı için perdelerde oluşan plastik mafsalların plastik dönme istemleri okunarak, her bir elemanın hasar sınırı tespit edilmiştir. X ve Y yönünde 3 farklı deprem için uygulanan deprem etkilerinden, en elverişsiz olan sonuçlar kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, perdeli-çerçevesel modelde depremin X ve Y yönlerinde her kat için perdelerde oluşan hasar dağılımları için Tablo

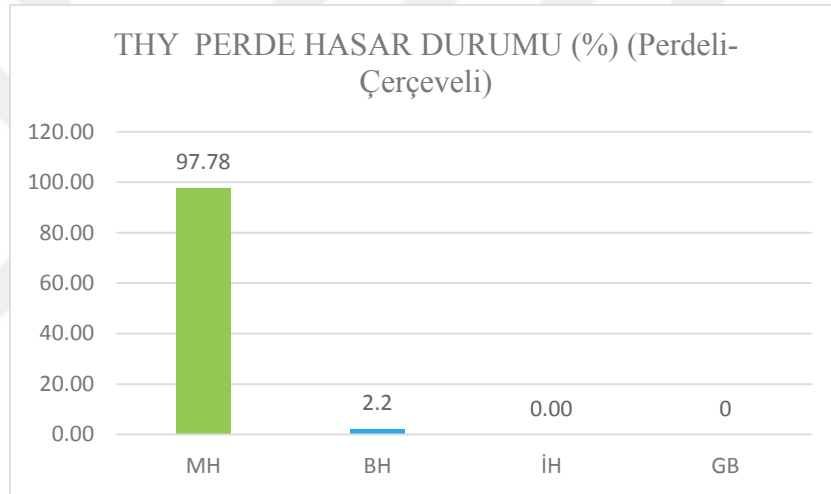
4.17.'de gösterilmiştir. Yapının performans seviyesinin değerlendirilebilmesi için, her katta bulunan hasar dağılımları Şekil 4.44. ve Şekil 4.45.'de yapının toplam hasar dağılımları olarak gösterilmiştir.

Tablo 4.17. Perdeli-çerçevesel model için katlarda oluşan perde hasar dağılımları

KAT	THX-HASAR DAĞILIMLARI (%)				THY-HASAR DAĞILIMLARI (%)			
	MH	BH	İH	GB	MH	BH	İH	GB
1	100	0	0	0	67	33	0	0
2	100	0	0	0	67	33	0	0
3	100	0	0	0	100	0	0	0
4	100	0	0	0	100	0	0	0
5	100	0	0	0	100	0	0	0
6	100	0	0	0	100	0	0	0
7	100	0	0	0	100	0	0	0
8	100	0	0	0	100	0	0	0
9	100	0	0	0	100	0	0	0
10	100	0	0	0	100	0	0	0
11	100	0	0	0	100	0	0	0
12	100	0	0	0	100	0	0	0
13	100	0	0	0	100	0	0	0
14	100	0	0	0	100	0	0	0
15	100	0	0	0	100	0	0	0
16	100	0	0	0	100	0	0	0
17	100	0	0	0	100	0	0	0
18	100	0	0	0	100	0	0	0
19	100	0	0	0	100	0	0	0
20	100	0	0	0	100	0	0	0
21	100	0	0	0	100	0	0	0
22	100	0	0	0	100	0	0	0
23	100	0	0	0	100	0	0	0
24	100	0	0	0	100	0	0	0
25	100	0	0	0	100	0	0	0
26	100	0	0	0	100	0	0	0
27	100	0	0	0	100	0	0	0
28	100	0	0	0	100	0	0	0
29	100	0	0	0	100	0	0	0
30	100	0	0	0	100	0	0	0



Şekil 4.44. Perdeli-çerçevesi model için x yönü perdelerde hasar dağılımları



Şekil 4.45. Perdeli-çerçevesi model için y yönü perdelerde hasar dağılımları

Şekil 4.44. ve 4.45.'de görüleceği üzere perdelerde Y yönü deprem doğrultusunda %2,2 belirgin hasar bölgesinde iken, diğer tüm perde elemanları hem X hem de Y yönü deprem doğrultusunda minimum hasar bölgesindedir.

Perdeli-çerçevesi modellenen yapı için hasar sınırları tespit edilen perdeler için yapılan örnek bir hesap aşağıda gösterilmektedir. Çerçevesi model için, 1.kat (+0.00 - +3.50 Kotu arası) perdelerinden 280/40 boyutundaki 54H1 plastik mafsalına sahip 54 numaralı perde için plastik dönme istemi SAP2000'den okunmuş ve hasar bölgesi hesaplarda gösterilmiştir. Perde elemanlarda daha önceki bölümlerde anlatıldığı üzere plastik mafsal ataması sadece alt ucuna yapılmaktadır.

Plastik Dönme istemi ;

$\theta_{p,alt} = 0,00234$ rad (SAP2000’de 54H1 plastik mafsalında okunan dönme değeri)

“TDY2007 madde 7.6.4.1 gereğince, Plastik mafsal boyu olarak adlandırılan plastik şekil değiştirme bölgesinin uzunluğu (L_p), çalışan doğrultudaki kesit boyutunun (h) yarısına eşit alınacaktır ($L_p = 0,5h$).”

$$L_p = 0,5 \cdot h = 0,5 \cdot 2,80 = 1,40 \text{ m}$$

Plastik Eğrilik istemi ;

$$\varphi_p = \theta_p / L_p$$

$$\varphi_{p,alt} = 0,00234 / 1,40 = 0,00167 \text{ rad/m}$$

Eşdeğer akma eğriliği;

$\varphi_y = 0,000948$ rad/m (SAP2000 section designer menüsünden okunan akma eğriliği değeri)

Toplam Eğrilik istemi;

$$\varphi_t = \varphi_p + \varphi_y$$

$$\varphi_{t,alt} = 0,00167 + 0,000948 = 0,00257 \text{ rad/m}$$

Elde edilen toplam eğrilik istemleri için TDY2007’de verilen sınır değerler kontrol edilerek hasar durumu tespit edilecektir.

- “Kesit Minimum Hasar Sınırı (MN) için kesitin en dış lifindeki beton basınç birim şekildeğiştirmesi ile donatı çeliği birim şekildeğiştirmesi üst sınırları:

$$(\epsilon_{cu})_{MN} = 0.0035 ; (\epsilon_s)_{MN} = 0.010 \text{ (TDY, 2007).”}$$

- “Kesit Güvenlik Sınırı (GV) için etriye içindeki bölgenin en dış lifindeki beton basınç birim şekildeğiştirmesi ile donatı çeliği birim şekildeğiştirmesi üst sınırları:

$$(\epsilon_{cu})_{GV} = 0.0035 + 0.01 (\rho_s / \rho_{sm}) \leq 0.0135 ; (\epsilon_s)_{GV} = 0.040 \text{ (TDY, 2007).”}$$

- “Kesit Göçme Sınırı (GÇ) için etriye içindeki bölgenin en dış lifindeki beton basınç birim şekildeğiştirmesi ile donatı çeliği birim şekildeğiştirmesi üst sınırları:

$$(\epsilon_{cg})_{GC} = 0.004 + 0.014 (\rho_s / \rho_{sm}) \leq 0.018 ; (\epsilon_s)_{GC} = 0.060 \text{ (TDY, 2007).}”$$

$\phi_{t,alt} = 0,00257$ rad/m için birim uzama değerleri,

$(\epsilon_{cu}) = 0,000963$ ve $(\epsilon_s) = 0,006$ olarak moment eğrilik ilişkisi grafiğinden bulunmaktadır.

Kesitin toplam eğrilik isteminin birim uzama sınır değerleri için kontrol edildiğinde hem beton malzemesi hem de donatı çeliği malzemesi için şekil değiştirme sınır değeri minimum hasar bölgesi için belirlenen 0,0035 değerinden daha düşük ve hasar seviyesinin minimum hasar bölgesinde olduğu görölmektedir.

BÖLÜM 5. SONUÇLAR

Deprem etkisi altında 30 katlı 105m yüksekliğinde betonarme yüksek bir binanın 2 farklı betonarme taşıyıcı sistem ile zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizleri yapılmıştır. Yapılan analizler neticesinde farklı deprem etkileri altında taşıyıcı sistemi perdeli-çerçeveleli olan yapı ile taşıyıcı sistemi çerçeveleli olan iki yapının deprem davranışları ve deprem performansları belirlenmiştir. Her iki yapı için hasar durumları incelendiğinde hedeflenen 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan depremde ‘Can Güvenliği’ performans seviyesinin sağlanamadığı ve yapıların Göçme bölgesinde olduğu görülmektedir. İki farklı yapı için yapılan analizler neticesinde elde edilen sonuçlar aşağıda açıklanmıştır.

Betonarme taşıyıcı sistemi perdeli-çerçeveleli olan model ve çerçeveleli olan model için Landers deprem etkisi altında tepe noktası yerdeğiştirmesi zaman tanım alanı için Şekil 4.30.’da sunulmuştur. Şekilden de görüldüğü üzere perdeli-çerçeveleli modelin en büyük yerdeğiştirmesi x-doğrultusu boyunca 28cm ve y-doğrultusu boyunca 43cm civarındadır. Çerçeveleli modelde ise en büyük yer değıştirme x-doğrultusu boyunca 48cm ve y-doğrultusu boyunca 43cm civarındadır. Plastik mafsalların oluşumu yaklaşık olarak perdeli-çerçeveleli modelde 2. saniyede ve çerçeveleli modelde ise 8. saniyede olmakla birlikte kalıcı yerdeğıştirmeler 25. saniyeden sonra belirginleşmektedir.

Betonarme taşıyıcı sistemi perdeli-çerçeveleli olan model ve çerçeveleli olan model için Imperial-Valley deprem etkisi altında tepe noktası yerdeğıştirmesi zaman tanım alanı için Şekil 4.31.’de sunulmuştur. Şekilden de görüldüğü üzere perdeli-çerçeveleli modelin en büyük yerdeğıştirmesi x-doğrultusu boyunca 48cm ve y-doğrultusu boyunca 65cm civarındadır. Çerçeveleli modelde ise en büyük yer değıştirme x-doğrultusu boyunca 58cm ve y-doğrultusu boyunca 69cm civarındadır. Plastik mafsalların oluşumu yaklaşık olarak perdeli-çerçeveleli modelde 3. saniyede ve çerçeveleli modelde ise 4. saniyede olmakla birlikte kalıcı yerdeğıştirmeler 6. saniyeden sonra belirginleşmektedir.

Betonarme taşıyıcı sistemi perdeli-çerçevesi olan model ve çerçevesi olan model için Düzce K-G deprem etkisi altında tepe noktası yerdeğiştirmesi zaman tanım alanı için Şekil 4.32.'de sunulmuştur. Şekilden de görüldüğü üzere perdeli-çerçevesi modelin en büyük yerdeğiştirmesi x-doğrultusu boyunca 30cm ve y-doğrultusu boyunca 95cm civarındadır. Çerçevesi modelde ise en büyük yer değiştirme hem x-doğrultusu hem de y-doğrultusu boyunca 27. saniye civarında 200cm i aşarak yapının güç tükenmesine eriştiğı ve yapının göçme durumuna doğru ilerlediğı görülmektedir. Hem perdeli-çerçevesi hem de sadece çerçevesi yapı modelinde ilk saniyelerden itibaren plastik mafsall oluşumları meydana gelmekte ve yapılardaki kalıcı yerdeğiştirmeler 3. saniyeden sonra belirginleşmektedir.

Perdeli-çerçevesi yapı modeli için eleman hasar durumları TDY2007'ye göre kontrol edildiğinde X yönü deprem doğrultusu için, 1500 adet kirişten 1033 adedi minimum hasar bölgesinde, 375 adedi belirgin hasar bölgesinde, 2 adedi ileri hasar bölgesinde, 90 adedi göçme bölgesinde bulunmaktadır. Y yönü deprem doğrultusu için, 918 adedi minimum hasar bölgesinde, 403 adedi belirgin hasar bölgesinde, 126 adedi ileri hasar bölgesinde, 53 adedi göçme bölgesinde bulunmaktadır. Kolon elemanlarında ise X ve Y deprem doğrultularında tüm elemanlar minimum hasar bölgesinde bulunmaktadır. Perde elemanlarında ise X deprem doğrultusunda tüm perde elemanları minimum hasar bölgesinde iken, Y deprem doğrultusunda 2 adet perde belirgin hasar bölgesindedir.

Çerçevesi yapı modeli için eleman hasar durumları TDY2007'ye göre kontrol edildiğinde X yönü deprem doğrultusu için, 1740 adet kirişten 947 adedi minimum hasar bölgesinde, 276 adedi belirgin hasar bölgesinde, 39 adedi ileri hasar bölgesinde, 478 adedi göçme bölgesinde bulunmaktadır. Y yönü deprem doğrultusu için, 716 adedi minimum hasar bölgesinde, 229 adedi belirgin hasar bölgesinde, 53 adedi ileri hasar bölgesinde, 742 adedi göçme bölgesinde bulunmaktadır. Kolon elemanlarında 660 adet kolondan 421 adedi minimum hasar bölgesinde, 45 adedi belirgin hasar bölgesinde, 12 adedi ileri hasar bölgesinde, 182 adedi göçme bölgesinde bulunmaktadır. Y yönü deprem doğrultusu için, 163 adedi minimum hasar bölgesinde, 68 adedi belirgin hasar bölgesinde, 29 adedi ileri hasar bölgesinde, 400 adedi göçme bölgesinde bulunmaktadır.

Yapıların deprem etkileri altında plastik mafsall oluşumları incelendiğinde, her iki model için de hedef performans seviyesinin sağlanamadığı, ancak perdeli-çerçevesi modelin

hedef performans seviyesine çok daha yakın olduğu, özellikle düşey taşıyıcı kolon ve perdelerde hasarların perdeli modelde minimum seviyede olduğu görülmektedir.

Perdeli-çerçeve model için plastik mafsall oluşumları, çerçeve yapıdan daha önceki saniyelerde meydana gelmiştir.

Yapıların tepe noktası yerdeğiştirme-zaman grafikleri incelendiğinde, çerçeve model için yatay yerdeğiştirmeler perdeli modelden daha fazladır.

Çerçeve modelin periyodu, Perdeli-Çerçeve modelden yaklaşık %50 daha büyük olarak bulunmuştur.

Tez kapsamında kullanılan deprem kayıtlarından Düzce K-G deprem etkisinin yapıda diğer deprem kayıtlarından daha fazla hasar oluşturmuştur. Özellikle bu deprem kaydı için çerçeve model yerdeğiştirme-zaman grafikleri incelendiğinde 27. saniyeden sonra yapının güç tükenmesine eriştiği ve göçme durumuna doğru ilerlediği, perdeli modelde ise kalıcı hasarların olduğu, ancak yerdeğiştirmelerin sınır değerler içinde kaldığı görülmüştür.

Perdeli-çerçeve model için, çok katlı yapının tasarımında yatay rijitliği sağlayan perdelerin deprem etkilerini büyük ölçüde aldığı ve diğer çerçeve sistem kolon ve kiriş elemanlarında deprem tesirlerinin çerçeve model için elde edilen değerlerden daha az olduğu görülmüştür.

Tez kapsamında yapılan tüm analizler ve değerlendirmeler neticesinde betonarme çok katlı yapıların tasarımında ve taşıyıcı sistem seçiminde perde elemanların kullanılmasının, yapı elemanlarının hasar seviyelerini önemli oranda azalttığı ve yapının performans seviyesini artıracığı tespit edilmiştir.

KAYNAKLAR

Anıl, Ö., Yapıların Lineer Olmayan Analizi Ders Notları, Ankara, 2015.

Aydinoğlu, N., Yüksek Binaların Deprem Tasarımında Yeni Yaklaşımlar, İstanbul Teknik Üniversitesi, Betonarme Yapılar Semineri, 2009.

Çağlar, N., Öztürk, H., Demir, A., Akkaya, A., TDY2007'ye Göre Tasarlanmış Betonarme Bir Yapının Doğrusal Elastik Olmayan Analiz Yöntemleri ile İncelenmesi.

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

Celep, Z., Kumbasar, N., Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı, Beta Dağıtım, İstanbul, 2004.

Celep, Z., Betonarme Sistemlerde Doğrusal Olmayan Davranış: Plastik Mafsallı Kabulü ve Çözümleme, Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, İstanbul, 16-20 Ekim 2007, İstanbul.

Celep, Z., Betonarme Taşıyıcı Sistemlerde Kapasite Tasarımı, İnşaat Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi, Mesleki Eğitim Semineri, Ekim 2008, İstanbul.

Darılmaz, K. 2015. Betonarme Sistemlerin Performansını Tasarım Aşamasında Etkileyen Faktörler. TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası Balıkesir Şubesi.

DBYBHY, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, 2007.

Dok, G. 2011. 32 Katlı Betonarme bir yapının deprem performansının zaman tanım alanında hesap yöntemi uygulanarak belirlenmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi.

Ersoy, U., Özcebe, G., Sarılmış Betonarme Kesitlerde Moment-Eğrilik İlişkisi Analitik Bir İrdeleme, İMO Teknik Dergi, 1998 1799-1827, Yazı 129.

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

- Fahjan, Y. 2008. Türkiye deprem yönetmeliği (DBYBHY, 2007) tasarım ivme spektrumuna uygun gerçek deprem kayıtlarının seçilmesi ve ölçeklenmesi. İMO Teknik Dergi, 4423-4444: 292.
- Gözütok, B. 2011. Betonarme yüksek bir yapının deprem performansının zaman tanım alanında doğrusal olmayan çözümleme yöntemi kullanılarak belirlenmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi.
- Karaca, A. 2014. 33 katlı betonarme bir binanın deprem performansının zaman tanım alanında doğrusal elastik olmayan hesap yöntemi ile belirlenmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi.
- Karaduman, A., Döndüren, S. 2004. Çok Katlı Betonarme Yapıların Dinamik Analizi. Türkiye Mühendislik Haberleri 432-2004/4.
- Önem, G., 2011. Yapıların Deprem Etkisi Altında Performansa Dayalı Tasarımı ve Değerlendirmesi. İMO Mesleki Eğitim Semineri.
- Özer, E., Yapı Sistemlerinin Lineer Olmayan Analizi Ders Notları, İstanbul, 2006.
- PEER, Pacific Earthquake Engineering Research (PEER) Center, PEER Strong Motion, 2011 <http://peer.berkeley.edu/smcat/>.
- SAP2000, Integrated Finite Element Analysis And Design Of Structures Basic Analysis Reference Manual, Computers and Structures, 2012, California, USA.
- Tepençelik, A. 2015. Perdeli taşıyıcı sistemlerin zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizi. Gebze Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Deprem ve Yapı Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.
- Uygun, G., Celep, Z., Betonarme Bir Binanın Deprem Güvenliğinin Deprem Yönetmeliği 2007'deki Doğrusal ve Doğrusal Olmayan Yöntemlerle Karşılaştırmalı İncelenmesi, Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, İstanbul, 16-20 Ekim 2007, sf. 269-279.

ÖZGEÇMİŞ

Alptuğ ÖZTÜRK, 19.10.1987 tarihinde Ankara’da doğdu. İlköğretim ve lise eğitimini Ankara’da tamamladı. 2009 yılında Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği bölümünden mezun oldu. 2009-2010 yıllarında askerlik görevini bitirdi. 2010 yılından bu yana Ankara’da Yüksek Proje firmasında statik proje mühendisi olarak görev yapmaktadır.

