



**PERDELİ SİSTEMLERİN HESABI İÇİN
BASİTLEŞTİRİLMİŞ YAPISAL
ANALİZ MODELİ**

Hayrunnisa BALIKCI

**Yüksek Lisans Tezi
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. İlker KAZAZ
2023**

Her hakkı saklıdır.



FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZİ

PERDELİ SİSTEMLERİN HESABI İÇİN BASİTLEŞTİRİLMİŞ YAPISAL
ANALİZ MODELİ

Hayrunnisa BALIKCI

Tez Danışmanı: Prof. Dr. İlker KAZAZ

Anabilim Dalı: İnşaat Mühendisliği

Erzurum

2023

Her hakkı saklıdır

ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

Erzurum Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez içindeki tüm bilgilerin doğru ve tam olduğunu, bilgilerin üretilmesi aşamasında bilimsel etiğe uygun davrandığımı, yararlandığım bütün kaynakları atıf yaparak belirttiğimi beyan ederim.

08 / 08 / 2023

Hayrunnisa BALIKCI

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

PERDELİ SİSTEMLERİN HESABI İÇİN BASİTLEŞTİRİLMİŞ YAPISAL ANALİZ MODELİ

Hayrunnisa BALIKCI

Erzurum Teknik Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. İlker KAZAZ

Betonarme perde elemanlar sağladıkları avantajlar nedeniyle depreme dayanıklı yapı tasarımında yaygın olarak kullanılır. Bu tez kapsamında, analitik modelleme yöntemi yardımıyla betonarme perdeli sistemlerin basitleştirilmiş yapısal analiz modelleri üzerine çalışma yapılmıştır. İncelenmek üzere kat yüksekliği sabit tutularak farklı kat sayılarına sahip model gruplarında, kat alanı sabit tutularak perde boyutları değiştirilmiştir. Perde-çerçeve etkileşimini irdelemek için plak döşemeli ve kirişli olmak üzere iki farklı sistem kullanılmıştır. Boyutlandırması ve tasarımı yapılan modellerin analitik çalışma yardımıyla belirlenen özellikleri kullanılarak basitleştirilmiş yapısal analiz modelleri oluşturulmuştur. Yapısal analiz programları kullanılarak oluşturulan basitleştirilmiş bina modelleri ile analitik çalışma sonuçlarının uyumluluğu incelenmiştir.

2023, 104 sayfa

Anahtar Kelimeler: Perdeli Sistem, Analitik Modelleme, Basitleştirilmiş Yapısal Analiz Modeli, Modal Analiz.

ABSTRACT

MS. Thesis

SIMPLIFIED STRUCTURAL ANALYSIS MODEL FOR CALCULATION OF SHEAR WALL SYSTEMS

Hayrunnisa BALIKCI

Erzurum Technical University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering

Supervisor: Prof. Dr. İlker KAZAZ

Reinforced concrete shear elements are commonly used in earthquake-resistant building design due to the advantages they provide. In this thesis, a study on simplified structural analysis models of reinforced concrete shear wall systems was conducted with the help of using an analytical modelling method. Model groups with different numbers of floors were examined while keeping the floor height constant, and the dimensions of the shear walls were altered while maintaining floor area. In order to examine the wall-frame interaction, two different systems, slab floor and beamed, were used. Simplified structural analysis models were created by using the properties determined through analytical studies of the models sized and designed. The compatibility between the analytical study results and the simplified models created using structural analysis programs was examined.

2023, 104 page

Keywords: Shear Wall System, Analytical Modelling, Simplified Structural Analysis Model, Modal Analysis.

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının planlama ve yürütülmesi süresince bana sabır ve hoşgörüyle yol gösteren, ilgisini, desteğini ve değerli zamanını esirgemeyen, bilgi birikimi ve tecrübelerinden faydalandığım danışman hocam Sayın Prof. Dr. İlker KAZAZ'a teşekkür ederim. Lisans eğitimim sürecinden başlayarak bana kazandırdıkları, mühendislik hayatım boyunca yapacağım çalışmalarda her zaman yol gösterici olacaktır.

Çalışma sürecim boyunca tecrübelerini ve tavsiyelerini benden esirgemeyen kıymetli hocam Dr. Öğr. Üyesi Dilek OKUYUCU'ya ve İnş. Yük. Müh. Erdem ERKMEN'e, motivasyon kaynağım olan arkadaşlarım Zeynep Sıla ÖNCÜ, Hülya HARMANDAR, Çiğdem ÖZDEMİR, Beyza Nur YURTCU ve Ömer GÜRLER'e teşekkürü borç bilirim.

Son olarak tez çalışmasını yürüttüğüm süreç boyunca olduğu gibi bugüne kadar aldığım her kararda arkamda duran aileme, en büyük şanslarım sevgili annem Mükerrerem BALIKCI ve babam Ayhan BALIKCI'ya, çalışmalarına eşlik etmek için gerekirse uykusundan feragat eden canım ablam Emine BALIKCI ve hayatıma mutluluk katan kardeşim Ahmet Tunahan BALIKCI'ya sonsuz teşekkür ederim.

Hayrunnisa BALIKCI

Temmuz 2023

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ	1
1.1. Betonarme Perdeler	2
1.2. Betonarme Perdeli Sistemler	5
1.3. Betonarme Perdelerin Kapasite Tasarımı	6
1.4. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	11
2. KAYNAK ÖZETLERİ	13
2.1. Perdeli Sistemlerin Davranışı	13
2.2. Betonarme Perde Elemanlar için Sonlu Eleman Modelleri	14
2.2.1. Mikro modeller	14
2.2.2. Makro modeller	15
3. ANALİTİK MODELLEME YÖNTEMİ	18
3.1. Yapılan Kabuller	19
3.2. Analitik Statik Analiz Yöntemi	19
3.2.1. Kirişlerden perdeler aktarılan momentin etkisi (η hesabı)	24
3.3. Analitik Modal Analiz Yöntemi	26
4. MODELLERİN SEÇİMİ ve TASARIMI	31
4.1. Modellerin Temel Özellikleri	31
4.2. Modellerin Taşıyıcı sistem Elemanlarının Boyutlandırılması	33
4.2.1. Döşeme tasarımları ve yüklerin belirlenmesi	33
4.2.2. Kolon ön boyutlandırması	35
4.2.3. Plak döşemeli sistemlerde efektif kiriş genişliği	36
4.2.4. Kirişli döşemeli sistemlerin kiriş boyutlandırması	38

4.2.5. Perde ön boyutlandırması.....	39
4.2.6. Perde donatı koşullarının belirlenmesi.....	40
5. TASARIM SPEKTRUMUNUN BELİRLENMESİ.....	43
6. MODELLERE ANALİTİK MODAL ANALİZ UYGULANMASI.....	47
7. REFERANS MODELLERİNİN OLUŞTURULMASI	52
7.1. SAP2000 Modellerinin Oluşturulması.....	52
7.2. Referans Modeller ile Analitik Modal Analizlerin Karşılaştırılması.....	53
8. ANALİTİK YÖNTEMLE TASARIM SPEKTRUMU ALTINDA ÇÖZÜM.....	55
8.1. Taban kesme kuvveti düzeltmesi	59
8.2. Perde Kesit Hesabı	63
9. BASİTLEŞTİRİLMİŞ YAPISAL ANALİZ MODELİ	65
9.1. SeismoStruct Modellerinin Oluşturulması.....	67
9.2. Basitleştirilmiş Modelde Kullanılan Eleman Türleri	68
9.3. Yay Elemanların Parametrelerinin Tanımlanması	70
9.3.1. Kayma yayı parametrelerinin hesabı.....	71
9.3.2. Dönme yayı parametrelerinin hesabı	74
9.4. Elastik Çerçeve Elemanların Parametrelerinin Tanımlanması	76
9.5. Modal Kütle Elemanlarının Tanımlanması.....	77
9.6. Analitik Modelleme ile Basitleştirilmiş Yapısal Analiz Modellerinin Değerlendirilmesi	77
10. SONUÇ ve ÖNERİLER	80
KAYNAKLAR	82
EKLER.....	85
EK 1	85
EK 2	90
EK 3	96
EK 4	97
EK 5	100
EK 6	101
EK 7	102
EK 8	103
EK 9	104

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
A_c	Perde enkesit alanı
A_{ci}	Kolon enkesit alanı
b	Efektif kiriş genişliği
b_w	Denklem 4.6'ya göre kiriş gövde genişliği
c	Tarafsız eksen derinliği
c_1	Denklem 4.4'e göre kolonun hesap doğrultusundaki boyutu
C_1, C_2, C_3, C_4	Hareket denklemi sabit sayıları
D	Dayanım fazlalığı katsayısı
E	Elastisite modülü
El	Eğilme rijitliği
f_{ck}	Betonun karakteristik basınç dayanımı
F_1	Yerel zemin etki katsayısı
F_S	Yerel zemin etki katsayısı
F_y	Akma dayanımı
g	Yer çekimi ivmesi
GA	Kayma rijitliği
h	Kat yüksekliği
H	Yapı yüksekliği
h_1	Bileşke kuvvetin etki ettiği perde yüksekliği
H_1	Yapının eğilme yüksekliği üstünde kalan yüksekliği
h_{cc}	Eğilme yüksekliği
h_f	Döşeme kalınlığı
H_{cr}	Kritik perde yüksekliği
H_w	Perde yüksekliği
I	Atalet momenti
kN	Kilonewton
K_y	Başlangıç rijitliği
L	Kat planı açıklığı

l_1	Denklem 4.4'e göre hesap yapılan doğrultudaki açıklık
L_F	Perde başlığının plandaki uzunluğu
l_n	Döşeme kısa kenar uzunluğu
l_p	Denklem 4.6'ya göre kirişin iki moment sıfır noktası arasındaki uzunluk
L_w	Perde gövdesinin plandaki uzunluğu
m	Uzun kenar açıklığının kısa kenara oranı
M	Toplam moment
$M_B(x)$	Perde eğilme momenti
M_{dt}	Perde elemanın tabanındaki tasarım momenti
M_l^j, M_r^i	Kiriş uç momentleri
M_{pt}	Perde elemanın tabanındaki kapasite moment
Mpa	Megapascal
$M_S(x)$	Çerçeve momenti
n, N	Kat sayısı
N_d	Kolona etkiyen eksenel yükü
N_{dm}	Perdeye etkiyen eksenel yükü
Pd	Döşeme tasarım yükü
R_a	Deprem yükü azaltma katsayısı
S	Toplam kesme kuvveti
S_1	1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı
S_{ae}	Yatay elastik tasarım spektral ivmeleri
$S_B(x)$	Perde kesme kuvveti
S_{D1}, S_{DS}	Tasarım spektral ivme katsayıları
sn	Saniye
$S_S(x)$	Çerçeve kesme kuvveti
S_S	Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı
T_1	Yapının doğal titreşim periyodu
T_A, T_B	Yatay tasarım köşe periyotları
T_L	Sabit yer değiştirme bölgesine geçiş periyodu
t_w	Perde kalınlığı
V_0	Denklem 8.1'e göre perde taban kesme kuvveti

V_e	Tasarım kesme kuvveti
V_d	Hesaplanan kesme kuvveti
V_l, V_r	Kiriş uç kesme kuvvetleri
V_{max}	Perde elemanın tabanındaki kesme kuvveti
W	Toplam ağırlık
w_1	Yanal yük
ω	Bir eğilme kirişinin doğal frekansı
$w(x, t)$	Modal analiz yükleme terimi
$y(x)$	Kiriş yatay sapması
η	Perde elemana bağlı kirişlerin etkisinin hesaplandığı parametre
α_H	Yapı davranış katsayısı
α_s	Toplam sürekli kenar uzunluğunun toplam kenar uzunluğuna oranı
θ_w	Maksimum dönme değeri
ϕ_l	Kiriş kord dönme açısı

Kısaltmalar

TBDY 2018	Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018
BKS	Bina Kullanım Sınıfı
DTS	Deprem Tasarım Sınıfı
BYS	Bina Yükseklik Sınıfı

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Boşluksuz perde.....	2
Şekil 1.2. (a) kısa perde, (b) narin perde.....	3
Şekil 1.3. (a) boşluklu perde, (b) bağ kirişli perde.....	4
Şekil 1.4. (a) dikdörtgen kesitli, (b) T, L, C, I kesitli, (c) bağ kirişli perdeler.....	4
Şekil 1.5. Perde-çerçeve etkileşimi.....	6
Şekil 2.1. Kabeyasawa et al. (1983) tarafından önerilen üç düşey çubuklu eleman modeli	16
Şekil 2.2. Vulcano and Bertero (1987) perde modelinden eksenel yay ilişkileri (Yılmaz 2014).	17
Şekil 3.1. Kesme-Eğilme Elemanının Matematiksel Modeli (a) kesme-eğilme elemanı, (b) eğilme elemanı, (c) kesme elemanı (Kazaz and Gülkan 2012).	20
Şekil 3.2. Aktarılan kiriş momentlerini ve dağıtılan momenti üretmek için perde-kiriş sistemin deformasyon konfigürasyonu (Kazaz and Gülkan 2012).	24
Şekil 3.3. Frekans katsayısının değişimi (Heidebrecht ve Stafford Smith 1973).....	28
Şekil 4.1. İncelenen yapı modellerine ait örnek kat planı.....	31
Şekil 4.2. Örnek bir döşeme enkesiti	34
Şekil 4.3. Eşdeğer kiriş konsepti (Ayazoğlu ve Erkuş 2015)	37
Şekil 4.4. Etkili tabla genişliği.....	38
Şekil 4.5. Perde donatı koşulları (TBDY 2018).....	41
Şekil 4.6. Perde donatı koşulları (TBDY 2018).....	42
Şekil 5.1. Tasarım spektrumu	46
Şekil 6.1. Analitik modal analiz sonucu elde edilen normalize edilmiş mod şekilleri örneği.	48
Şekil 6.2. Analitik modal analiz sonucu elde edilen normalize edilmiş mod şekilleri örneği.	49
Şekil 6.3. Yapı davranış katsayısı-yapı kat sayısı ilişkisi	50
Şekil 6.4. Sırasıyla plak döşemeli ve kirişli döşemeli sistemlerin yapı davranış katsayısı- perde oranı ilişkileri.	50
Şekil 6.5. Sırasıyla plak döşemeli ve kirişli döşemeli sistemlerin yapı davranış katsayısı- birinci mod periyodu ilişkileri.	51
Şekil 7.1. SAP2000 modeli örnekleri	52

Şekil 7.2. (a) U kesitli perde burulma rijitlikleri (Bora 2017), (b) SAP2000 modellerinde kullanılan rijit elemanlar.....	53
Şekil 7.3. SAP2000 modelleri ve analitik modelleme modal analiz sonuçlarına göre ilk mod periyotlarının karşılaştırılması.	54
Şekil 7.4. İlk mod periyotlarının SAP200 ve analitik modeller için kat sayısına göre dağılımları.....	54
Şekil 8.1. 10-3-P modeline ait ilk 5 mod ve SRSS ile birleştirilmiş perde kesme kuvveti dağılımları.....	56
Şekil 8.2. 10-3-P modeline ait ilk 5 mod ve SRSS ile birleştirilmiş perde eğilme momenti dağılımları.	57
Şekil 8.3. 10-3-P modeline ait ilk 5 mod ve SRSS ile birleştirilmiş çerçeve kesme kuvveti dağılımları.	58
Şekil 8.4. (a) perde kesme kuvveti dağılımı (b) çerçeve kesme kuvveti dağılımı	59
Şekil 8.5. Eğilme yüksekliği h_{cc} (Kazaz and Gülkan 2012).....	60
Şekil 8.6. Düzeltilmiş (a) perde kesme kuvveti dağılımı (b) çerçeve kesme kuvveti dağılımı.....	61
Şekil 8.7. Plak döşemeli ve kirişli modeller için kat sayısı-perde kesme kuvveti oranı ilişkisi.	62
Şekil 8.8. Plak döşemeli ve kirişli modeller için αH -perde kesme kuvveti oranı ilişkisi	63
Şekil 8.9. Örnek betonarme perde moment zarf eğrileri.....	64
Şekil 9.1. Basitleştirilmiş modelde kullanılan sistem	65
Şekil 9.2. Basitleştirilmiş yapısal analiz modeli	66
Şekil 9.3. (a) örnek basitleştirilmiş modelin detayları, (b) örnek koordinat detayları	67
Şekil 9.4. Basitleştirilmiş SeismoStruct modelleri	68
Şekil 9.5. infirmFB elemanlarda (a) kesitlerin bölümlere ayrılması (b) integrasyon noktaları (SeismoStruct).	68
Şekil 9.6. Yay elemanların lokal eksenleri (SeismoStruct)	69
Şekil 9.7. Takeda çevrimsel modeli (SeismoStruct).....	70
Şekil 9.8. Simetrik doğrusal eğri (SeismoStruct)	71
Şekil 9.9. Elastik çerçeve elemanı lokal eksenleri.....	76
Şekil 9.10. Örnek periyot-eğilme rijitliği grafiği	77
Şekil 9.11. Basitleştirilmiş modelin birinci mod davranışı.....	78

Şekil 9.12. Eşdeğer sonlu eleman modelleri ve analitik modelleme yöntemiyle elde edilen birinci mod için periyot değerleri.	79
Şekil 9.13. Eşdeğer sonlu eleman modelleri ve analitik modelleme yöntemiyle elde edilen 2. ve 3. mod için periyot değerleri.	79



ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1. BKS (bina kullanım sınıfı) ve I (bina önem katsayıları) (TBDY 2018).....	8
Çizelge 1.2. DTS (Deprem tasarım sınıfları (TBDY 2018).....	8
Çizelge 1.3. BYS (bina yükseklik sınıfı) aralıkları (TBDY 2018)	9
Çizelge 1.4. Deprem Tasarım Sınıflarına Göre Yeni Yapılacak veya Mevcut Yüksek Binalar (BYS=1) İçin Performans Hedefleri ve Uygulanacak Değerlendirme/Tasarım Yaklaşımları (TBDY 2018).....	9
Çizelge 4.1. Modellere Ait Temel Özellikler.....	32
Çizelge 4.2. Kullanım şekline bağlı olarak üzgün yayılı hareketli yük tablosu (TS 498)	34
Çizelge 4.3. Modellerin döşeme tasarım yükleri	35
Çizelge 4.4. Modellerin kolon boyutları	36
Çizelge 4.5. Plak döşemeli modellerin efektif kiriş genişlikleri.....	38
Çizelge 4.6. Kirişli modellerin kiriş boyutları	39
Çizelge 4.7. Modellerin perde boyutları	40
Çizelge 5.1. Yerel zemin sınıfları (TBDY 2018).....	43
Çizelge 5.2. Kısa periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayıları (TBDY 2018)	44
Çizelge 5.3. 1,0 saniye periyot için yerel zemin etki katsayıları (TBDY 2018).....	44
Çizelge 5.4. Bina taşıyıcı sistemleri için taşıyıcı sistem katsayısı, dayanım fazlalığı katsayısı ve izin verilen bina yükseklik sınıfları (TBDY 2018).....	46
Çizelge 6.1. Analitik statik analiz parametreleri.....	47
Çizelge 6.2. Analitik modal analizde kullanılan parametreler-1	48
Çizelge 6.3. Analitik modal analizde kullanılan parametreler-2	48
Çizelge 6.4. Yapı davranış katsayıları ve periyot değerleri	49
Çizelge 7.1. SAP2000 modelleri ve analitik modelleme modal analiz sonuçları.....	53
Çizelge 8.1. Perde kesme kuvvetinin toplam kesme kuvvetine oranı.....	62
Çizelge 9.1. Kayma yaylarında kullanılan sabit rijitlik değerleri	71
Çizelge 9.2. Dönme yaylarında kullanılan sabit rijitlik değerleri.....	74
Çizelge 9.3. Basitleştirilmiş modeller ve analitik modellerin modal analiz sonuçları....	78

1. GİRİŞ

Türkiye Alp-Himalaya kuşağı üzerinde yer alır. Karmaşık jeolojik yapısı ve jeodinamik konumu sebebiyle çok sayıda aktif fay bulunmaktadır (Anonim 2023). Hemen her noktasında aktif fay hatlarının bulunması sebebiyle deprem yükleri yapı tasarımında dikkate alınması gereken temel unsurların başında gelmektedir.

Depreme dayanıklı yapı tasarımı, olası depremlerde yapılarda meydana gelebilecek hasarları en aza indirgeyerek yapının ağır hasar görmemesini, düşey taşıyıcı sistemin ayakta kalmasını sağlayarak can ve mal kayıplarını önlemeyi amaçlar. Bu amacın gerçekleşmesi için deprem sırasında binada büyük miktarda enerji tüketimine uygun tasarım yapılması gereklidir. Tasarım sürecinde etkili olan temel değişkenler vardır. Bunların başında yapının inşa edileceği konum, zemin, kullanılacak malzemeler, yapısal bağlantılar ve taşıyıcı sistem seçimi gelir.

Her bölgenin coğrafi konumuna bağlı olarak taşıdığı deprem riski kendine özeldir. Bu nedenle yapının inşa edileceği konuma bağlı olarak dikkate alınacak deprem yükleri farklılık göstermektedir. Yapının inşa edileceği zeminin taşıma kapasitesi, sıvılaşma potansiyeli gibi özellikleri de önemli faktörlerdir. Bu nedenle yapılan çeşitli deneyleri ve incelemeleri içeren zemin etüdü tasarımda dikkate alınır. Ayrıca yapıda kullanılacak malzemelerin seçimi ve yapısal bağlantılar, yapının deprem davranışını ve dayanıklılığını doğrudan etkilemektedir. Bu değişkenlerin tümü taşıyıcı sistem seçimini etkilemektedir.

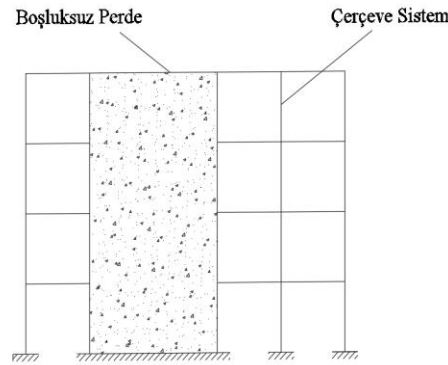
Betonarme yapılarda taşıyıcı sistem seçimi yapılırken deprem yükleri altında kat ötelemelerinin sınırlandırılması ve gerekli dayanımın sağlanması için çerçeve sistemin yanı sıra perde kullanımına ihtiyaç duyulur. Özellikle yüksek katlı yapılarda betonarme perdeler kullanılarak yapının yatay rijitliği artırılırken görelî kat ötelemeleri de sınırlandırılır (Kaya ve Özsoy Özbay 2019).

1.1. Betonarme Perdeler

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018 (TBDY 2018)’e göre “perdeler, planda uzun kenarının kısa kenarına oranı en az altı olan düşey taşıyıcı sistem elemanlarıdır.” Perdelerin temel görevi yapının kendi yüklerinin yanında deprem yüklerini karşılamak ve yatay ötelenmeleri sınırlandırmaktır. Çerçeve sistem elemanlarına göre yanal rijitlikleri daha yüksek olan perdeler, sağladıkları moment ve kesme kuvveti karşılama kapasiteleri ve kat ötelemelerini sınırlandırma avantajları sebebiyle depreme dayanıklı yapı tasarımında büyük önem taşırlar. Perde elemanların yapılarda kullanımında her iki doğrultuda yeterli burulma rijitliğini sağlayacak biçimde dağıtılması gerekir.

Geometrik özelliklerine göre betonarme perde türleri aşağıdaki gibi özetlenebilir:

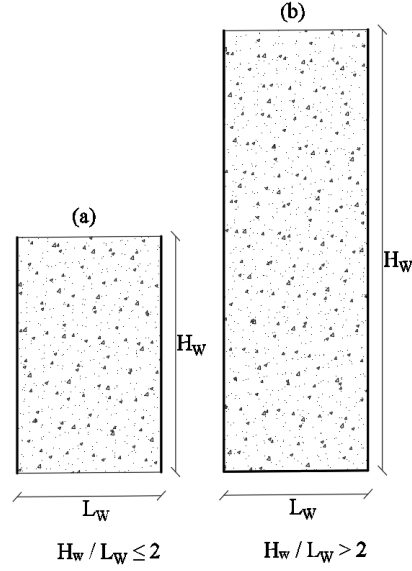
Dolu gövdeli (boşluksuz) perdeler: Boşluksuz perdeler Şekil 1.1’de görüldüğü gibi yapı yüksekliği boyunca gövdesinde herhangi bir boşluk ve açıklık bulunmayan elemanlardır. Genellikle konsol olarak çalışan bu elemanların kesitleri ince olmasına rağmen kat seviyelerinde döşemelerle bağlantıları nedeniyle yanal burkulma tehlikeleri gözlenmez.



Şekil 1.1. Boşluksuz perde

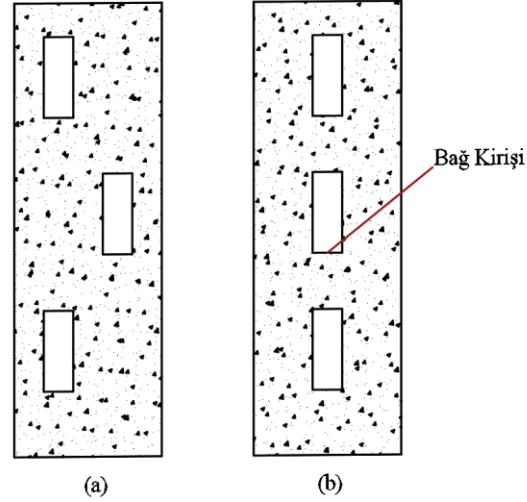
- Kısa perdeler: Yüksekliği planda yer alan uzunluğunun 2 katından daha az olan perde elemanlardır (Şekil 1.2 (a)).

- Narin perdeler: Yüksekliği planda yer alan uzunluğunun 2 katından daha fazla olan perde elemanlardır. Bu elemanların hesap ve tasarımında narinlik etkisinin dikkate alınması gerekir (Şekil 1.2 (b)).



Şekil 1.2. (a) kısa perde, (b) narin perde

- Boşluklu (bağ kirişli) perdeler: Bağ kirişli perdeler Şekil 1.3'te görüldüğü gibi boşluksuz perdelerin yüksek kesme dayanımına sahip bağ kirişleriyle bağlanmasıyla oluşurlar. Tek bir eleman olarak çalışan bu perdeler, bağ kirişlerinin güçlü olması sebebiyle konsol gibi davranan boşluksuz perdeler ile çerçeve arasında bir davranış sergilerler.

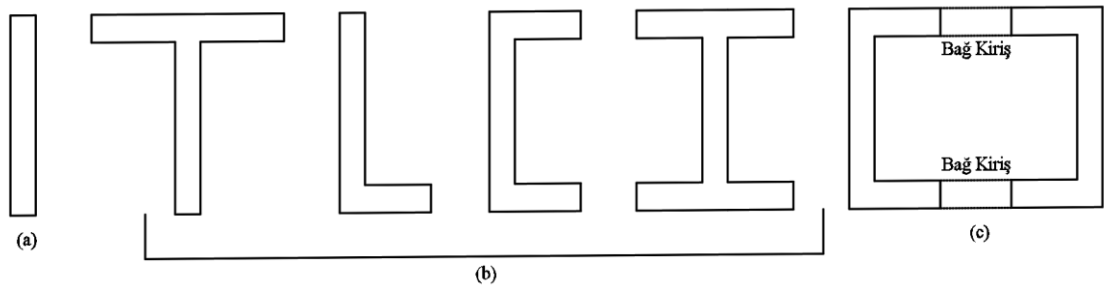


Şekil 1.3. (a) boşluklu perde, (b) bağ kirişli perde

- Bodrum perdeleri: Bodrumlu yapılarda yapıyı çevreleyen şekilde düzenlenen perde türüdür. Üst katlarda oluşan eylemsizlik kuvvetlerinin neredeyse tümünü döşemeler sayesinde alıp temele aktarmanın yanı sıra deprem ve zemin itkisi gibi yanal kuvvetleri karşılarlar.

Mimari ihtiyaca veya istenen davranışa bağlı olarak düzenlenen enkesit özelliklerine göre betonarme perdeler ise aşağıdaki gibi özetlenebilir (Şekil 1.4):

- Dikdörtgen kesitli perdeler
- T, L, H, I, C kesite sahip perdeler
- Çekirdek perdeler



Şekil 1.4. (a) dikdörtgen kesitli, (b) T, L, C, I kesitli, (c) bağ kirişli perdeler

1.2. Betonarme Perdeli Sistemler

Betonarme yapıların taşıyıcı sistemlerini aşağıdaki gibi sıralamak mümkündür:

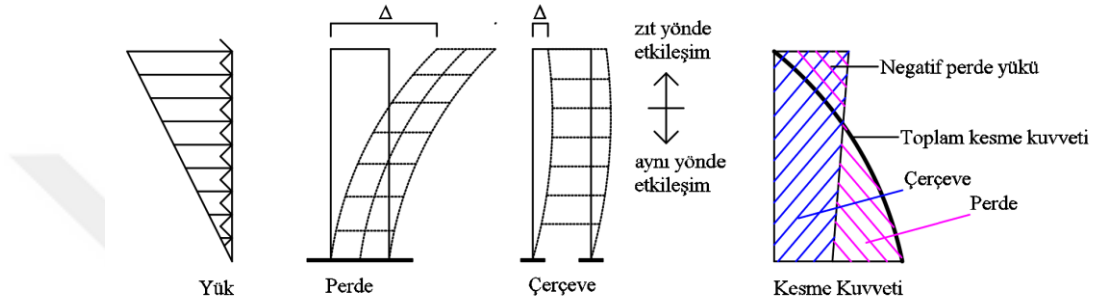
- Çerçeve sistemler
- Perde sistemler
- Perdeli (karma) sistemler
- Çekirdek sistemler
- Tüp sistemler

Betonarme perde ve çerçevelerin birlikte kullanıldığı perdeli sistemlerde depremin oluşturduğu yatay kuvvetler kolonlar ve perdeler tarafından birlikte karşılanır. Yapıda ortaya çıkan toplam kesme kuvveti taban kesme kuvvetidir. Perdelerin karşıladığı kesme kuvvetlerinin dışında kalan kesme kuvvetleri rijitlikleri nispeten daha düşük olan kolonlar tarafından paylaşarak karşılanır. Perdeler, yüksek rijitliğe ve dolayısıyla yüksek yük taşıma kapasitesine sahip oldukları için, deprem yükleri altında yatay ötelemeleri sınırlandırıp hasar oluşumunu azaltırlar (Celep 2020; Günaydın ve Gökdemir 2021). Dolayısıyla yapının yüksekliği arttıkça yatay deplasmanların da artması sebebiyle depreme dayanıklı yapı tasarımında yüksek yapılarda perde kullanımı bir zorunluluk olarak görülebilir.

Betonarme perde ve çerçeve elemanların yatay yükler etkisi altındaki yer değiştirmeleri karşılaştırıldığında Şekil 1.5'teki gibi farklı davranışlar sergiledikleri görülür. Perde elemanlarda düşey bir konsol kirişe benzer davranış sergilendiği, en büyük görece kat ötelemelerinin en üst katta; çerçeve elemanlarda ise genellikle en alt katlarda olduğu görülmüştür (Kaya ve Özsoy Özbay 2019). Perdeleri çerçeve elemanlardan ayıran temel özellikleri taşıdıkları momentlerdir. Perde elemanların momenti yapı boyunca yön değiştirmezken; kolonlarda her katta moment yön değiştirebilir. Perdelerin kullanımında istenen davranış, yapının tüm katlarının kendi arasında yön değiştirmeden tek bir konsol gibi çalışmasını sağlamaktır.

1. GİRİŞ

Betonarme perdelerin ve çerçevelerin birlikte kullanıldığı sistemlerde istenen davranışın oluşabilmesi için perdelerin boyutlandırılması, plandaki yerleşimleri, donatı yerleşimleri ve diğer yapısal elemanlarla doğru şekilde bağlantılı olmaları gibi etkiler göz önünde bulundurulmalıdır. Bu koşullar dikkate alınarak depreme dayanıklı tasarımı yapılan perdeli çerçeve sistemlerde, perdeler yapının elastik enerji tüketme gücünü sağlamaktadır. Çerçeve sistem ise kalıcı deformasyon ile plastik enerji tüketme gücünü sağlamaktadır.



Şekil 1.5. Perde-çerçeve etkileşimi

1.3. Betonarme Perdelerin Kapasite Tasarımı

Yapıların hesap ve tasarımı için tüm dünyada kullanılan yönetmelikler vardır. Bu yönetmeliklerde bulunan hesap ve tasarım kriterleri bazı yaklaşımları içermektedir. Bu kriter ve yaklaşımlarda deprem etkisini dikkate almak için depremin oluşma ihtimali ve yapının önemine göre bir tasarım depremi belirlenir. Yapının ömrü boyunca etkiye olasılığı düşük olduğu için büyük depremlere karşı elastik şekil değiştirmeler göstermesi üzerine yapılan tasarımlar ekonomik değildir. Bu yüzden kullanılan yönetmeliklerde depreme dayanıklı yapı performans ilkeleri oluşturulmuştur. Depreme dayanıklı yapı tasarımında ana ilke; “hafif şiddetli depremlerde yapıda bulunan yapısal ve yapısal olmayan sistem elemanlarında herhangi bir hasar olmaması, orta şiddetli depremlerde yapısal ve yapısal olmayan elemanlardaki hasarın sınırlı ve onarılabilir düzeyde olması, şiddetli depremlerde ise can güvenliğinin sağlanması amacıyla kalıcı yapısal hasarının oluşumu sınırlandırılması” olarak tanımlanır (Celep 2014; Şahin 2015).

TBDY 2018’de aynı ana ilkeden hareketle Bina Performans Hedefleri tanımlanmıştır. Yönetmelik kapsamında tanımlanan deprem tasarım sınıfı parametresine

1. GİRİŞ

bağlı olarak seçilen “Normal Performans Hedefi” ve “İleri Performans Hedefi” olmak üzere performans hedefleri mevcuttur. Bu performans hedeflerini seçebilmek için önce yapının özelliklerine ve tasarım spektrumuna bağlı olarak aşağıdaki adımlar takip edilir:

1. Binanın kullanım amacına göre Çizelge 1.1 kullanılarak BKS (Bina Kullanım Sınıfı) ve I (Bina Önem Katsayısı) belirlenir.
2. TBDY 2018’e göre “DD-2 deprem yer hareketi spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan ve buna karşılık gelen tekrarlanma periyodu 475 yıl olan seyrek deprem yer hareketini ifade etmektedir. Bu yer hareketi standart tasarım deprem yer hareketidir.” Bu yer hareketi düzeyinde kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı (SDS) belirlenir.
3. Belirlenen BKS ve SDS değerlerine göre Çizelge 1.2 kullanılarak DTS (Deprem Tasarım Sınıfı) belirlenir.
4. Belirlenen DTS değerine göre Çizelge 1.3 kullanılarak yapının yüksekliğine göre BYS (Bina Yükseklik Sınıfı) belirlenir.
5. Elde edilen BYS sınıfına uygun performans hedefleri ve uygulanacak değerlendirme/tasarım yaklaşımları tabloları kullanılarak performans hedefi seçilir. Çizelge 1.4’te $BYS=1$ olan binalar için DTS değerine göre yeni yapılacak veya mevcut binalar için performans hedefleri ve uygulanacak değerlendirme/tasarım yaklaşımları verilmiştir.

Çizelge 1.1. BKS ve I tablosu (TBDY 2018)

Bina Kullanım Sınıfı	Binanın Kullanım Amacı	Bina Önem Katsayısı (I)
BKS = 1	Deprem sonrası kullanımı gereken binalar, insanların uzun süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar, değerli eşyanın saklandığı binalar ve tehlikeli madde içeren binalar a) Deprem sonrasında hemen kullanılması gerekli binalar (Hastaneler, dispanserler, sağlık ocakları, itfaiye bina ve tesisleri, PTT ve diğer haberleşme tesisleri, ulaşım istasyonları ve terminalleri, enerji üretim ve dağıtım tesisleri, vilayet, kaymakamlık ve belediye yönetim binaları, ilk yardım ve afet planlama istasyonları) b) Okullar, diğer eğitim bina ve tesisleri, yurt ve yatakhaneler, askeri kışlalar, cezaevleri, vb. c) Müzeler d) Toksik, patlayıcı, parlayıcı, vb. özellikleri olan maddelerin bulunduğu veya depolandığı binalar	1.5
BKS = 2	İnsanların kısa süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar Alışveriş merkezleri, spor tesisleri, sinema, tiyatro, konser salonları, ibadethaneler, vb.	1.2
BKS = 3	Diğer binalar BKS=1 ve BKS=2 için verilen tanımlara girmeyen diğer binalar (Konutlar, işyerleri, oteller, bina türü endüstri yapıları, vb.)	1.0

Çizelge 1.2. DTS tablosu (TBDY 2018)

DD-2 Deprem Yer Hareketi Düzeyinde Kısa Periyot Tasarım Spektral İvme Katsayısı (S_{DS})	Bina Kullanım Sınıfı	
	BKS = 1	BKS = 2, 3
$S_{DS} < 0.33$	DTS = 4a	DTS = 4
$0.33 \leq S_{DS} < 0.50$	DTS = 3a	DTS = 3
$0.50 \leq S_{DS} < 0.75$	DTS = 2a	DTS = 2
$0.75 \leq S_{DS}$	DTS = 1a	DTS = 1

Çizelge 1.3. BYS aralıkları tablosu (TBDY 2018)

Bina Yükseklik Sınıfı	Bina Yükseklik Sınıfları ve Deprem Tasarım Sınıflarına Göre Tanımlanan Bina Yükseklik Aralıkları [m]		
	DTS = 1, 1a, 2, 2a	DTS = 3, 3a	DTS = 4, 4a
BYS = 1	$H_N > 70$	$H_N > 91$	$H_N > 105$
BYS = 2	$56 < H_N \leq 70$	$70 < H_N \leq 91$	$91 < H_N \leq 105$
BYS = 3	$42 < H_N \leq 56$	$56 < H_N \leq 70$	$56 < H_N \leq 91$
BYS = 4	$28 < H_N \leq 42$	$42 < H_N \leq 56$	
BYS = 5	$17.5 < H_N \leq 28$	$28 < H_N \leq 42$	
BYS = 6	$10.5 < H_N \leq 17.5$	$17.5 < H_N \leq 28$	
BYS = 7	$7 < H_N \leq 10.5$	$10.5 < H_N \leq 17.5$	
BYS = 8	$H_N \leq 7$	$H_N \leq 10.5$	

Çizelge 1.4. “Deprem Tasarım Sınıflarına Göre Yeni Yapılacak veya Mevcut Yüksek Binalar (BYS=1) İçin Performans Hedefleri ve Uygulanacak Değerlendirme/Tasarım Yaklaşımları” (TBDY 2018).

Deprem Yer H. Düzeyi	DTS = 1, 2, 3, 3a, 4, 4a		DTS = 1a, 2a	
	Normal Performans Hedefi	Değerlendirme/ Tasarım Yaklaşımı	İleri Performans Hedefi	Değerlendirme/ Tasarım Yaklaşımı
DD-4	KK	DGT	-	-
DD-3	-	-	SH	ŞGDT
DD-2	KH	DGT	KH	DGT
DD-1	GÖ	ŞGDT	KH	ŞGDT

TBDY 2018’e göre tanımlanan parametrelerle Çizelge 1.4’te verilen BYS=1 olan yüksek binalar için performans hedefleri tablosundan alınan performans hedefi düzeyleri aşağıda sıralandığı gibidir:

1. “Kesintisiz Kullanım (KK) Performans Düzeyi: Bu performans düzeyi, bina taşıyıcı sistem elemanlarında yapısal hasarın meydana gelmediği veya hasarın ihmal edilebilir ölçüde kaldığı duruma karşı gelmektedir.”

2. “Sınırlı Hasar (SH) Performans Düzeyi: Bu performans düzeyi, bina taşıyıcı sistem elemanlarında sınırlı düzeyde hasarın meydana geldiği, diğer deyişle doğrusal olmayan davranışın sınırlı kaldığı hasar düzeyine karşı gelmektedir.”
3. “Kontrollü Hasar (KH) Performans Düzeyi: Bu performans düzeyi, can güvenliğini sağlamak üzere bina taşıyıcı sistem elemanlarında çok ağır olmayan ve çoğunlukla onarılması mümkün olan hasar düzeyine karşı gelmektedir.”
4. “Göçmenin Önlenmesi (GÖ) Performans Düzeyi: Bu performans düzeyi, bina taşıyıcı sistem elemanlarında ileri düzeyde ağır hasarın meydana geldiği göçme öncesi duruma karşı gelmektedir. Binanın kısmen veya tamamen göçmesi önlenmiştir.”

Anlatılan temel ilkedен hareket ile kapasite tasarımı geliştirilmiştir. Kapasite tasarımında temel amaç şiddetli depremlerde oluşacak olan yapısal eleman hasarlarının sünek güç tükenmesiyle sönümlenmesi ve göçmenin önlenmesidir. Yapıda kullanılan taşıyıcı elemanların boyutları ve donatı detayları gevrek güç tükenmesinden kaçınarak sünek güç tükenmesini sağlayacak biçimde hesaplanır. Thomsen et al. (1995) tarafından “betonarme perdelerde, küçük şiddetli depremlerde elastik şekil değiştirmeler oluşurken; orta ve büyük şiddetli depremlerde perdenin temelle birleştiği nokta olan alt ucunda elastik ötesi şekil değiştirmeler görüldüğü” belirtilmiştir. Perdelerin aksenal yükleri ve yatay yükleri, dayanımlarında büyük bir kayıp yaşamadan taşıması gerekir. Özellikle kalınlığı az olan perdeler konsol elemanlar gibi davrandığı için, hasarlar momentin fazla olduğu tabanda yoğunlaşır. Yönetmeliklerde perdelerin tasarımında donatısına etki etmek üzere kritik perde yükseklikleri ve deprem etriyeleriyle sargılanan perde uç bölgeleri dikkate alınır.

Perdelerde sünek güç tükenmesini sağlamanın koşulu kesme güç tükenmesinden önce eğilme güç tükenmesinin oluşmasını sağlamaktır. Kesme güç tükenmesinde deprem enerjisi gevrek bir tükenme ile sönümlendiği için ani göçmelere sebep olur. Bunun yerine eğilme güç tükenmesinin oluşması sağlanarak enerjinin sünek bir şekilde sönümlenmesi amaçlanır. Eğilme güç tükenmesinin önce oluşmasını sağlamak için, kesme kuvveti kapasitesinin eğilme kapasitesinden büyük olması sağlanmalıdır. Perdeler kesme kuvveti

kapasitesi çerçeve elemanlardaki gibi eğilme kapasitesi kullanılarak hesaplanamaz. Çünkü perdelerdeki kesme kuvveti yatay yüklerin yapıya etkidiği noktaya da bağlıdır (Şahin 2015).

1.4. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Betonarme yapıların taşıyıcı sistem seçiminde yatay yükler altında kat ötelemelerinin sınırlandırılması ve gerekli dayanımların sağlanması için çerçeve sistemle birlikte perde kullanımı bir zorunluluk haline gelmiştir. Betonarme perdeli sistemlerin hesap ve tasarımı üzerine çalışmalar yapılmaya devam edilmektedir. Yaşanan büyük felaketlerin ardından depreme dayanıklı yapı tasarımı için yönetmeliklerde ve yaklaşımlarda çeşitli düzenlemeler yapılmıştır. Ancak can ve mal kayıplarının henüz istenen ölçüde azaltılamadığı görülmektedir. Bu nedenle depreme dayanıklı yapı tasarım esaslarında ve sahada gerçekleştirilen mühendislik uygulamalarının denetiminde iyileştirilmeler yapılması gerektiği açıktır.

Bu tez çalışması kapsamında, burulmasız perdeli sistemlerin hesap ve tasarımı üzerine yapılacak çalışmalarda analizleri kolaylaştırarak pratik çalışmalar sağlayacak basitleştirilmiş yapısal analiz modelleri incelenmiştir. Basitleştirilmiş yapısal analiz modellerinde tüm yapıyı modellemek yerine, belirlenen parametreler yardımıyla oluşturulan eşdeğer sonlu eleman modelleri kullanılır. Bu modellerde perdeler gerçek kesitinde kullanılırken yapıda bulunan çerçeve sistem elemanlar eşdeğer yay elemanlar ile tanımlanır.

Bu tez çalışması kapsamında yapılan inceleme aşağıda özetlenmiştir:

1. Daha önce yapılan analitik çalışmalar ele alınmıştır. Betonarme perdeli burulmasız yapıların statik ve modal analizleri için kullanılacak analitik çalışma yöntemi adımları oluşturulmuştur.
2. İncelemek üzere farklı taşıyıcı sistem özelliklerine sahip yapı modelleri oluşturularak yönetmeliklere göre tasarımları yapılmıştır.

3. Tasarımları yapılan modellerin anlatılan analitik yöntemle göre modal analizleri yapılmıştır.
4. Tüm elemanların kullanıldığı SAP2000 modelleri oluşturulmuştur. Bu modeller analitik çalışmalara referans olarak kullanılmıştır. Analitik modal analizler SAP2000 sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır.
5. İncelenen modellerin analitik yöntemle tasarımı altında çözümleri yapılarak sistemin kesme kuvveti ve moment profilleri elde edilmiştir.
6. İncelenen modellerin basitleştirilmiş yapısal analiz modelleri oluşturulurken kullanılacak parametreler analitik yöntem yardımıyla hesaplanmıştır. Hesaplama detayları ve kullanılan yaklaşımlar ilgili bölümlerde anlatılmıştır.
7. Analitik yöntem kullanılarak elde edilen parametrelere göre yapıların basitleştirilmiş modelleri SeismoStruct kullanılarak modellenmiştir. Bu modellerin modal analizleri analitik modal analizle karşılaştırılmıştır.

İncelenen modellerde bina merkezinde konumlandırılmış bağ kirişli U kesitli betonarme perdelerden oluşan çekirdek perde sistemi yer almaktadır. Bu modellerin bağ kirişli olmayan yönde modal davranışları incelenmiştir. Kat alanı sabit tutulmak üzere her bir kat yüksekliği için perde boyutları değiştirilmiştir. Elde edilen modellerde plak döşemeli ve kirişli iki farklı sistem seçilerek perde-çerçeve etkileşiminin etkisi de araştırılmıştır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

2.1. Perdeli Sistemlerin Davranışı

Betonarme yapılarda, yükseklik attıkça yatay deplasmanlar artar. Bu durum yüksek yapılarda deplasmanları sınırlayacak taşıyıcı elemanların kullanılmasını gerektirir. Perdeler kolonlara göre daha büyük kesitlere sahip olduğu için, çerçeve sistemle birlikte kullanıldığında yatay deprem yükleri altında deplasmanları sınırlandırmak için kullanılırlar (Günaydın ve Gökdemir 2021). Sistemin aniden ve toptan göçmesine engel olan perdeler yapısal olmayan hasarları da sınırlandırır. Perdeli sistemlerde eğilme momenti sonucunda en büyük ötelemeler üst katlarda oluşurken; kat rijitliğine bağlı olarak çerçevelerde en büyük ötelemeler kesme kuvvetleri sonucunda alt katlarda oluşurlar. Yani perdeli sistemlerde bu iki sistemin birlikte çalışmasıyla taşıyıcı sistemin ötelenmesi kayma ve eğilme davranışı etkisinde olur. Üst katlardaki perde eğilmeleri çerçeve sistem tarafından; alt katlardaki çerçeve kayma etkisi perdeler tarafından kısıtlanır (Boru 2022). Deprem yükleri etkisinde kolonlarda normal kuvvet ve eğilme momenti etkiliyken; perdelerde eğilme momenti etkilidir. Perdeler tek başına konsol kiriş davranışı gösterirken çerçeve ile etkileşimine, döşemeye ve bağ kirişlere bağlı olarak moment dağılımları konsoldan farklıdır.

Perdelerin sağlaması beklenen temel özellikler yapıya rijitlik, mukavemet ve deplasman yapabilme özelliği kazandırmaktır. Perdelerin rijitlikleri kolonlara göre büyük olduğundan yatay yüklerin büyük bir kısmını karşılarlar. Perdeleri kolonlardan ayıran temel özellikleri taşıdıkları momenttir. Perdelerde moment yapı yüksekliği boyunca işaret değiştirmezken kolonlarda tüm katlarda değişebilir. Perdelerin yapıdaki davranışı boyutlarına, yapıdaki oranına, yerleşim düzenine ve simetriye bağlıdır.

2.2. Betonarme Perde Elemanlar için Sonlu Eleman Modelleri

Betonarme perdelerin yatay deprem yükleri altında analizlerinde kullanılmak üzere farklı modeller önerilmiştir. Bu modeller oluşturulurken yapılacak incelemelerin amacına göre deneysel çalışmalarda elde edilen perde davranışlarına uyumlu olması istenir. Yatay deprem yükleri altında analizleri yapılacak perde modellerinde istenilen başlıca özellikler; doğrusal olmayan eksenel kuvvet-kesme kuvvetleri-moment etkileşimini, betonda çatlama kaynaklı oluşan tarafsız eksen kaymasını, eksenel kuvvetin değişiminin etkisini, perde elemana bağlanan çerçeve elemanlarla etkileşimini incelenebilir hale getirmesi olarak özetlenebilir. Betonarme perdelerin modellenmesi için oluşturulan yaklaşımlar mikro ve makro olmak üzere iki ana başlıkta toplanmıştır (Yılmaz 2014).

2.2.1. Mikro modeller

Betonarme elemanların mikro modellenmesi yaklaşımında sonlu elemanlar yöntemi kullanılır. Sonlu elemanlar yönteminde, elemanlar istenen doğruluk seviyesi ve kullanılan analiz programına bağlı olarak belirlenen sayıda düğüm noktasıyla bağlanmış sonlu elemanlara ayrıştırılır. Bu yöntem alanındaki ilk çalışma, enine donatılı ev donatısız kiriş elemanların davranışlarını incelemek üzere, Ngo and Scordelis (1967) tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada iki boyutlu ve sabit birim şekil değiştirmeli elemanlar ile bağ elemanlar kullanılmıştır. Bağ elemanları çatlak oluşan bölgede tanımlanmıştır. Günümüzde ANSYS, ABAQUS gibi yazılımlar betonarme elemanların sonlu yöntemler yöntemini esas alarak modellenmesine olanak sağlamaktadır (Yılmaz 2014).

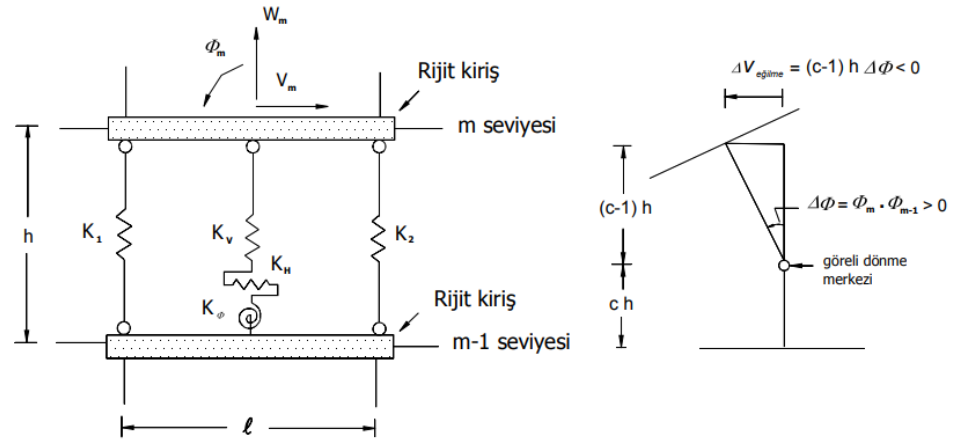
2.2.2. Makro modeller

Betonarme elemanların makro modellemesi yaklaşımında, beton ve çelik malzemelerin gerilme-şekil değiştirme ilişkileri gerekli hipotezler kullanılarak makro ölçeğe taşınır. Betonarme elemanların makro modellemesi için farklı yaklaşımlar vardır (Galal and El-Sokkary 2008).

Betonarme perdelerin modellenmesinde kullanılan birinci yöntem iki bileşenli elemanlardır. Bu modelde iki paralel eleman bulunur. Akma ve pekleşme etkilerini dikkate alındığı modelde kullanılan elemanları biri elastik, diğeri ise elasto-plastiktir. Plastik şekil değiştirme ise elasto-plastik elemanda düzgün yayılı olarak tanımlanır. İki bileşenli eleman daha sonra geliştirilerek histeretik davranışı modele eklemeye uygun hale getirilmiştir. Modelleme için kullanılan diğere yöntem bir bileşenli elemandır.

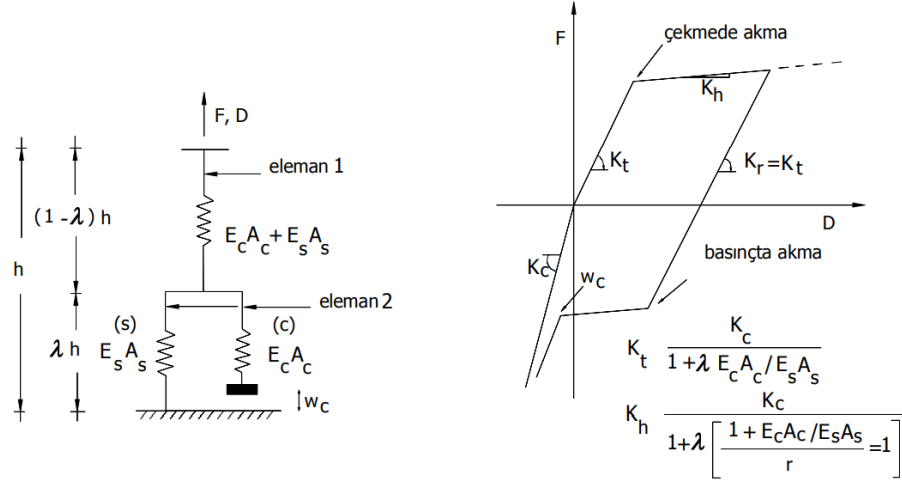
Giberson (1967) tarafından geliştirilen modelde elastik çubuk elemanın iki ucunda doğrusal olmayan dönme yayları tanımlanır. Daha sonra Takeda et al. (1970) tarafından çatlama etkisini, donatı pekleşmesini ve dayanım azalmasını dikkate alacak şekilde geliştirilmiştir. Otani (1974) bu modelde aderans sıyrılmasını tanımlamıştır. Takayanagi and Schnobrich (1976) perde elemanlarda plastik kayma şekil değiştirmeleri sonucu oluşan dönme etkisini de hesaba katmıştır. Kiriş-kolon elemanı olarak da adlandırılan bu yaklaşımdaki elemanlar modelin boyuna doğrultusundaki lifler yardımıyla yayılı plastisitenin de hesaplamalara dahil edildiği modeller geliştirilmiştir (Yılmaz 2014).

Betonarme elemanların modellenmesinde kullanılan birleşik eleman modelleri üç düşey çubuklu ve çok düşey çubuklu eleman modeli olmak üzere iki grupta ele alınabilir. Kabeyasawa et al. (1983) tarafından önerilen üç düşey çubuklu eleman modelinde (Şekil 2.1), üç düşey çubuk kat hizalarında rijit kirişlerle bağlanır. Dışta bulunan çubuklar doğrusal olmayan eksenel yaylar ile başlık bölgesini temsil eder. Gövde bölgesini temsil eden orta çubuğun içerdiği doğrusal olmayan yaylar ise düşey ve yatay ötelenmeleri ve dönmeyi temsil eder. Bu yaklaşımla oluşturulan modelde iç ve dış çubukların arasında geometrik uygunluk şartı bulunmaz.



Şekil 2.1. Kabeyasawa et al. (1983) tarafından önerilen üç düşey çubuklu eleman modeli

Kabeyasawa et al. (1983) tarafından oluşturulan perde modelinde doğrusal olmayan eksenel yayların histeretik davranışlarının iyileştirilmesine yönelik değişiklik Vulcano and Bertero (1987) tarafından yapılmıştır (Şekil 2.2). Bu değişiklik sonucunda eksenel rijitlikli histeresis modeli yerine seri bağlı iki eleman modeli kullanılmaktadır. Bu modelde görülen 1 numaralı eleman aderans varken kolon elemanının eksenel rijitliğini temsil eder. 2 numaralı eleman ise aderansın olmadığı durumda çatlamış beton ve çelik için eksenel rijitliği verir. Böylece çelik malzemenin akması ve pekleşmesi, beton malzemenin çatlaması, temas gerilmeleri ve aderans azalımı gibi etkiler idealize edilmiştir. Bu model eleman modelleri kayma davranışı açısından hesaplanan ve ölçülen değerler arasında farklar oluştursa da, taban kesme kuvveti ve tepe yer değiştirmesinin incelendiği eğilme şekil değiştirmelerini dikkate alan deneylerde uygun sonuçlar vermektedir. Bu modelleme yönteminde kesme kuvveti ile eğilme-eksenel kuvvet arasındaki etkileşim dikkate alınmaz. Ayrıca modelin davranışı, aderans azalması, pekleşme oranı ve akma dayanımı değişkenlerine karşı çok hassastır (Yılmaz 2014).



Şekil 2.2. Vulcano and Bertero (1987) perde modelinden eksenel yay ilişkileri (Yılmaz 2014).

Vulcano et al. (1988) tarafından eksenel yayların denklemlerinde yaptıkları değişiklikler ile idealize ederek üç düşey çubuktan oluşan model geliştirilerek daha fazla sayıda düşey yaya geçiş yapılmıştır. Fischinger et al. (1990) tarafından geliştirilen düşey ve yatay yaylar için basitleştirilmiş histeresis ilişkileri ile çevrimsel davranışı daha iyi tanımlanmıştır. Fakat tanımlaması zor olan ve yoruma dayalı parametreler içerdiği için eleştirilmiştir (Orakcal et al. 2006).

Orakcal et al. (2006) yaptıkları çalışmada Massone and Wallace (2004) tarafından önerilmiş çoklu düşey çubuklu eleman modeli üzerinde çalışmışlardır. Kullanılan modelde, her çubuğa kesme yayı tanımlanarak eğilme momenti-eksenel kuvvet-kesme kuvveti etkileşimi sağlanmıştır. Membran davranışı sergilemek üzere modellenen elemanlar ile, eğilme ve kesme kuvveti arasındaki etkileşim tek eksenli eleman düzeyine indirgenmiştir.

3. ANALİTİK MODELLEME YÖNTEMİ

Bu bölümde betonarme perdeli sistemlerin modal davranışını irdelemek üzere seçilen modellerde çeşitli kabullere göre, daha önce yapılan parametrik çalışmaları ele alarak yatay kuvvetler etkisi altındaki hesaplamaları diferansiyel denklem yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Heidebrecht and Stafford Smith (1973) tarafından yapılan çalışmadaki hesaplamalar esas alınmıştır. Bu hesaplamaların çözümünde Alku (1984), Bilyap (1979) ve Kazaz and Gülkan (2012) tarafından yapılan çalışmalar dikkate alınmıştır. Çözümleme detayları alt başlıklarda verilmiştir. Yapılan kabul ve referans sistemine göre önce diferansiyel denklem yöntemiyle yapının ilk 5 modu kullanılarak uygulanacak yöntem anlatılırken; daha sonra modal analiz ele alınmıştır.

Geometrik özellikleri ve yükleme dağılımı simetrik olan yapılar burulmasızdır. Burulmasız yapılarda, farklı düşey düzlemlerdeki taşıyıcı sistem elemanlarının kat seviyelerinde eşit yerdeğiştirmeler yaptığı kabul edilir. Bu kabule göre elastik eğri farklı düzlemlerdeki düşey elemanlar için aynı olur. Dolayısıyla farklı düzlemlerdeki taşıyıcı elemanlar tek bir düzleme indirgenerek bir sistem olarak incelenebilir. Farklı düzlemlerde bulunan taşıyıcı elemanların bir araya gelmesiyle oluşturulan hesap modelinde elemanlar kat seviyelerinde iki ucu da mafsallı rijit çubuklar ile bağlanmış durumdadır. Bu rijit çubuklar döşemelerin fonksiyonunu temsil eder (Bilyap 1979).

Betonarme yüksek yapılarda taşıyıcı sistemin yalnızca çerçeve elemanlardan oluşması durumunda, alt katlarda bulunan taşıyıcı elemanlardaki kesit tesirleri büyük değerlere ulaşır. Bu eleman boyutlandırma ve hesaplamalarında istenmeyen bir durumdur. Ekonomik ve güvenli bir yapı oluşturabilmek için perde elemanların kullanılması ile taşıyıcı sistemdeki iç kuvvetlerin dağılımı değişir. Ayrıca perde elemanların kullanılması çerçeve sistem elemanlarının yapı yüksekliği boyunca sabit kalabilmesine izin verip yapı için standart bir boyutlandırma yapılmasına imkân tanır. Perde elemanların bu avantajları göz önünde bulundurularak, betonarme yüksek yapıların depreme dayanıklı tasarımı yapılırken perdeli-çerçeve sistemlerin kullanılması güvenilir ve ekonomik bir tasarım yapılmasına olanak sağlar.

3.1. Yapılan Kabuller

Çok katlı bir kayma çerçevesinin yatay deprem yükleri altındaki şekil değiştirmesi dikkate alınarak kullanılacak diferansiyel hesap yönteminde;

- Malzemelerin lineer elastik olduğu,
- Her bir kat döşemesinin düzlemi içinde sonsuz rijit olduğu,
- Geometrik özellikler ve yükleme durumu tamamen simetrik olduğu için sistemin burulmasız olduğu,
- Perde elemanlarda Euler-Bernoulli Kiriş Teorisi bağıntılarının geçerli olduğu,
- Kat yüksekliğinin yapı yüksekliği boyunca tüm katlarda sabit kaldığı,
- Elastik eğri denkleminin tüm düzlemlerde aynı olduğu ve
- Çerçeve sistem taşıyıcı elemanları kolon ve kirişlerin yapı yüksekliği boyunca sabit kaldıkları kabulleri yapılmıştır (Bilyap 1979).

3.2. Analitik Statik Analiz Yöntemi

1960’lardan itibaren etkileşimde olan çerçeve ve perde elemanlardan oluşan düzlem yapıların statik ve dinamik analizleri için diferansiyel denklem yöntemi üzerine önemli çalışmalar yapılmıştır. II. Dünya Savaşı sonrasında Avrupa’da ortaya çıkan acil konut ihtiyacını gidermek için inşa edilen yüksek katlı betonarme yapıların rüzgâr yüklerinin doğru bir şekilde analiz edilmesi gerekmiştir. Bu durum diferansiyel denklem yöntemi üzerine olan çalışmaları artırmıştır. İnşa edilen yapıların çoğunda, yatay yükleri karşılayacak yeterli rijitlik ve dayanıklılığı sağlamak için çekirdek veya perde elemanlar kullanılmıştır. Başlangıçta tasarım ofislerinde basit ama güvenilir bir el hesabı yöntemi olarak geliştirilen diferansiyel denklem yöntemi, daha sonra yüksek katlı yapıların dinamik özelliklerini hesaplamak için kullanılmıştır. Günümüzde sonlu eleman yazılımları kullanılarak 3 boyutlu yapı modelleri kolay ve hızlı bir şekilde oluşturulup analizleri yapılabilirken, bu yöntemle yapıyı temsil eden tek bir parametre olan αH ’a indirgenerek, her bir yapıyı temsil eden detaylı modelleme ihtiyacı ortadan kaldırılabilmektedir. Bu yöntem toplam ve ara kat kayması gibi prosedürler için kullanılabilir olduğu gibi parametrik çalışmalar için de uygundur (Kazaz 2010).

3. ANALİTİK MODELLEME YÖNTEMİ

Burada B ve S alt indisleri sırasıyla eğilme ve kesme kirişlerini temsil etmektedir. Ayrıca $w_{(x)}$ = dağıtılmış yatay yükü, $y_{(x)}$ = kirişin yatay sapmasını, EI eğilme kirişinin eğilme rijitliğini, GA ise kesme kirişinin kayma rijitliğini ifade etmektedir.

Verilen ana diferansiyel denklemlere ek olarak gerilme sonuçlarını hesaplamak için kullanılması gereken denklemler şunlardır:

$$S_B(x) = -\frac{dM_B(x)}{dx} \quad (3.3)$$

$$M_B(x) = EI \frac{d^2 y_B}{dx^2} \quad (3.4)$$

$$S_S(x) = -\frac{dM_S(x)}{dx} = GA \frac{dy_S}{dx} \quad (3.5)$$

Burada S ve M sırasıyla kesme kuvveti ve eğilme momentlerini temsil etmektedir.

Şekil 3.1 (a)'da gösterildiği gibi kesme kirişi ve eğilme kirişinin birbirleriyle bağlantılı olduğu kabul edilir. Bu durumda, her iki kirişin yükseklik boyunca tüm konumlarda aynı yatay yer değiştirmelere sahip olması gerekir. Şekil 3.1 (a)'da gösterilen uyumluluğu korumak için $q(x)$ büyüklüğünde bir yayılı yatay etkileşim kuvveti ve Q büyüklüğünde bir üst etkileşim kuvveti gerekir. Yoğun kuvvet Q yapının en üst noktasında her iki bileşenin de dengede olması için gereklidir. Burada bir kesme kirişi veya eğilme kirişi olarak adlandırılan birleşik elemanı temsil eden denklemler aşağıdaki gibidir:

$$EI \frac{d^4 y}{dx^4} = w_B(x) + q(x) \quad (3.6)$$

$$-GA \frac{d^2 y}{dx^2} = w_S(x) - q(x) \quad (3.7)$$

Denklem 3.6 ve 3.7'nin birleştirip EI 'ya bölünmesiyle;

$$\frac{d^4 y}{dx^4} - \alpha^2 \frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{w_x}{EI} \quad (3.8)$$

Burada $w_x = w_B(x) + w_S(x)$ ve

$$\alpha^2 = \frac{GA + \eta}{EI} \quad (3.9)$$

Burada yer alan η , perde elemana bağlı kirişlerin etkisini de dikkate almak üzere Kazaz (2010) tarafından yapılan çalışmadan alınarak dâhil edilmiştir. Bu değerin hesabı Bölüm 3.2.1'de anlatılmıştır.

w_0 büyüklüğünde düzgün yayılı bir yük olması durumunda, Denklem 3.8'in çözümü şu şekilde yazılabilir:

$$y(x) = C_1 + C_2 x + C_3 \cosh \alpha x + C_4 \sinh \alpha x - \frac{w_0 x^2}{2EI\alpha^2} \quad (3.10)$$

Burada C_1, C_2, C_3 ve C_4 değerleri, çözümün homojen kısmında sınır koşulları kullanılarak hesaplanacak sabitleri ifade etmektedir. Yüksek katlı betonarme bir yapı, tabanında yerdeğiştirme ve dönmenin sıfır olduğu, üst ucunda ise serbest olduğu düşey bir konsol kiriş olarak değerlendirilebilir. H yüksekliğinde kabul edilen bu kesme-eğilme konsol yapı için karşılık gelen sınır koşulları aşağıdaki gibidir:

$$y(0) = 0 \quad (3.11)$$

$$\frac{dy}{dx}(0) = 0 \quad (3.12)$$

$$M(H) = M_B(H) + M_S(H) = 0 \quad (3.13)$$

$$S(H) = S_B(H) + S_S(H) = 0 \quad (3.14)$$

Denge durumunda, kesme-eğilme konsol yapısında bileşenlerin her birinin serbest ucunda moment değerinin sıfır olması gerektiği için Denklem 3.13'te verilen sınır koşulu aşağıdaki gibi değiştirilebilir:

$$M_B(H) = EI \frac{d^2 y}{dx^2}(H) = 0 \quad (3.15)$$

Denklem 3.3 ve 3.5'in Denklem 3.14 ile düzenlenmesiyle,

$$S(H) = GA \frac{dy}{dx}(H) - EI \frac{d^3 y}{dx^3}(H) = 0 \quad (3.16)$$

Denklem 3.10'da verilen hareket denklemi için sabitler Denklem 3.11, 3.12, 3.13 ve 3.14 kullanılarak elde edilebilir. Bu da yer değiştirme için aşağıdaki denklemi verir:

$$y(x) = \frac{w_0 H^4}{EI (\alpha H)^4} \left\{ \left(\frac{\alpha H \sinh \alpha H + 1}{\cosh \alpha H} \right) (\cosh \alpha x - 1) - \alpha H \sinh \alpha x \right. \\ \left. + (\alpha H)^2 \left[\frac{x}{H} - \frac{1}{2} \left(\frac{x}{H} \right)^2 \right] \right\} \quad (3.17)$$

Gerilme sonuçları ve etkileşen kuvvet için ifadeler ise aşağıdaki gibidir:

$$\frac{M_B(x)}{M_0} = \frac{2}{(\alpha H)^2} \left[\left(\frac{\alpha H \sinh \alpha H + 1}{\cosh \alpha H} \right) \cosh \alpha x - \alpha H \sinh \alpha x - 1 \right] \quad (3.18)$$

$$\frac{M_S(x)}{M_0} = \left(1 - \frac{x}{H} \right)^2 - \frac{M_B(x)}{M_0} \quad (3.19)$$

$$\frac{S_B(x)}{S_0} = \frac{1}{\alpha H} \left[\alpha H \cosh \alpha x - \left(\frac{\alpha H \sinh \alpha H + 1}{\cosh \alpha H} \right) \sinh \alpha x \right] \quad (3.20)$$

$$\frac{S_S(x)}{S_0} = \left(1 - \frac{x}{H} \right) - \frac{S_B(x)}{S_0} \quad (3.21)$$

$$\frac{q(x)}{w_0} = \frac{w_s(x)}{w_0} + \frac{(\alpha H)^2}{2} \frac{M_B(x)}{M_0} \quad (3.22)$$

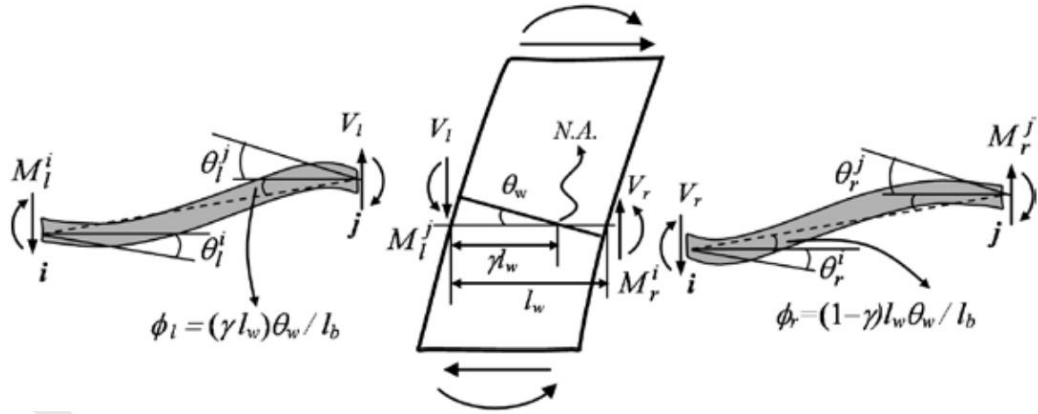
3.2.1. Kirişlerden perdeler aktarılan momentin etkisi (η hesabı)

η , perde elemana bağlı kirişlerin etkisini de dikkate almak üzere Kazaz (2010) tarafından yapılan çalışmadan alınarak dâhil edilmiştir. Bu çalışmaya göre; kiriş uç momentleri ve kesme kuvvetleri tarafından oluşturulan dağıtılmış kiriş momentleri, Şekil 3.2’de verilen serbest cisim diyagramı ile hesaplanabilir. Bağlantı kirişlerinin uçlarındaki dönme açısı birleşim ve kiriş momentlerinin toplamını ifade eder. Eğim eğrilik denklemleri, perde elemanın çekme ve basınç tarafındaki kiriş uç momentlerini hesaplamak için kullanılır (Kazaz 2010). Bu denklemler aşağıdaki gibidir:

$$M_l^j = \frac{2EI_b^j}{l_b} (2\theta_l^j + \theta_l^i + 3\phi_l) + M_{ij}^F \quad (3.23)$$

$$M_r^i = \frac{2EI_b^i}{l_b} (2\theta_r^i + \theta_r^j + 3\phi_r) - M_{ij}^F \quad (3.24)$$

Burada l ve r alt indisleri sırasıyla sol ve sağ kirişleri temsil etmektedir.



Şekil 3.2. Aktarılan kiriş momentlerini ve dağıtılan momenti üretmek için perde-kiriş sistemin deformasyon konfigürasyonu (Kazaz and Gülkan 2012).

Perde tarafındaki kiriş uç dönmeleri uyumluluk nedeniyle duvar dönmelerine eşit olacaktır. ($\theta_l^j = \theta_r^i = \theta_w$) Aynı zamanda kiriş uç dönme açılarının kolon tarafındaki uçlarda da perde tarafındaki kiriş uç momentlerine eşit alınabileceği kabul edilmiştir.

3. ANALİTİK MODELLEME YÖNTEMİ

Bilinen bir tarafsız eksen derinliği c için perde uç gerilmesinde bağlı olarak kiriş kord dönme açısı Denklem 3.25 ile hesaplanır:

$$\phi_l = \frac{\gamma l_w \theta_w}{l_b} \quad (3.25)$$

Burada γ çatlamış bölgenin tarafsız eksen ile en büyük gerilme lifi arasındaki uzunluğun perde elemanın uzunluğuna oranıdır. $[(l_w - c)/l_w]$ Lineer analiz için γ değeri 0,5 olarak kabul edilmiştir. Denklem 3.23 ve 3.24'te yerine koyulduğunda;

$$M_l^j = \frac{6EI_l^j}{l_b} \left(1 + \frac{\gamma l_w}{l_b}\right) \theta_w + M_{ij}^F \quad (3.26)$$

$$M_r^j = \frac{6EI_r^j}{l_b} \left(1 + \frac{(1-\gamma)l_w}{l_b}\right) \theta_w - M_{ij}^F \quad (3.27)$$

Perdenin yükselen tarafında kiriş flanş ve alçalan tarafında alt yüzey gerilime maruz kalır. Bu nedenle çatlama durumu göz önünde bulundurulacaksa Denklem 3.23, 3.24, 3.26 ve 3.27'de kullanılan kiriş eğilme rijitlikleri farklı olabilir.

Kiriş dönme açılarının her iki ucunda eşit olduğu varsayımıyla, kirişlerde perde elemanlara aktarılan kesme kuvvetlerinin hesabı aşağıdaki gibidir:

$$V_l = \frac{M_l^i + M_l^j}{l_b} \quad \text{ve} \quad V_r = \frac{M_r^i + M_r^j}{l_b} \quad (3.28)$$

İlgili ifadeleri dağıtarak ve kirişlerden gelen momentleri toplayarak, kiriş kesme kuvvetleri tarafından perde elemanın merkez hattında oluşturulan momentin hesaplanmasıyla, i . katta perde elemana etki eden moment Denklem 3.29 ile ifade edilir:

$$M_{b,i} = M_l^j + M_r^i + \frac{l_w}{2} (V_l + V_r) \quad (3.29)$$

Perde elemanın her iki ucunda eşit uzunlukta ve tüm uçlarda eşit eğilme rijitliğine sahip kirişler olduğunu göz önünde bulundurarak ve $\theta_w = \frac{dy}{dx}$ 'i yerleştirerek Denklem 3.29 şu şekilde yazılabilir:

$$M_{b,i} = \frac{6EI_b}{l_b} \left(1 + \frac{l_w}{l_b}\right) \left(2 + \frac{l_w}{l_b}\right) \frac{dy}{dx} \quad (3.30)$$

Bu moment değerinin iki yarım kat yüksekliğine (h) dağıtarak, dağıtılan momentin ifadesi elde edilir:

$$m(x) = \frac{6EI_b}{l_b h} \left(1 + \frac{l_w}{l_b}\right) \left(2 + \frac{l_w}{l_b}\right) \frac{dy}{dx} = \eta \frac{dy}{dx} \quad (3.31)$$

3.3. Analitik Modal Analiz Yöntemi

Yatay deprem yüklerinin etkisi hesaba katıldığında, eşdeğer statik yükün tavsiye edilen büyüklüğü genelde yapının hâkim titreşim periyodunun bir fonksiyonu olan yaklaşık ters üçgen yükleme durumudur. Kayma-eğilme kirişinin 3.1’de anlatılmış olan temel matematiksel model, üniform perde elemanlar ve çerçevelerden oluşan betonarme yapının dinamik özelliklerini belirlemek için de kullanılabilir.

Serbest titreşim durumunda Denklem 3.8’de yer alan yükleme terimi aşağıdaki şekli alır:

$$w(x, t) = -\rho A \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} \quad (3.32)$$

Burada ρ üniform yapının birim hacminin kütlesini ifade etmektedir. Denklem 3.32’deki verilerin Denklem 3.8’e yerleştirilmesiyle;

$$\frac{\partial^4 y}{\partial x^4} - a^2 \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} = -\frac{1}{a^2} \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} \quad (3.33)$$

$$\text{Burada } a^2 = \frac{EI}{\rho A} \quad (3.34)$$

Denklem 3.33 için aşağıdaki şekilde bir çarpım çözümü varsayarak;

$$y(x, t) = \psi(x) T(t) \quad (3.35)$$

ve $T(t) = \omega$ frekanslı bir harmonik fonksiyonu yerleştirerek;

$$\frac{d^4\psi}{dx^4} - \alpha^2 \frac{d^2\psi}{dx^2} - \kappa^4 \psi = 0 \quad (3.36)$$

$$\kappa^4 = \frac{\omega^2}{a^2} \quad (3.37)$$

Yapının yer değiştirme denklemi Denklem 3.36'nın çözümü aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$\psi(x) = C_1 \cos \lambda_1 x + C_2 \sin \lambda_1 x + C_3 \cosh \lambda_2 x + C_4 \sinh \lambda_2 x \quad (3.38)$$

Burada

$$\lambda_1^2 = \sqrt{\left(\frac{\alpha^2}{2}\right)^2 - \kappa^4} - \frac{\alpha^2}{2} \quad (3.39)$$

$$\lambda_2^2 = \lambda_1^2 + \alpha^2 \quad (3.40)$$

Modal analizdeki sınır koşulları statik durumdaki sınır koşulları ile aynıdır. Yani Denklem 3.11, 3.12, 3.13 ve 3.14'te verilen sınır koşulları geçerlidir. Sınır koşullarından elde edilen sabit değerleri Denklem 3.38'de yerine koyarak, aşağıdaki biçimde yazılabilen ana karakteristik denklem elde edilir:

$$2 + \left(\frac{\lambda_1^2}{\lambda_2^2} + \frac{\lambda_2^2}{\lambda_1^2}\right) \cos \lambda_1 H \cosh \lambda_2 H + \left(\frac{\lambda_2}{\lambda_1} - \frac{\lambda_1}{\lambda_2}\right) \sin \lambda_1 H \sinh \lambda_2 H = 0 \quad (3.41)$$

3. ANALİTİK MODELLEME YÖNTEMİ

$\alpha = 0$ ve $\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda_0$ olan saf eğilme durumunda Timoshenko tarafından $\lambda_0 H = 1,875, 4,694, 7,855, 10,996$ ve $14,137$ şeklinde önerilen ilk beş mod için çözümler kullanılarak aşağıdaki forma indirgenir (Heidebrecht ve Stafford Smith 1973):

$$1 + \cos \lambda_0 H \cosh \lambda_0 H = 0 \quad (3.42)$$

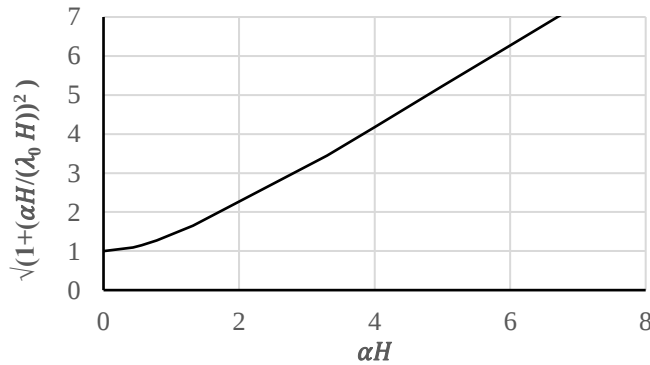
Denklem 3.41'in çözümleri, verilen herhangi bir αH değeri için yapılacak hesaplamalar ile deneme yanılma yöntemiyle de elde edilebilir. 0'dan 6'ya kadar değer alan bir αH aralığında elde edilen çözümlerin, bu aralık boyunca $\lambda_1 H \cong \lambda_0 H$ olduğunu göstermesi gerekir. Kullanılan değerlerle ilk modda %4, ikinci modda %7, üçüncü modda %2,5, dördüncü ve beşinci modlarda ise %1 maksimum hata vardır. Bunlar Denklem 3.37, 3.39 ve 3.40'da yerine yazılarak doğal frekansların tahminine olanak sağlar.

$$\omega = \omega_0 \sqrt{1 + \left(\frac{\alpha H}{\lambda_0 H} \right)^2} \quad (3.43)$$

Burada ω_0 aynı kütle ve rijitlik özelliklerine sahip bir eğilme kirişinin doğal frekansını ifade etmektedir.

$$\omega_0 = a \lambda_0^2 \quad (3.44)$$

Denklem 3.43'te bulunan ω_0 ile çarpılacak faktörün değişimi $\alpha H / \lambda_0 H$ parametresinin bir fonksiyonu olarak Şekil 3.3'te verilmiştir. Bu eğri kullanılarak ilk beş frekansı tahmin etmek için kullanılabilir.



Şekil 3.3. Frekans katsayısının değişimi (Heidebrecht ve Stafford Smith 1973)

3. ANALİTİK MODELLEME YÖNTEMİ

Denklem 3.38’de verilmiş olan hareket denkleminde yer alan sabit C_1, C_2, C_3 ve C_4 katsayılarını elde etmek için Denklem 3.11, 3.12, 3.13 ve 3.14 uygulandığında;

$$C_1 + C_3 = 0 \quad (3.45)$$

$$C_4 \lambda_2 H + C_2 \lambda_1 H = 0 \quad (3.46)$$

$$C_3 (\lambda_2 H)^2 \cosh \lambda_2 H + C_4 (\lambda_2 H)^2 \sinh \lambda_2 H - C_1 (\lambda_1 H)^2 \cos \lambda_1 H (\lambda_1 H)^2 \sin \lambda_1 H = 0 \quad (3.47)$$

$$C_3 \lambda_1 H \sinh \lambda_1 H + C_4 \lambda_1 H \cosh \lambda_1 H - C_1 \lambda_2 H \sin \lambda_2 H - C_2 \lambda_2 H \cos \lambda_2 H = 0 \quad (3.48)$$

Elde edilen bu eşitlikler yardımıyla değer olarak elde etmek mümkün olmayan C katsayıları birbirleri cinsinden elde edilmiştir:

$$C_1 = -C_3 \quad (3.49)$$

$$C_2 = C_3 \frac{\lambda_2^2 \cosh \lambda_2 H + \lambda_1^2 \cos \lambda_1 H}{\lambda_2 \lambda_1 \sinh \lambda_2 H + \lambda_1^2 \sin \lambda_1 H} \quad (3.50)$$

$$C_4 = -C_3 \frac{\lambda_2^2 \cosh \lambda_2 H + \lambda_1^2 \cos \lambda_1 H}{\lambda_2^2 \sinh \lambda_2 H + \lambda_2 \lambda_1 \sin \lambda_1 H} \quad (3.51)$$

$y(x)$ yapı hareket denklemini temsil etmek üzere elde edilen denklemler aşağıdaki gibidir:

$$y(x) = C_3 \left[\text{ch}(\lambda_2 x) - \frac{\lambda_2^2 \text{ch}(\lambda_2 H) + \lambda_1^2 \cos(\lambda_1 H)}{\lambda_2^2 \text{sh}(\lambda_2 H) + \lambda_2 \lambda_1 \sin(\lambda_1 H)} \text{sh}(\lambda_2 x) - \cos(\lambda_1 x) + \frac{\lambda_2^2 \text{ch}(\lambda_2 H) + \lambda_1^2 \cos(\lambda_1 H)}{\lambda_2 \lambda_1 \text{sh}(\lambda_2 H) + \lambda_1^2 \sin(\lambda_1 H)} \sin(\lambda_1 x) \right] \quad (3.52)$$

$$y'(x) = C_3 \left[\lambda_2 \text{sh}(\lambda_2 x) - \frac{\lambda_2^2 \text{ch}(\lambda_2 H) + \lambda_1^2 \cos(\lambda_1 H)}{\lambda_2 \text{sh}(\lambda_2 H) + \lambda_1 \sin(\lambda_1 H)} \text{ch}(\lambda_2 x) + \lambda_1 \sin(\lambda_1 x) + \frac{\lambda_2^2 \text{ch}(\lambda_2 H) + \lambda_1^2 \cos(\lambda_1 H)}{\lambda_2 \text{sh}(\lambda_2 H) + \lambda_1 \sin(\lambda_1 H)} \cos(\lambda_1 x) \right] \quad (3.53)$$

$$y''(x) = C_3 \left[\lambda_2^2 \text{ch}(\lambda_2 x) - \frac{\lambda_2^2 \text{ch}(\lambda_2 H) + \lambda_1^2 \cos(\lambda_1 H)}{\lambda_2 \text{sh}(\lambda_2 H) + \lambda_1 \sin(\lambda_1 H)} \lambda_2 \text{sh}(\lambda_2 x) + \lambda_1^2 \cos(\lambda_1 x) - \frac{\lambda_2^2 \text{ch}(\lambda_2 H) + \lambda_1^2 \cos(\lambda_1 H)}{\lambda_2 \text{sh}(\lambda_2 H) + \lambda_1 \sin(\lambda_1 H)} \lambda_1 \sin(\lambda_1 x) \right] \quad (3.54)$$

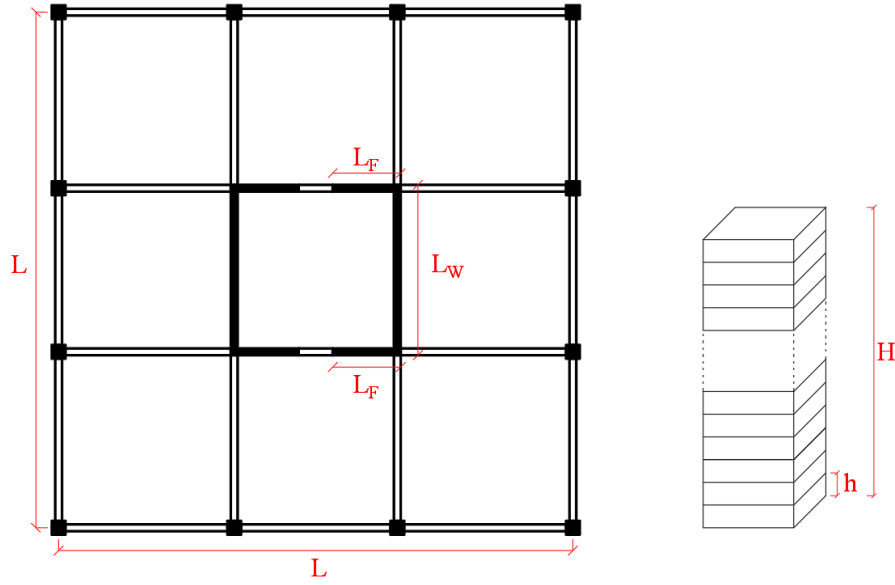
$$y'''(x) = C_3 \left[\lambda_2^3 \text{sh}(\lambda_2 x) - \frac{\lambda_2^2 \text{ch}(\lambda_2 H) + \lambda_1^2 \cos(\lambda_1 H)}{\lambda_2 \text{sh}(\lambda_2 H) + \lambda_1 \sin(\lambda_1 H)} \lambda_2^2 \text{ch}(\lambda_2 x) - \lambda_1^3 \sin(\lambda_1 x) - \frac{\lambda_2^2 \text{ch}(\lambda_2 H) + \lambda_1^2 \cos(\lambda_1 H)}{\lambda_2 \text{sh}(\lambda_2 H) + \lambda_1 \sin(\lambda_1 H)} \lambda_1^2 \cos(\lambda_1 x) \right] \quad (3.55)$$

$$y^{IV}(x) = C_3 \left[\lambda_2^4 \text{ch}(\lambda_2 x) - \frac{\lambda_2^2 \text{ch}(\lambda_2 H) + \lambda_1^2 \cos(\lambda_1 H)}{\lambda_2 \text{sh}(\lambda_2 H) + \lambda_1 \sin(\lambda_1 H)} \lambda_2^3 \text{sh}(\lambda_2 x) - \lambda_1^4 \cos(\lambda_1 x) + \frac{\lambda_2^2 \text{ch}(\lambda_2 H) + \lambda_1^2 \cos(\lambda_1 H)}{\lambda_2 \text{sh}(\lambda_2 H) + \lambda_1 \sin(\lambda_1 H)} \lambda_1^3 \sin(\lambda_1 x) \right] \quad (3.56)$$

4. MODELLERİN SEÇİMİ ve TASARIMI

4.1. Modellerin Temel Özellikleri

İncelemek için seçilen sistemlerde kat yüksekliği sabit 3 metre alınarak kat yüksekliği 10, 20 ve 30 katlı olmak üzere değiştirilmiştir. Çalışılan modellerde bina merkezinde konumlandırılmış rijitliği yüksek bağ kirişlerle birleştirilen iki U kesitli betonarme perdeden oluşan çekirdek perde sistemi yer almaktadır. Kat alanı sabit tutulmak üzere her bina kat sayısı için 3 farklı perde boyutu seçilmiş ve çerçeve sistemi buna göre düzenlenmiştir. Perde-çerçeve etkileşim oranını incelemek üzere oluşturulan tüm modellerde plak döşemeli ve kirişli iki farklı sistem kullanılarak 18 ana model elde edilmiştir.



Şekil 4.1. İncelenen yapı modellerine ait örnek kat planı

Şekil 4.1’te örnek kat planı verilen modellerin temel özellikleri Çizelge 4.1’de yer almaktadır. Bu şekilde h kat yüksekliğini, H bina yüksekliğini, L kat yapının toplam açıklığını, L_W perde gövdesinin plandaki uzunluğunu, L_F perde başlıklarının plandaki uzunluğunu ifade etmektedir. Tüm modellerin kat planları ve boyutları EK 1’de yer almaktadır.

4. MODELLERİN SEÇİMİ ve TASARIMI

Modeller isimlendirilirken “Kat Sayısı-Perde Gövdesinin Plandaki Uzunluğu-Döşeme Sistemi” sıralamasını gösterecek şekilde isimlendirilmiştir. Kat sayısı 10, 20 ve 30 olmak üzere 3 yükseklik sınıfı bulunmaktadır. Perde gövdesinin plandaki uzunluğu her yükseklik sınıfında kendi içinde 3 farklı değerde alınmıştır. Yapının açıklığı sabit tutulurken çekirdek perde boyutları değiştirilerek perde oranı değiştirilmiştir. Değiştirilen perde boyutlarına göre çerçeve sistem boyutları ve plandaki eleman açıklıkları düzenlenmiştir. İsimlendirmenin son kısmı olan döşeme sistemi ifadesi plak döşemeli ve kirişli sistemleri ifade etmek için kullanılmıştır. Plak döşemeli modeller “P” ile ifade edilirken kirişli sistemler T kesitli kirişler kullanıldığı için “T” ile ifade edilmiştir. Bu isimlendirme yöntemine göre isimlendirilmiş, bu kısımdan sonra kullanılacak isimlerine göre 18 modelin beton ve çelik malzeme sınıflarına ve Şekil 4.1’de verilen örnek kat planına göre seçilen perde uzunlukları Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Modellere Ait Temel Özellikler

Model	Beton Sınıfı	Çelik Sınıfı	h (m)	Kat Sayısı	H (m)	L (m)	Kat Alanı (m ²)	L _w (m)	L _F (m)
10-3-P	C30	S420	3	10	30	22,7	515,3	3	1,2
10-3-T								3	1,2
10-5-P								5	2
10-5-T								5	2
10-7,5-P								7,5	3
10-7,5-T								7,5	3
20-5-P	C40	S420	3	20	60	25,1	630,0	5	2
20-5-T								5	2
20-7,5-P								7,5	3
20-7,5-T								7,5	3
20-10-P								10	4
20-10-T								10	4
30-6-P	C50	S420	3	30	90	27,6	761,8	6	2,4
30-6-T								6	2,4
30-9-P								9	3,6
30-9-T								9	3,6
30-13-P								13	5,2
30-13-T								13	5,2

4.2. Modellerin Taşıyıcı sistem Elemanlarının Boyutlandırılması

Bu bölümde kat planları oluşturulan modellerin her biri için yönetmelik ve standartlarda verilen şartlar dikkate alınarak betonarme taşıyıcı sistem elemanlarının boyutlandırılması yapılmıştır.

4.2.1. Döşeme tasarımları ve yüklerin belirlenmesi

Plak döşemeli modellerde TS 500'e göre tablasız çift doğrultuda çalışan plak döşemeler için döşeme kalınlığı sınır değerleri;

$$h_f \geq \frac{l_n}{30} \text{ ve } h_f \geq 200 \text{ mm} \quad (4.1)$$

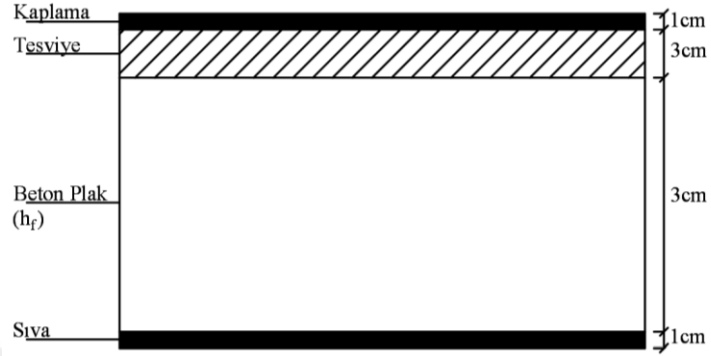
Kirişli modellerde ise TS 500'e göre çift doğrultuda çalışan döşemeler için döşeme kalınlığı sınır değerleri;

$$h_f \geq \frac{l_n}{15 + \frac{20}{m}} \times \left(1 - \frac{\alpha_s}{4}\right) \text{ ve } h_f \geq 80 \text{ mm} \quad (4.2)$$

dikkate alınarak döşeme kalınlıkları belirlenmiştir. Burada h_f döşeme kalınlığı, l_n kısa kenar uzunluğu, m uzun kenar açıklığının kısa kenara oranı, α_s ise toplam sürekli kenar uzunluğunun toplam kenar uzunluğuna oranını ifade etmektedir. Elde edilen döşeme kalınlıkları kullanılarak tipik bir döşeme enkesiti kabul edilerek döşeme tasarım yükleri hesaplanmıştır. Tasarım yükü hesabında hareketli yük TS 498'den alınan Çizelge 4.2'ye göre 2 kN/m^2 kabul edilmiştir. Şekil 4.2'de örnek bir döşeme enkesiti ve tasarım yükü hesabı verilmiştir. Tüm modeller için belirlenen h_f ve Pd değerleri Çizelge 4.3'te verilmiştir.

Çizelge 4.2. Kullanım şekline bağlı olarak üzgün yayılı hareketli yük tablosu (TS 498)

Kullanma Şekli				Hesap Değeri
	ÇATILAR Yatay veya 1/20'ye kadar eğimli	Döşemeler	MERDİVENLER (Sahanlık ve merdiven girişi dahil)	kN/m ²
1		Çatı arası odalar		1,5
2	Zaman zaman kullanılan çatılar	Konut, teras oda ve koridorlar, bürolar, konutlardaki 50 m ² 'ye kadar olan dükkanlar, hastane odaları		2



Şekil 4.2. Örnek bir döşeme enkesiti

$$\text{Kaplama} : 0,01 \times 22 = 0,22 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Tesviye} : 0,03 \times 22 = 0,66 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Betonarme Plak} : 0,20 \times 25 = 5 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Sıva} : 0,01 \times 22 = 0,22 \text{ kN/m}^2$$

$$\Sigma G = 0,25 + 1,1 + 5 + 0,44 = 6,79 \text{ kN/m}^2$$

$$\Sigma Q = 2 \text{ kN/m}^2$$

$$Pd = 1,4 G + 1,6 Q = 11,74 \text{ kN/m}^2$$

Çizelge 4.3. Modellerin döşeme tasarım yükleri

Model	h_f (m)	Pd (kN/m ²)
10-3-P	0,20	11,74
10-3-T	0,15	10,00
10-5-P	0,20	11,74
10-5-T	0,15	10,00
10-7,5-P	0,25	13,50
10-7,5-T	0,20	11,74
20-5-P	0,20	11,74
20-5-T	0,15	10,00
20-7,5-P	0,25	13,50
20-7,5-T	0,20	11,74
20-10-P	0,25	13,50
20-10-T	0,20	11,74
30-6-P	0,20	11,74
30-6-T	0,15	10,00
30-9-P	0,25	13,50
30-9-T	0,25	13,50
30-13-P	0,25	13,50
30-13-T	0,20	11,74

4.2.2. Kolon ön boyutlandırması

Kolonların ön boyutlandırması için her modelde en alt kat kolonlarından kritik olanlar seçilerek işleme alınmıştır. Döşeme ağırlığı, kiriş ağırlığı ve kolonun kendi ağırlığı dikkate alınarak hesaplanan eksenel yüklere göre;

$$N_d \leq 0,40 f_{ck} A_{ci} \quad (4.3)$$

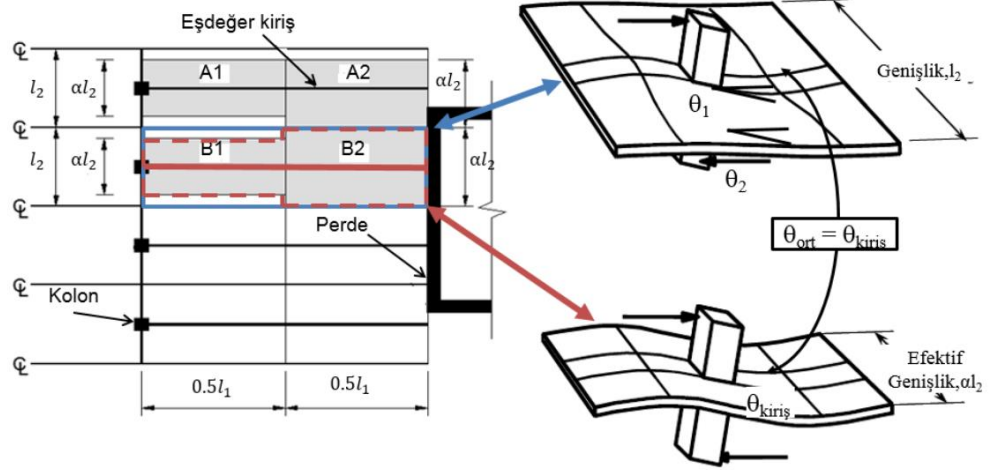
koşulunu sağlamak üzere boyutlandırma yapılmıştır. Burada N_d kolona etkiyen eksenel yükü, f_{ck} betonun karakteristik basınç dayanımını, A_{ci} ise kolon enkesit alanını ifade etmektedir. Tüm modellerde kolonlarda kare kesit kabulü ($b = h$) yapılarak hesaplanan eleman boyutları Çizelge 4.4’te verilmiştir.

Çizelge 4.4. Modellerin kolon boyutları

Model	Kolon Sayısı	$b = h$ (m)
10-3-P	32	0,5
10-3-T	32	0,5
10-5-P	32	0,5
10-5-T	32	0,5
10-7,5-P	12	0,6
10-7,5-T	12	0,6
20-5-P	32	0,6
20-5-T	32	0,6
20-7,5-P	32	0,6
20-7,5-T	32	0,6
20-10-P	16	0,7
20-10-T	16	0,6
30-6-P	32	0,7
30-6-T	32	0,7
30-9-P	32	0,8
30-9-T	32	0,8
30-13-P	16	0,7
30-13-T	16	0,7

4.2.3. Plak döşemeli sistemlerde efektif kiriş genişliği

Plak döşemeli modeller için aşağıda özetlenen yaklaşıma göre efektif kiriş konsepti kullanılarak kiriş boyutları belirlenmiştir. Şekil 4.3'te tipik kolon döşeme bağlantısı verilmiştir. Görüldüğü üzere düğüm noktasının dönmeye maruz kaldığı anda döşeme kolonlar ile birlikte dönerken, daha uzakta yer alan parçalar aynı dönmeyi gösteremez. Efektif kiriş genişliği kullanılarak belirli bir yatay genişlik boyunca dönmeye maruz kalan döşeme parçasının hesaba katılması sağlanır. Kiriş derinliği döşeme derinliği kabul edilirken kiriş genişliği döşemenin yatay genişliğinin belirli bir kısmını ifade edecek şekilde modellenir (Hwang ve Moehle 2000; Ayazoğlu ve Erkuş 2015).



Şekil 4.3. Eşdeğer kiriş konsepti (Ayazoğlu ve Erkuş 2015)

Banchik (1987) sonlu elemanlar tekniği kullanılarak döşemelerde kullanılacak efektif kiriş genişliği için kare kolonların bulundukları birleşim bölgesine göre ayrı çözümler sunmuştur. Hwang and Moehle (2000) bu çözümlerden yararlanarak aşağıdaki denklemleri önermiştir:

$$\text{Orta kolonlar: } b = 2 c_1 + l_1/3 \quad (4.4)$$

$$\text{Kenar kolonlar: } b = c_1 + l_1/6 \quad (4.5)$$

Burada c_1 kolonun hesap doğrultusundaki boyutu, l_1 hesap yapılan doğrultudaki açıklığın merkezden merkeze uzaklığı, b ise efektif kiriş genişliğidir. Yukarıdaki denklemlerde verilen formüller döşeme kiriş elemanlarının rijit bir şekilde birleştiği varsayımı altında yapılmıştır.

Plak döşemeli modeller için hesaplanan efektif kiriş genişlikleri Çizelge 4.5'te verilmiştir.

Çizelge 4.5. Plak döşemeli modellerin efektif kiriş genişlikleri

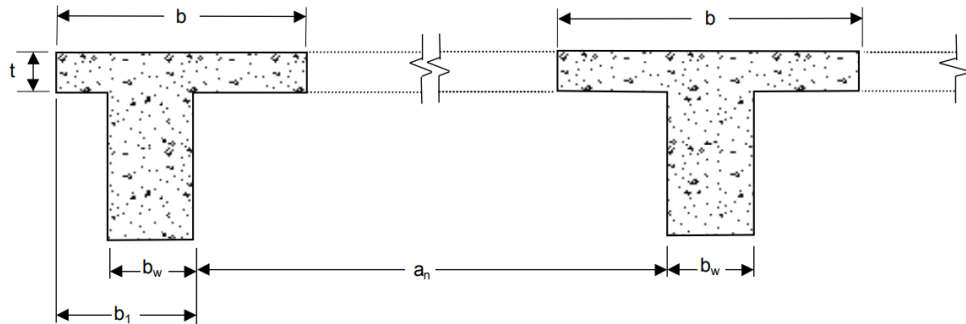
Model	Efektif Kiriş Genişliği (m)
10-3-P	2,15
10-5-P	2,10
10-7,5-P	2,65
20-5-P	2,55
20-7,5-P	2,30
20-10-P	2,60
30-6-P	2,50
30-9-P	2,80
30-13-P	2,90

4.2.4. Kirişli döşemeli sistemlerin kiriş boyutlandırması

Kirişli döşemeli sistemlerde TS 500’de verilen T kesitli simetrik kesitlerde etkili tabla genişliği hesabında dikkate alınacak

$$b = b_w + 0,2 l_p \quad (4.6)$$

sınır koşulu dikkate alınarak kiriş boyutlandırılması yapılmıştır. Şekil 4.4’te b tabla genişliğini, b_w kiriş gövde genişliğini, l_p ise kirişin iki moment sıfır noktası arasındaki uzunluğu ifade eder. Bu uzunluk kirişin mesnet durumuna göre yine TS 500’den alınan Denklem 4.7’de verilen koşullara göre hesaplanmaktadır.

**Şekil 4.4.** Etkili tabla genişliği

$$\ell_p = 1,0 \ell \text{ (Tek açıklıklı, basit mesnetli kiriş)} \quad (4.7)$$

$$= 0,8 \ell \text{ (Sürekli kiriş kenar açıklığı)}$$

$$= 0,6 \ell \text{ (Sürekli kiriş iç açıklığı)}$$

$$= 1,5 \ell \text{ (Konsol kiriş)}$$

T kirişli tüm modellere ait boyutlar Çizelge 4.6’da verilmiştir. h ile ifade edilen boyut kesit derinliğini ifade etmektedir.

Çizelge 4.6. Kirişli modellerin kiriş boyutları

Model	b (m)	b _w (m)	t (m)	h (m)
10-3-T	1,10	0,4	0,15	0,60
10-5-T	1,05	0,4	0,15	0,60
10-7,5-T	1,55	0,4	0,20	0,65
20-5-T	1,10	0,4	0,15	0,60
20-7,5-T	1,10	0,4	0,20	0,60
20-10-T	1,50	0,4	0,20	0,65
30-6-T	1,20	0,4	0,15	0,60
30-9-T	1,20	0,4	0,25	0,60
30-13-T	1,50	0,4	0,20	0,65

4.2.5. Perde ön boyutlandırması

Perdelerin ön boyutlandırmasında döşeme ağırlığı, kiriş ağırlığı ve perdenin kendi ağırlığı dikkate alınarak hesaplanan eksenel yüklere göre;

$$A_c \geq N_{dm} / (0.2 f_{ck}) \quad (4.8)$$

koşulunu sağlamak üzere A_c ile ifade edilen perde enkesit alanı hesaplanmıştır. Burada N_{dm} perdeye etkiyen eksenel yük, f_{ck} betonun karakteristik basınç dayanımıdır. Plandaki uzunlukları belli olan perdelerin A_c değerlerine göre perde kalınlıkları (t_w) belirlenmiştir. Tüm modellerin perde boyutları Çizelge 4.7’de verilmiştir.

Çizelge 4.7. Modellerin perde boyutları

Model	L_w (m)	L_F (m)	t_w (m)
10-3-P	3	1,2	0,30
10-3-T	3	1,2	0,30
10-5-P	5	2	0,30
10-5-T	5	2	0,30
10-7,5-P	7,5	3	0,30
10-7,5-T	7,5	3	0,30
20-5-P	5	2	0,30
20-5-T	5	2	0,30
20-7,5-P	7,5	3	0,30
20-7,5-T	7,5	3	0,30
20-10-P	10	4	0,40
20-10-T	10	4	0,35
30-6-P	6	2,4	0,35
30-6-T	6	2,4	0,3
30-9-P	9	3,6	0,35
30-9-T	9	3,6	0,35
30-13-P	13	5,2	0,50
30-13-T	13	5,2	0,45

4.2.6. Perde donatı koşullarının belirlenmesi

Perde elemanların ön boyutlandırma hesaplamaları tamamlandıktan sonra TBDY 2018’de betonarme perde elemanların donatı koşulları dikkate alınarak donatı hesaplamaları yapılmıştır. Minimum donatı koşulları kullanılarak oluşturulan kesitlerin daha sonra Bölüm 8.2’de anlatıldığı gibi bilgisayar modelleri kullanılarak kesit hesapları ile edilen moment kapasiteleri, analitik modal analiz ile elde edilen moment kapasiteleri ile karşılaştırılmıştır. Minimum donatı koşulları ile yeterli moment kapasitesini sağlamayan kesitlerde donatı oranı yeniden düzenlenerek istenen moment kapasitelerini veren perde eleman kesitleri elde edilmiştir.

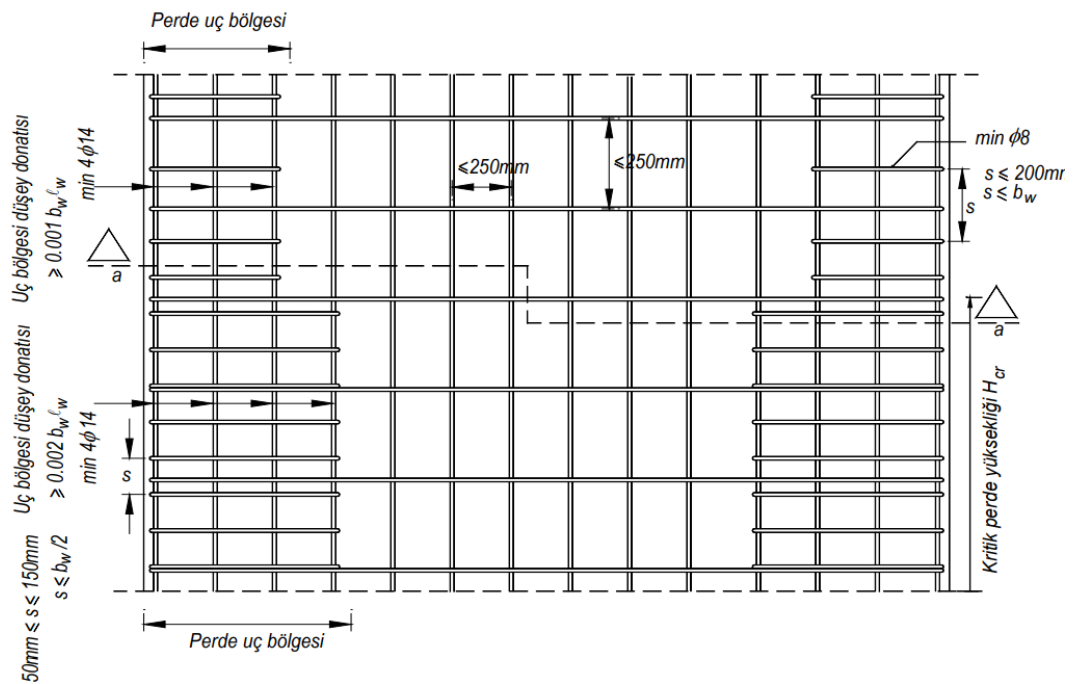
Yönetmeliğe göre $H_w/\ell_w > 2$ olan perdelerde kesitin her iki ucunda *perde uç bölgesi* oluşturulmalıdır. Ayrıca *kritik perde yüksekliği* temel üstünden veya perdenin plandaki uzunluğunun %20’den daha fazla küçüldüğü seviyeden itibaren

$2\ell_w$ değerini aşmamak koşuluyla Denklem 4.9’da verilen koşullardan en elverişsiz olanı seçilerek belirlenecektir.

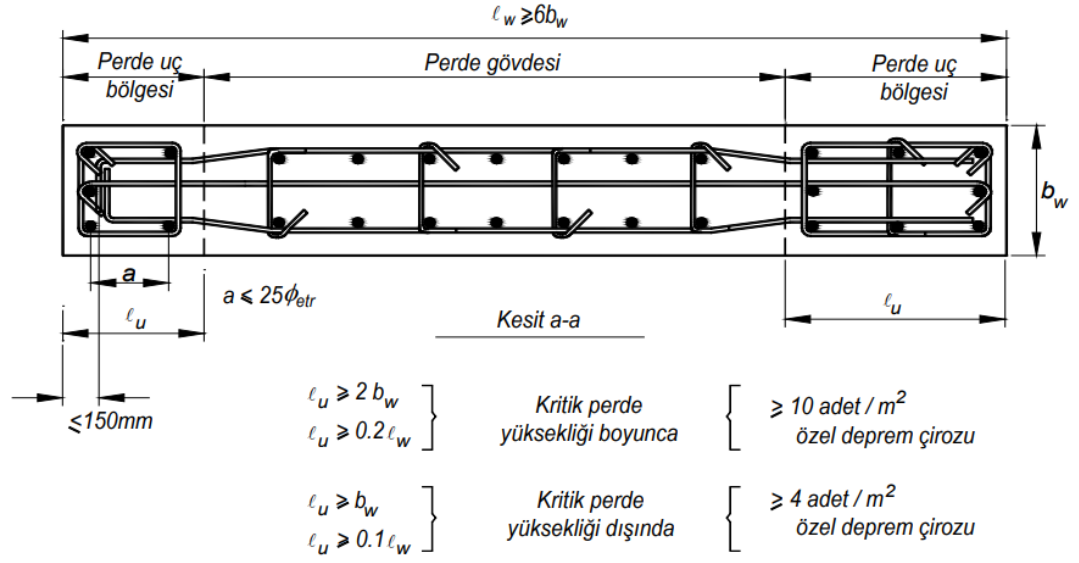
$$2\ell_w \geq H_{cr} \geq \max[\ell_w; H_w/6] \quad (4.9)$$

Burada H_{cr} kritik perde yüksekliğini, ℓ_w perden elemanın plandaki uzunluğunu, H_w temel üstünden veya perdenin plandaki uzunluğunun %20’den fazla küçüldüğü veya kesit genişliğinin yarıdan fazla küçüldüğü, yani perdenin brüt kesit eğilme rijitliğinin yarıya indiği seviyeden itibaren ölçülen perde yüksekliğini temsil etmektedir.

Yönetmeliğe göre boyuna ve enine donatılar için, perdenin her iki yüzünde bulunan gövde donatılarının toplam alanı, perde gövde alanının 0,0025’inden az olmamalıdır. *Kritik perde yüksekliği* boyunca perde uç bölgelerinin her birinde düşey donatı alanının perde enkesit alanına oranı 0,002’den küçük olmamalıdır. Bu yüksekliğin üstünde ise bu oran 0,001’den az olmamalıdır. Perde uç bölgelerinde boyuna donatı miktarı $4\phi 14$ ’ten az olmamalı, boyuna donatı oranı ise 0,03’ü geçmemelidir. Yönetmelikte betonarme perde elemanların donatı koşulları için verilen sınır değerleri ve şartların özeti Şekil 4.5 ve 4.6’da gösterilmiştir.



Şekil 4.5. Perde donatı koşulları (TBDY 2018)



Şekil 4.6. Perde donatı koşulları (TBDY 2018)

Yapılan hesaplamalar sonucunda 24 modele ait boyutlar ve eleman özellikleri EK 2’de verilmiştir.

5. TASARIM SPEKTRUMUNUN BELİRLENMESİ

İncelenen modellerde kullanılacak tasarım spektrumunun seçimi için MTA Diri Fay Haritaları kullanılmıştır. (Anonim 2023). Kuzey Anadolu Fay hattında, faya uzaklığı 20 km olan 40,88203° enleminde ve 29,550265° boylamında bulunan nokta seçilmiştir. Zemin sınıfı TBDY 2018’de yer alan, Çizelge 5.1’deki yerel zemin sınıflarından ZC (Çok sıkı kum, çakıl ve sert kil tabakaları veya ayrıışmış, çok çatlaklı zayıf kayalar) kabul edilmiştir. Yine yönetmeliğe göre deprem yer hareketi düzeyi, 50 yılda aşılma olasılığı %10 (tekrarlanma periyodu 475 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi olan DD-2 olarak belirlenmiştir.

Çizelge 5.1. Yerel zemin sınıfları (TBDY 2018)

Yerel Zemin Sınıfı	Zemin Cinsi	Üst 30 metrede ortalama		
		$(V_s)_{30}$ [m/s]	$(N_{60})_{30}$ [darbe/30 cm]	$(c_u)_{30}$ [kPa]
ZA	Sağlam, sert kayalar	> 1500	–	–
ZB	Az ayrıışmış, orta sağlam kayalar	760 – 1500	–	–
ZC	Çok sıkı kum, çakıl ve sert kil tabakaları veya ayrıışmış, çok çatlaklı zayıf kayalar	360 – 760	> 50	> 250
ZD	Orta sıkı – sıkı kum, çakıl veya çok katı kil tabakaları	180 – 360	15 – 50	70 – 250
ZE	Gevşek kum, çakıl veya yumuşak – katı kil tabakaları veya $PI > 20$ ve $w > \% 40$ koşullarını sağlayan toplamda 3 metreden daha kalın yumuşak kil tabakası ($c_u < 25$ kPa) içeren profiller	< 180	< 15	< 70
ZF	Sahaya özel araştırma ve değerlendirme gerektiren zeminler: 1) Deprem etkisi altında çökme ve potansiyel göçme riskine sahip zeminler (sıvılaşılabılır zeminler, yüksek derecede hassas killler, göçebilir zayıf çimentolu zeminler vb.), 2) Toplam kalınlığı 3 metreden fazla turba ve/veya organik içeriği yüksek killler, 3) Toplam kalınlığı 8 metreden fazla olan yüksek plastisiteli ($PI > 50$) killler, 4) Çok kalın (> 35 m) yumuşak veya orta katı killler.			

Yapılan kabullere göre AFAD Türkiye Deprem Tehlikeleri Haritaları (Anonim 2023) kullanılarak harita spektral ivme katsayıları S_S ve S_1 alınmıştır. Bu değerler yönetmelikte yer alan ve Çizelge 5.2 ve 5.3’te gösterilen yerel zemin etki katsayıları F_S ve F_1 ile çarpılarak tasarım spektral ivme katsayıları S_{DS} ve S_{D1} ‘e dönüştürülmüştür.

$$S_{DS} = S_S F_S \quad (5.1)$$

$$S_{D1} = S_1 F_1 \quad (5.2)$$

S_s = Kısa periyot *harita spektral ivme katsayısı*,

S_1 = 1,0 saniye periyot için *harita spektral ivme katsayısıdır*.

Çizelge 5.2. Kısa periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayıları (TBDY 2018)

Yerel Zemin Sınıfı	Kısa periyot bölgesi için <i>Yerel Zemin Etki Katsayısı</i> F_s					
	$S_s \leq 0.25$	$S_s = 0.50$	$S_s = 0.75$	$S_s = 1.00$	$S_s = 1.25$	$S_s \geq 1.50$
ZA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZB	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
ZC	1.3	1.3	1.2	1.2	1.2	1.2
ZD	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0	1.0
ZE	2.4	1.7	1.3	1.1	0.9	0.8
ZF	<i>Sahaya özel zemin davranış analizi yapılacaktır (Bkz.16.5).</i>					

Çizelge 5.3. 1,0 saniye periyot için yerel zemin etki katsayıları (TBDY 2018)

Yerel Zemin Sınıfı	1.0 saniye periyot için <i>Yerel Zemin Etki Katsayısı</i> F_1					
	$S_1 \leq 0.10$	$S_1 = 0.20$	$S_1 = 0.30$	$S_1 = 0.40$	$S_1 = 0.50$	$S_1 \geq 0.60$
ZA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZB	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZC	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.4
ZD	2.4	2.2	2.0	1.9	1.8	1.7
ZE	4.2	3.3	2.8	2.4	2.2	2.0
ZF	<i>Sahaya özel zemin davranış analizi yapılacaktır (Bkz.16.5).</i>					

Elde edilen bu değerler kullanılarak yatay elastik tasarım spektrumu elde edilmiştir. Yatay elastik tasarım spektral ivmeleri $S_{ae}(T)$, yerçekimi ivmesi (g) cinsinden, doğal titreşim periyoduna bağlı olarak aşağıda verilen denklemlere göre hesaplanır:

$$S_{ae}(T) = \left(0.4 + 0.6 \frac{T}{T_A}\right) S_{DS} \quad (0 \leq T \leq T_A) \quad (5.3)$$

$$S_{ae}(T) = S_{DS} \quad (T_A \leq T \leq T_B) \quad (5.4)$$

$$S_{ae}(T) = \frac{S_{D1}}{T} \quad (T_B \leq T \leq T_L) \quad (5.5)$$

$$S_{ae}(T) = \frac{S_{D1}T_L}{T^2} \quad (T_B \leq T \leq T_L) \quad (5.6)$$

$$T_A = 0.2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}}; \quad T_B = \frac{S_{D1}}{S_{DS}}; \quad T_L = 6 \text{ sn} \quad (5.7)$$

Burada T_A ve T_B yatay tasarım köşe periyotlarını ifade ederken, T_L ise sabit yer değiştirme bölgesine geçiş periyodunu temsil etmektedir.

Oluşturulan tasarım spektrumuna TBDY 2018’de yer alan, doğrusal elastik deprem yüklerinin azaltılmasında esas alınan deprem yükü azaltma katsayısı $R_a(T)$ uygulanmıştır. Bu katsayı Denklem 5.8 ve 5.9’da verildiği gibi tanımlanmıştır:

$$R_a(T) = \frac{R}{I} \quad T > T_B \quad (5.8)$$

$$R_a(T) = D + \left(\frac{R}{I} - D\right) \frac{T}{T_B} \quad T \leq T_B \quad (5.9)$$

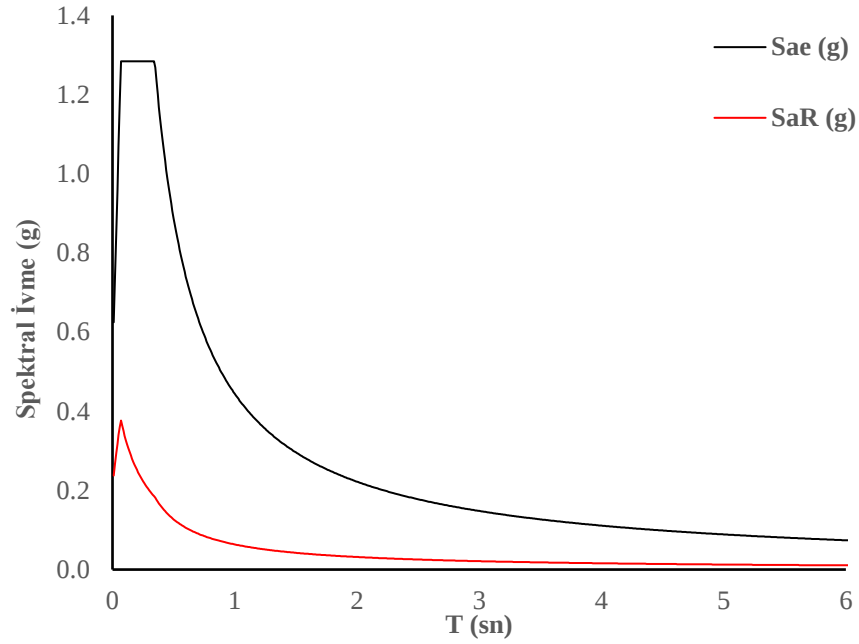
Burada R ve D yönetmelikte yer alan Çizelge 5.4’e göre belirlenen taşıyıcı sistem davranış katsayısı ve dayanım fazlalığı katsayısını ifade etmektedir. I bina önem katsayısını, T sistemin doğal titreşim periyodunu, T_B spektrum köşe periyodunu temsil etmektedir.

5. TASARIM SPEKTRUMUNUN BELİRLENMESİ

Oluşturulan tasarım spektrumu Şekil 5.1’de verilmiştir.

Çizelge 5.4. Bina taşıyıcı sistemleri için taşıyıcı sistem katsayısı, dayanım fazlalığı katsayısı ve izin verilen bina yükseklik sınıfları (TBDY 2018).

Bina Taşıyıcı Sistemi	Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı R	Dayanım Fazlalığı Katsayısı D	İzin Verilen Bina Yükseklik Sınıfları BYS
A. YERİNDE DÖKME BETONARME BİNA TAŞIYICI SİSTEMLERİ			
A1. Süneklilik Düzeyi Yüksek Taşıyıcı Sistemler			
A11. Deprem etkilerinin tamamının moment aktaran <i>süneklilik düzeyi yüksek</i> betonarme çerçevelerle karşılandığı binalar	8	3	$BYS \geq 3$
A12. Deprem etkilerinin tamamının <i>süneklilik düzeyi yüksek</i> bağ kirişli (boşluklu) betonarme perdelerle karşılandığı binalar	7	2.5	$BYS \geq 2$
A13. Deprem etkilerinin tamamının <i>süneklilik düzeyi yüksek</i> boşluksuz betonarme perdelerle karşılandığı binalar	6	2.5	$BYS \geq 2$
A14. Deprem etkilerinin moment aktaran <i>süneklilik düzeyi yüksek</i> betonarme çerçeveler ile <i>süneklilik düzeyi yüksek</i> bağ kirişli (boşluklu) betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalar (Bkz.4.3.4.5)	8	2.5	$BYS \geq 2$
A15. Deprem etkilerinin moment aktaran <i>süneklilik düzeyi yüksek</i> betonarme çerçeveler ile <i>süneklilik düzeyi yüksek</i> boşluksuz betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalar (Bkz.4.3.4.5)	7	2.5	$BYS \geq 2$



Şekil 5.1. Tasarım spektrumu

6. MODELLERE ANALİTİK MODAL ANALİZ UYGULANMASI

Yapıların tümü sürekli doğal bir titreşim eğilimine sahiptir. Bu titreşim eğilimi, dışarıdan etkiyen yüklerden bağımsız olup yapının fiziksel özellikleri ile ilgilidir. Yapıların modal karakteristiklerini belirlemek için yapılan çalışmalara modal analiz denir. Modal analiz, titreşen bir yapının dinamik davranışını ifade eden parametrelerin belirlenmesi için kullanılır. Modal analiz sonucunda yapının periyotları ve mod şekilleri elde edilir. Elde edilen mod şekillerine göre yapının hangi zamanda hangi konumda olacağı veya yaşayacağı burulma gibi etkiler yorumlanabilir.

Bu bölümde incelenen modellere analitik modal analiz yöntemi uygulanmıştır. Bunun sonucunda modellerin ilk 5 modu için periyot değerleri ve mod şekilleri elde edilmiştir. Modal analizlerde kullanılan parametreler Çizelge 6.1’de verilmiştir. Çizelge 6.2 ve 6.3’te ise örnek bir model için verilen parametreler tüm modeller için EK 3’te verilmiştir.

Çizelge 6.1. Analitik statik analiz parametreleri

Model	Elc (Nm ²)	Elw (Nm ²)	Elb (Nm ²)	GAw (Nm ²)	EI (Nm ²)	GA (Nm ²)	η (N)
10-3-P	3,73E+09	5,32E+10	1,61E+07	1,92E+10	5,70E+10	3,47E+08	2,67E+07
10-3-T	3,73E+09	5,32E+10	1,24E+08	1,92E+10	5,70E+10	1,77E+09	2,07E+08
10-5-P	3,73E+09	2,80E+11	1,57E+07	3,36E+10	2,84E+11	3,34E+08	4,58E+07
10-5-T	3,73E+09	2,80E+11	1,22E+08	3,36E+10	2,84E+11	1,75E+09	3,56E+08
10-7,5-P	2,90E+09	1,01E+12	3,86E+07	5,16E+10	1,01E+12	1,55E+08	5,82E+07
10-7,5-T	2,90E+09	1,01E+12	1,19E+08	5,16E+10	1,01E+12	4,37E+08	1,79E+08
20-5-P	8,23E+09	2,98E+11	2,02E+07	3,57E+10	3,06E+11	4,01E+08	4,68E+07
20-5-T	8,23E+09	2,98E+11	1,13E+08	3,57E+10	3,06E+11	1,90E+09	2,62E+08
20-7,5-P	8,23E+09	1,07E+12	3,56E+07	5,48E+10	1,08E+12	7,21E+08	1,55E+08
20-7,5-T	8,23E+09	1,07E+12	1,33E+08	5,48E+10	1,08E+12	2,26E+09	5,79E+08
20-10-P	7,62E+09	3,39E+12	4,03E+07	9,75E+10	3,40E+12	2,70E+08	7,93E+07
20-10-T	4,11E+09	3,01E+12	1,89E+08	8,58E+10	3,02E+12	1,02E+09	3,73E+08
30-6-P	1,66E+10	6,57E+11	2,16E+07	5,45E+10	6,74E+11	3,99E+08	5,07E+07
30-6-T	1,66E+10	5,79E+11	1,49E+08	4,72E+10	5,95E+11	2,46E+09	3,49E+08
30-9-P	2,83E+10	2,36E+12	4,72E+07	8,36E+10	2,39E+12	9,37E+08	2,24E+08
30-9-T	2,83E+10	2,36E+12	1,50E+08	8,36E+10	2,39E+12	2,81E+09	7,12E+08
30-13-P	8,29E+09	1,02E+13	4,89E+07	1,73E+11	1,02E+13	2,97E+08	1,33E+08
30-13-T	8,29E+09	9,28E+12	2,06E+08	1,56E+11	9,29E+12	1,14E+09	5,61E+08

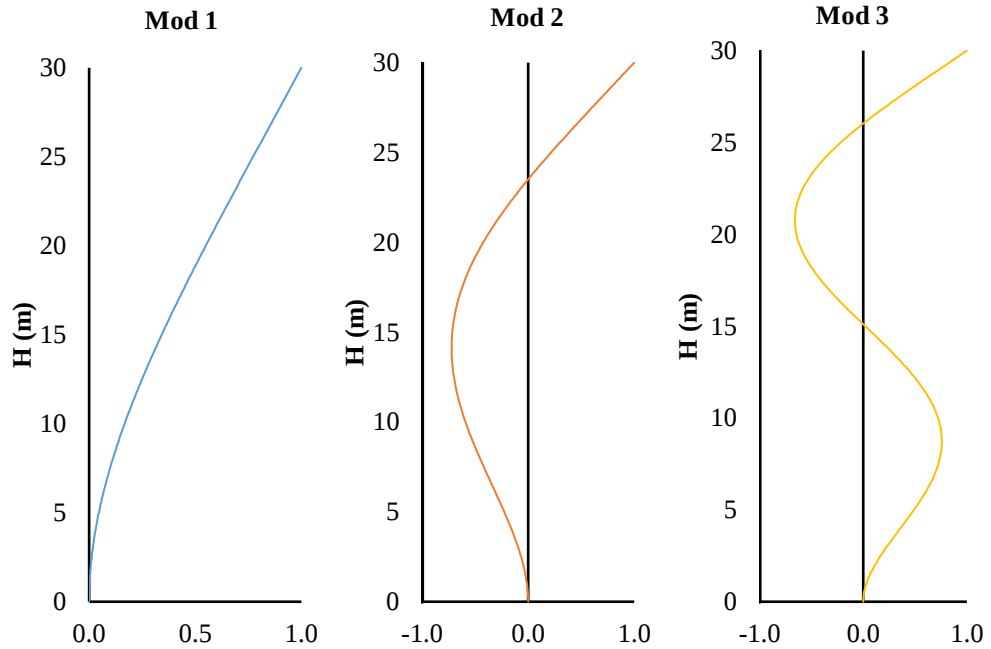
Çizelge 6.2. Analitik modal analizde kullanılan parametreler-1

Model	Mod	$\lambda_0 H$	a^2	λ_0	ω_0	α	αH	ω	T (sn)
10-3-P	1	1,875	2,45E+05	0,063	1,9	0,081	2,431	3,17	1,984
	2	4,694	2,45E+05	0,156	12,1	0,081	2,431	13,65	0,460
	3	7,855	2,45E+05	0,262	33,9	0,081	2,431	35,53	0,177
	4	10,996	2,45E+05	0,367	66,5	0,081	2,431	68,12	0,092
	5	14,137	2,45E+05	0,471	109,9	0,081	2,431	111,56	0,056

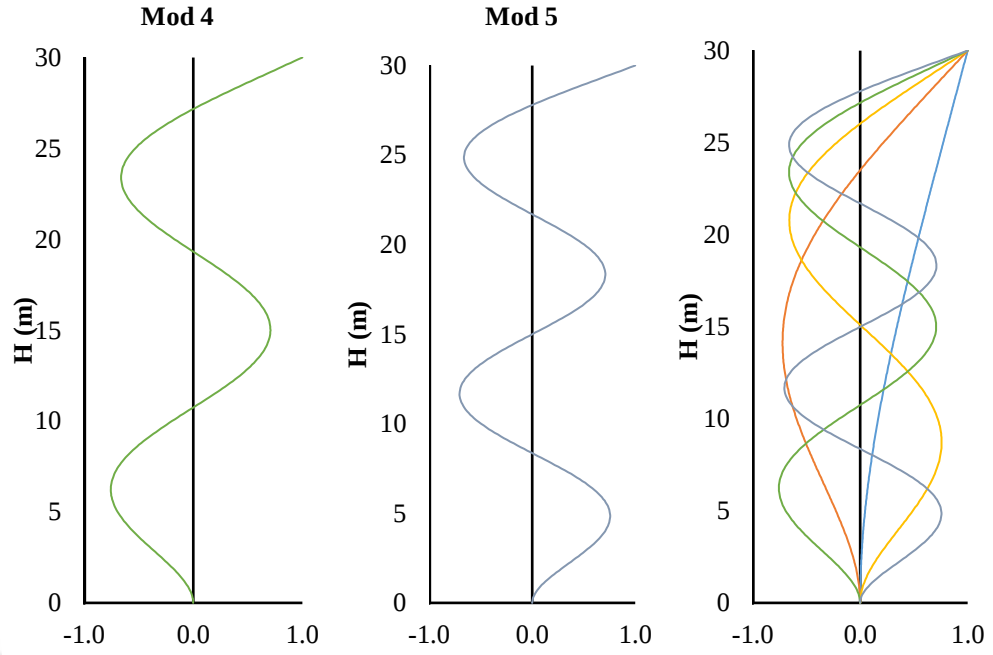
Çizelge 6.3. Analitik modal analizde kullanılan parametreler-2

Model	Mod	k^4	λ_1^2	λ_2^2	λ_1	λ_2	$\lambda_1 H$	$\lambda_2 H$
10-3-P	1	4,09E-05	3,91E-03	1,05E-02	0,063	0,102	1,875	3,070
	2	7,60E-04	2,45E-02	3,11E-02	0,156	0,176	4,694	5,286
	3	5,15E-03	6,86E-02	7,51E-02	0,262	0,274	7,855	8,223
	4	1,89E-02	1,34E-01	1,41E-01	0,367	0,375	10,996	11,262
	5	5,08E-02	2,22E-01	2,29E-01	0,471	0,478	14,137	14,345

Şekil 6.1 ve 6.2’de analitik modal analiz sonucu elde edilen ilk 5 mod için normalize edilmiş mod şekillerinin bir örneği verilmiştir. Modal analiz sonucu elde edilen yapı davranış katsayıları ve ilk 3 mod için periyot değerleri Çizelge 6.4’te verilmiştir.



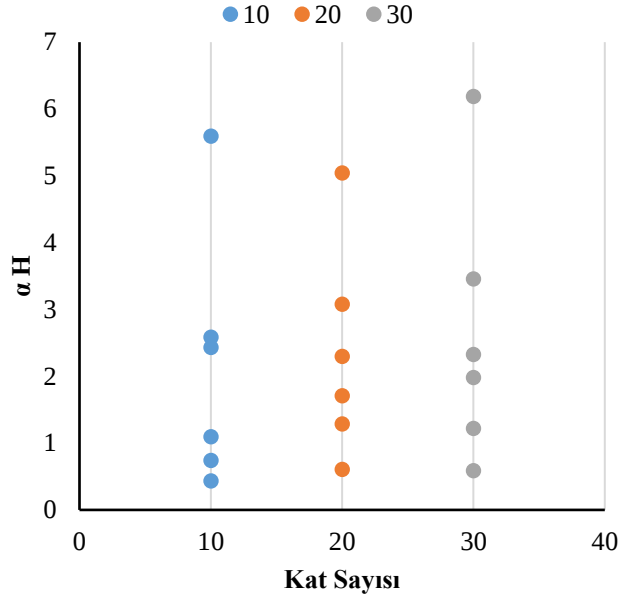
Şekil 6.1. Analitik modal analiz sonucu elde edilen normalize edilmiş mod şekilleri örneği.



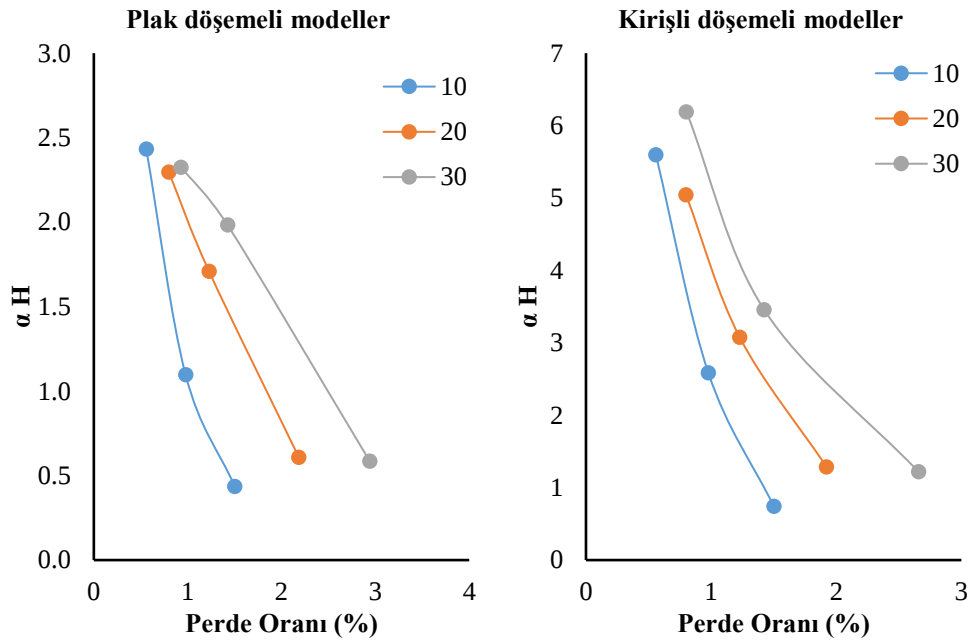
Şekil 6.2. Analitik modal analiz sonucu elde edilen normalize edilmiş mod şekilleri örneği.

Çizelge 6.4. Yapı davranış katsayıları ve periyot değerleri

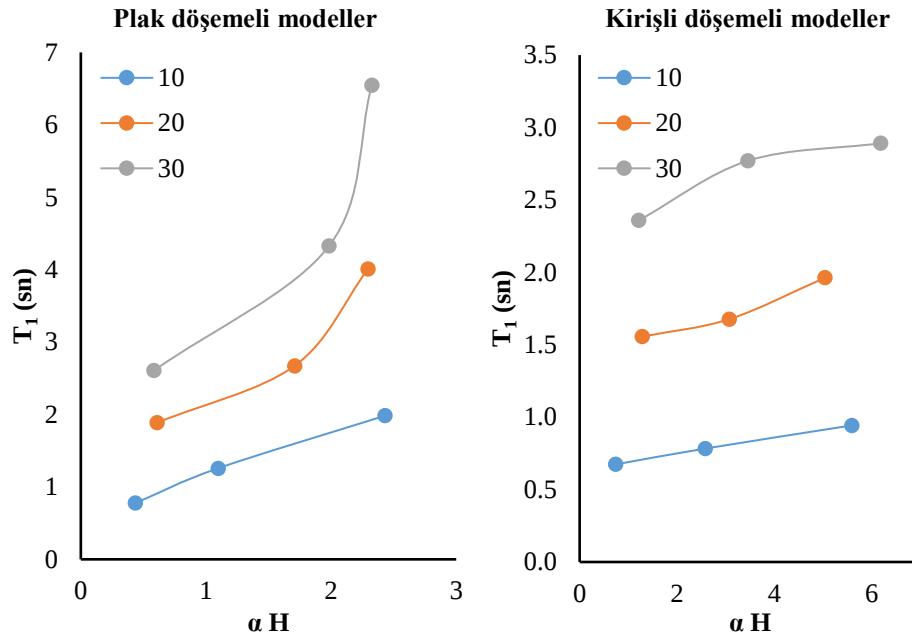
Model	αH	T_1 (sn)	T_2 (sn)	T_3 (sn)
10-3-P	2,43	1,984	0,460	0,177
10-3-T	5,59	0,943	0,304	0,138
10-5-P	1,10	1,257	0,226	0,082
10-5-T	2,58	0,783	0,186	0,072
10-7,5-P	0,44	0,777	0,127	0,045
10-7,5-T	0,74	0,674	0,114	0,041
20-5-P	2,30	4,009	0,908	0,347
20-5-T	5,04	1,963	0,612	0,270
20-7,5-P	1,71	2,672	0,542	0,201
20-7,5-T	3,08	1,677	0,430	0,171
20-10-P	0,61	1,886	0,314	0,113
20-10-T	1,29	1,556	0,290	0,106
30-6-P	2,32	6,549	1,492	0,570
30-6-T	6,19	2,891	0,961	0,446
30-9-P	1,98	4,327	0,926	0,348
30-9-T	3,46	2,770	0,746	0,303
30-13-P	0,58	2,607	0,432	0,155
30-13-T	1,22	2,359	0,434	0,158



Şekil 6.3. Yapı davranış katsayısı-yapı kat sayısı ilişkisi



Şekil 6.4. Sırasıyla plak döşemeli ve kirişli döşemeli sistemlerin yapı davranış katsayısı-perde oranı ilişkileri.



Şekil 6.5. Sırasıyla plak döşemeli ve kirişli döşemeli sistemlerin yapı davranış katsayısı-birinci mod periyodu ilişkileri.

Şekil 6.3'te verilen grafik incelendiğinde αH için tüm kat yükseklikleri için benzer değerler aralıkları elde edilmiştir, bu durum seçilen taşıyıcı sistemlerin perde-çerçeve ilişkisini incelemek için yeterli ve birbirleriyle uyumlu olduklarını göstermektedir. Şekil 6.4'te verilen αH ile perde oranı ilişkisi incelendiğinde ise perde oranı azaldıkça αH değerinin arttığı; Şekil 6.5 incelendiğinde ise; αH arttıkça yapı periyodunun uzadığı görülmüştür. αH davranış katsayısı sıfırdan uzaklaştıkça sistemin davranışı çerçeve davranışına yaklaşır. Dolayısıyla perde oranı azaldıkça rijitlik azaldığından yapı davranış katsayısının düşmesi ve yapı periyodunun uzaması gerekir. Elde edilen sonuçlar buna uygun olduğu için analitik modal analiz sonuçlarının yapı davranışını ve perde-çerçeve etkileşim oranını doğru yansıttığı görülmüştür.

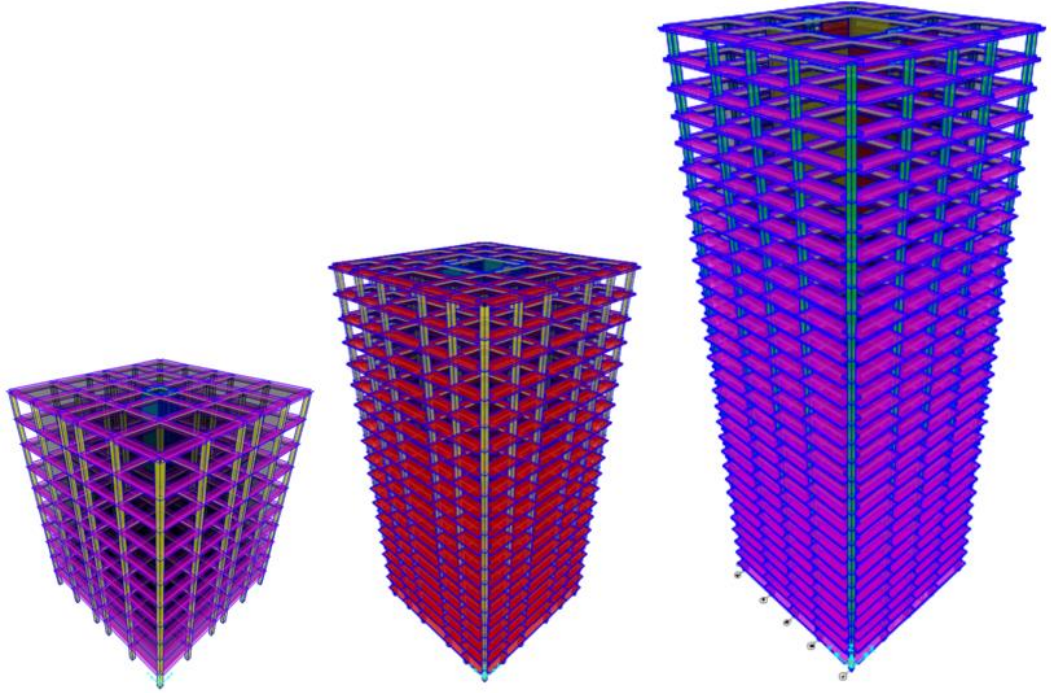
Yapılan modal analizlerin sonuçlarını karşılaştırmak için incelenen sistemlerin gerçek boyutları ve elemanlarıyla modellendiği referans modelleri oluşturulmuştur. SAP2000 kullanılarak oluşturulan referans modellerine ait detaylar ve analitik modal analizle karşılaştırmaları Bölüm 7'de verilmiştir.

7. REFERANS MODELLERİNİN OLUŞTURULMASI

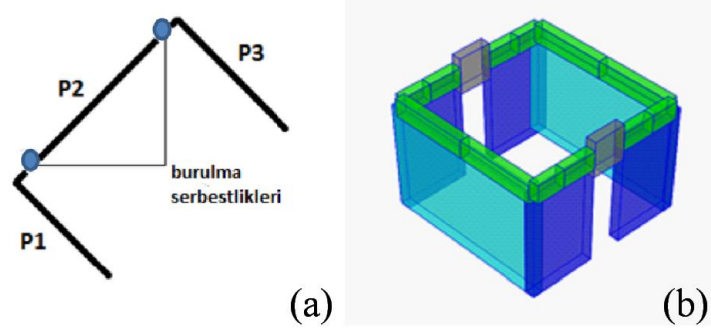
Bölüm 6’da incelenen sistemler için yapılan analitik modal analiz sonuçları, bu bölümde oluşturulan referans modellerin sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Referans modellerinde incelenen sistemlerin SAP2000 ile gerçek modelleri oluşturulmuştur.

7.1. SAP2000 Modellerinin Oluşturulması

SAP2000 modelleri oluşturulurken tüm elemanlar çubuk eleman olarak modellenmiştir (Şekil 7.1). Bina merkezlerinde bulunan U kesitli betonarme çekirdek perdeler gövde ve başlıklar ayrı elemanlar olmak üzere 3 çubuk eleman olarak modellenmiştir. Daha sonra doğru biçimde çalışması için Şekil 7.2 (b)’de görüldüğü gibi rijit elemanlar yardımıyla bağlanmıştır. Rijitlik faktörü 100 alınırken, Bora (2017) tarafından yapılan çalışma dikkate alınarak, perde gövdesinde bulunan rijit elemanlara Şekil 7.2 (a)’da gösterilen uçlarda burulma serbestliği uygulanmıştır. Oluşturulan SAP2000 modellerinin modal analizleri yapılarak 24 modele ait model şekilleri ve doğal titreşim periyot değerleri elde edilmiştir.



Şekil 7.1. SAP2000 modeli örnekleri



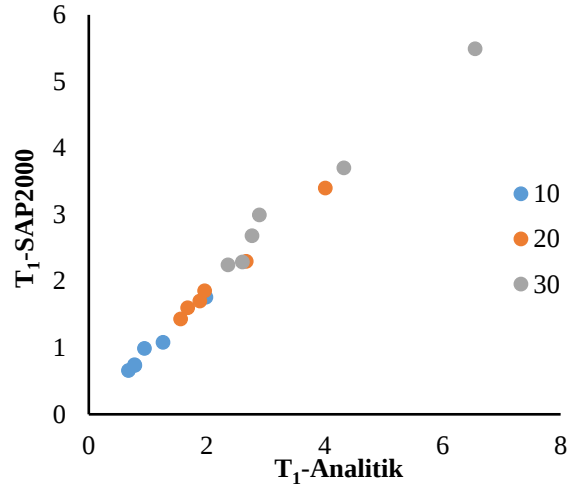
Şekil 7.2. (a) U kesitli perde burulma rijitlikleri (Bora 2017), (b) SAP2000 modellerinde kullanılan rijit elemanlar.

7.2. Referans Modeller ile Analitik Modal Analizlerin Karşılaştırılması

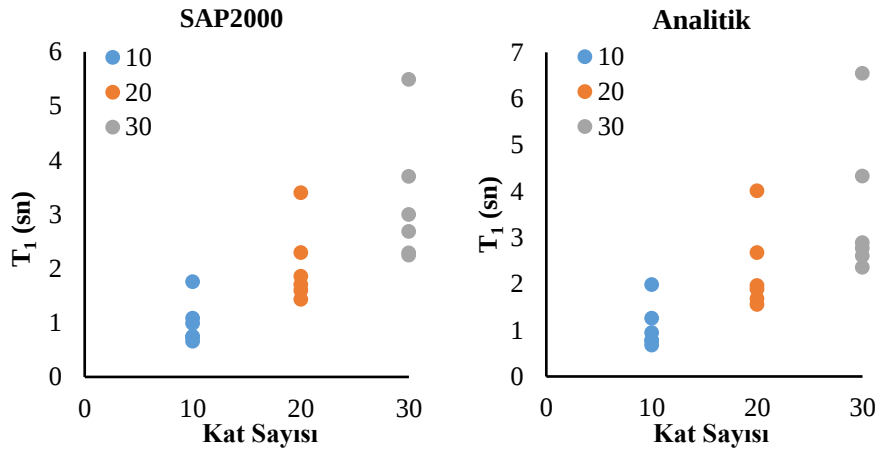
SAP2000 referans modelleri ile analitik modal analizden elde edilen birinci mod periyotları ve hata oranları Çizelge 7.1’de verilmiştir.

Çizelge 7.1. SAP2000 modelleri ve analitik modelleme modal analiz sonuçları

Model	T_1 (sn) - SAP2000	T_1 (sn) - Analitik	Hata Oranı (%)
10-3-P	1,76	1,98	12,9
10-3-T	0,99	0,94	4,5
10-5-P	1,08	1,26	16,3
10-5-T	0,73	0,78	6,8
10-7,5-P	0,75	0,78	4,2
10-7,5-T	0,66	0,67	2,4
20-5-P	3,40	4,01	17,9
20-5-T	1,85	1,96	5,8
20-7,5-P	2,30	2,67	16,3
20-7,5-T	1,60	1,68	4,8
20-10-P	1,70	1,89	10,8
20-10-T	1,43	1,56	8,5
30-6-P	5,49	6,55	19,3
30-6-T	3,00	2,89	3,5
30-9-P	3,70	4,33	16,9
30-9-T	2,68	2,77	3,2
30-13-P	2,29	2,61	14,0
30-13-T	2,24	2,36	5,1



Şekil 7.3. SAP2000 modelleri ve analitik modelleme modal analiz sonuçlarına göre ilk mod periyotlarının karşılaştırılması.



Şekil 7.4. İlk mod periyotlarının SAP200 ve analitik modeller için kat sayısına göre dağılımları.

Çizelge 7.1’de yer alan, SAP2000’de elde edilen birinci mod periyotları ile analitik modal analiz periyotları Şekil 7.3’te verilmiştir. Şekil 7.4’te ise bu periyotların kat yüksekliklerine göre dağılımları yer almaktadır. Buradan görüldüğü üzere, tüm kat yüksekliklerinde sonuçlar benzer bir dağılım göstermiş olup analitik modelleme ile diferansiyel denklem yöntemine göre hesaplanan periyot değerleri ile SAP2000 kullanılarak oluşturulan modellerin periyot değerleri birbirine yakındır. Tüm modeller için alınan hata oranları incelendiğinde; aynı boyutlara sahip modellerde aynı koşullar altında plak döşemeli modellerdeki hata oranının kirişli döşemeli sistemlerden daha yüksek olduğu görülmektedir. Çatlamış kesit rijitliklerinin kullanılmadığı durumda daha düşük olan hata oranlarının bu çarpanlar hesaba dâhil edildiği durumda ortalama %10 olduğu görülmüştür.

8. ANALİTİK YÖNTEMLE TASARIM SPEKTRUMU ALTINDA ÇÖZÜM

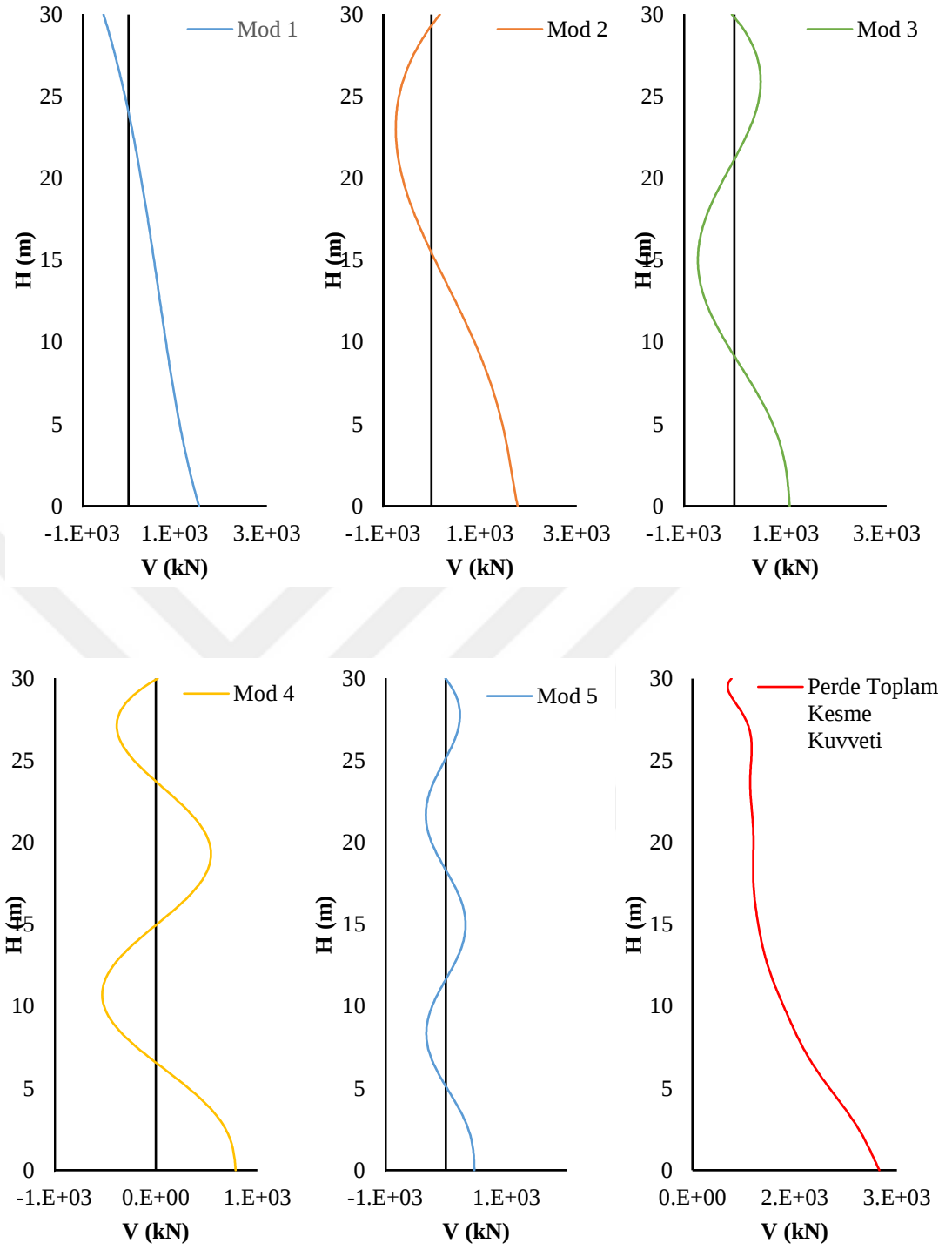
Bu bölümde analitik modal analiz yöntemi kullanılarak, incelenen modellere seçilen tasarım spektrumu uygulanmıştır. Modellerin ilk 5 modu için ilgili kütle katılım oranları ve modal katılım faktörleri hesaplanarak mod birleştirme yöntemiyle perdelerin kesme kuvveti ve moment dağılımları ile çerçevelerin kesme kuvveti dağılımları elde edilmiştir.

Mod birleştirme yönteminde, maksimum iç kuvvet ve yer değiştirmeler, yapıya ait doğal titreşim periyotlarının her biri için hesaplanan maksimum değerlerin istatistiksel olarak birleştirilmesiyle elde edilir. Kullanılacak mod sayısına toplam etkin kütlelerin %90'ına ulaşana kadar gereken mod sayısına göre karar verilmektedir. Yeterli sayıda farklı moddan alınan maksimum katkılar TBDY 2018'de verilen SRSS (kareleri toplamının karekökü kuralı) veya CQC (tam karesel birleştirme) gibi istatistik yöntemleri kullanılarak birleştirilir. Bu çalışma kapsamında yapılan analitik çözümlerde mod birleştirme yöntemi yapılırken SRSS kullanılmıştır.

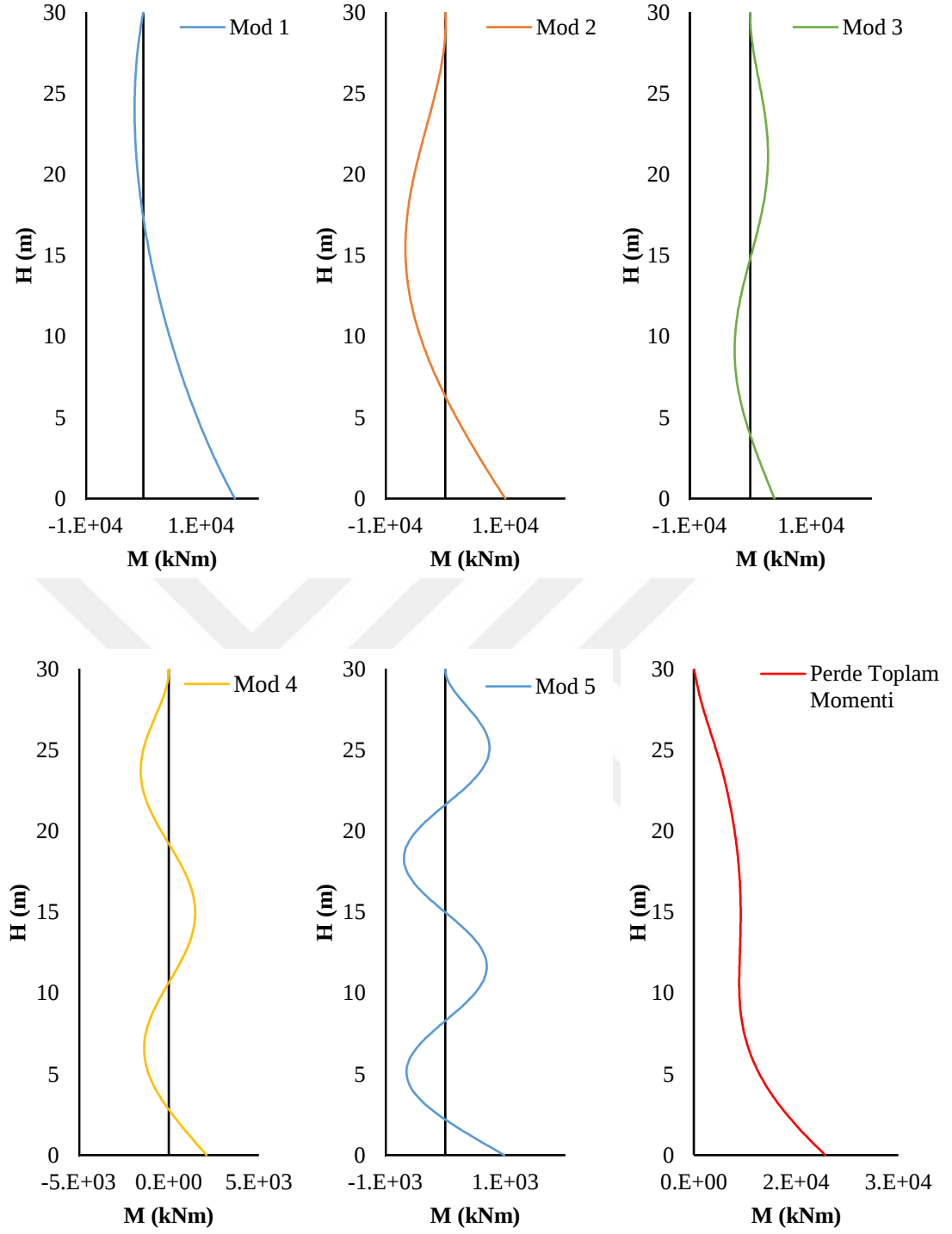
Tasarım spektrumu altında çözümle elde edilen perde kesme kuvveti dağılımlarının örneği Şekil 8.1'de, perde moment dağılımlarının örneği Şekil 8.2'de, çerçeve kesme kuvveti dağılımlarının örneği Şekil 8.3'te verilmiştir.

Perdeler ve çerçeveler için kesme kuvveti dağılımları incelendiğinde, kullanılan analitik yaklaşıma göre çözümde taban kesme kuvvetlerinin tamamının perdeler tarafından karşılandığı, çerçevelerde sıfır olduğu kabul edilmektedir. Ancak bu kabul gerçekçi olmadığından Kazaz and Gülkan (2012) tarafından önerilen yöntem kullanılarak kesme kuvvetleri düzeltilir. Taban kesme kuvvetlerinin düzeltilmesi Bölüm 8.1'de anlatılmıştır.

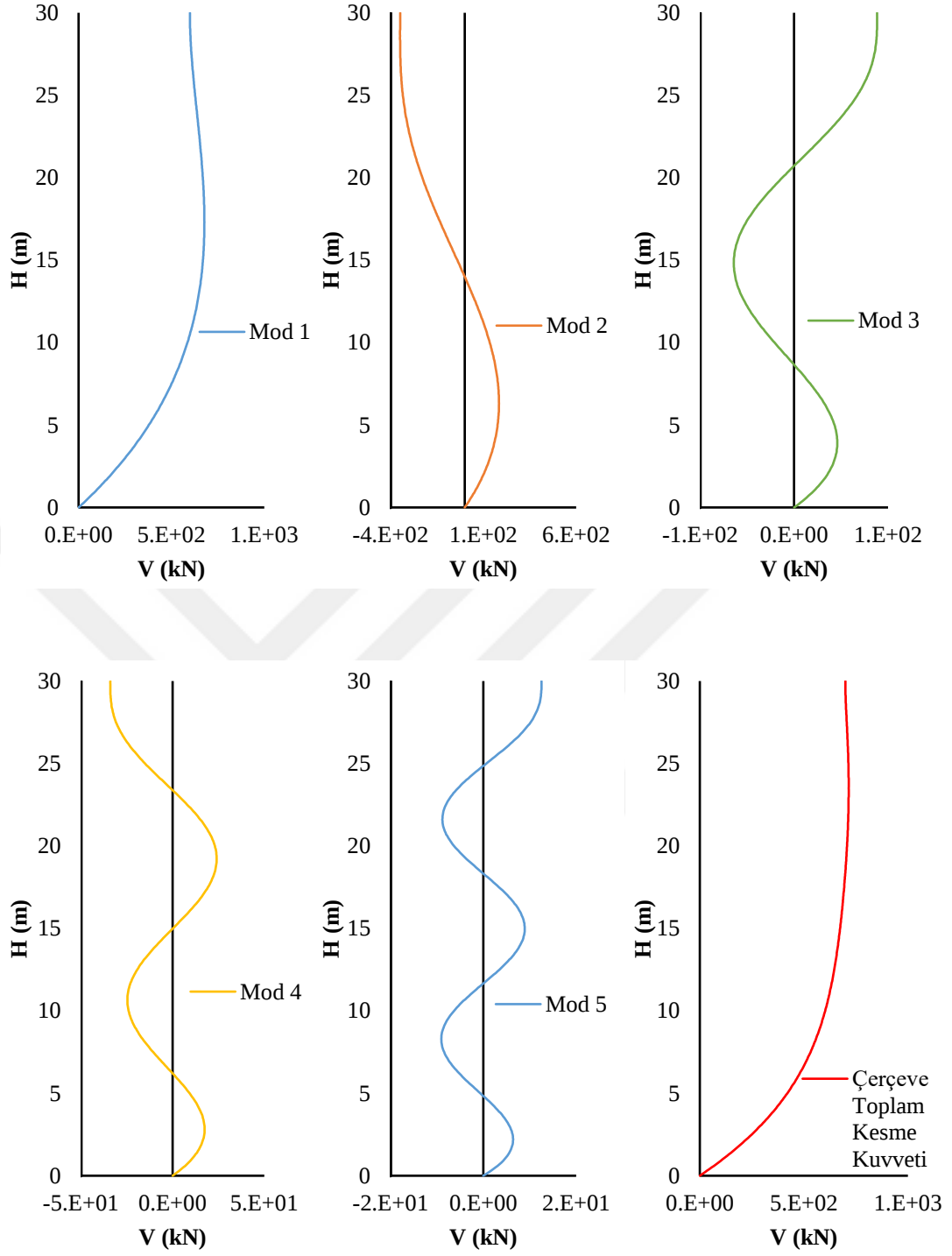
Ayrıca bölüm 4.2.6'da verilen donatı koşullarına göre tasarlanan perdeler için SeismoStruct kullanılarak kesit hesabı yapılmıştır. Analitik yöntemle tasarım spektrumu altında çözümünden elde edilen moment dağılımları ile kesit hesabı kullanılarak moment zarf eğrileri oluşturulmuştur. Kesit hesabı detayları Bölüm 8.2'de anlatılmıştır.



Şekil 8.1. 10-3-P modeline ait ilk 5 mod ve SRSS ile birleştirilmiş perde kesme kuvveti dağılımları.



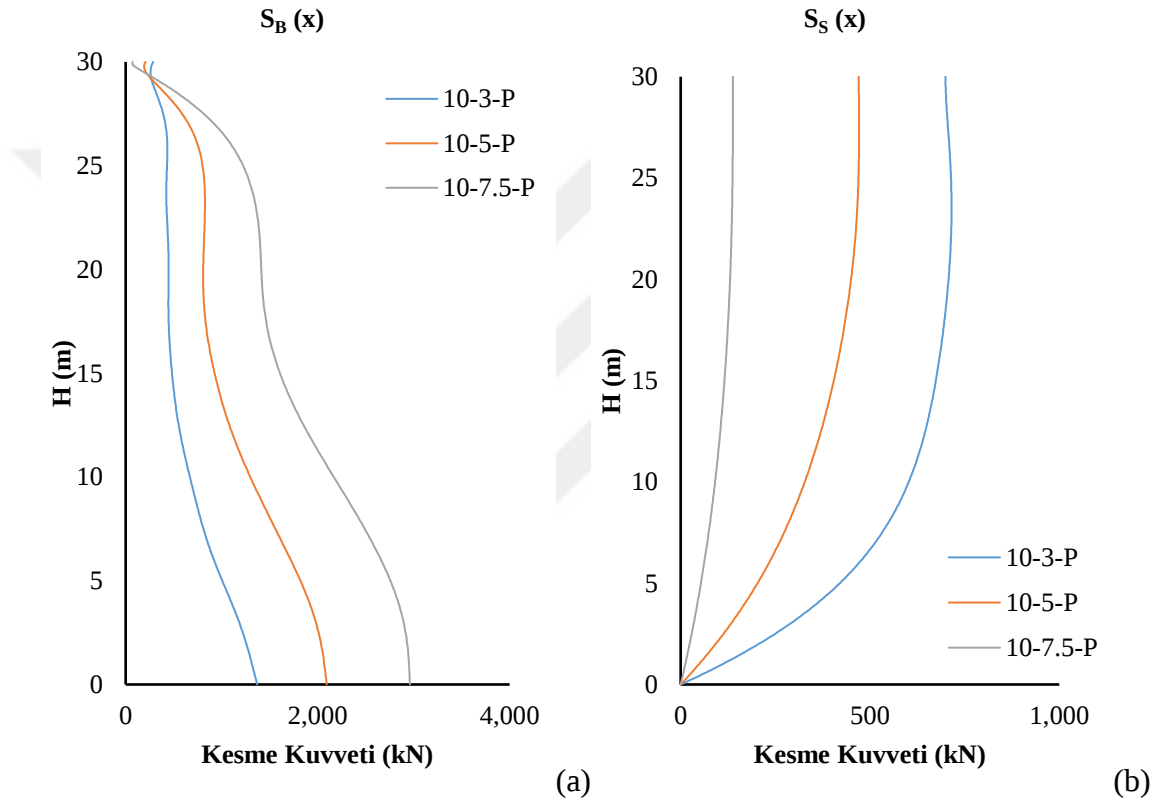
Şekil 8.2. 10-3-P modeline ait ilk 5 mod ve SRSS ile birleştirilmiş perde eğilme momenti dağılımları.



Şekil 8.3. 10-3-P modeline ait ilk 5 mod ve SRSS ile birleştirilmiş çerçeve kesme kuvveti dağılımları.

8.1. Taban kesme kuvveti düzeltmesi

Perdeler ve çerçeveler için analitik yöntemle belirlenen kesme kuvveti dağılımları incelendiğinde, Şekil 8.4'te görüldüğü gibi, kullanılan analitik yaklaşıma göre çözümde taban kesme kuvvetlerinin tamamının perdeler tarafından karşılandığı, çerçevelerde sıfır olduğu kabul edilmektedir. Ancak bu kabul gerçekçi olmadığından Kazaz and Gülkan (2012) tarafından önerilen yöntem kullanılarak kesme kuvvetleri düzeltilmiştir.



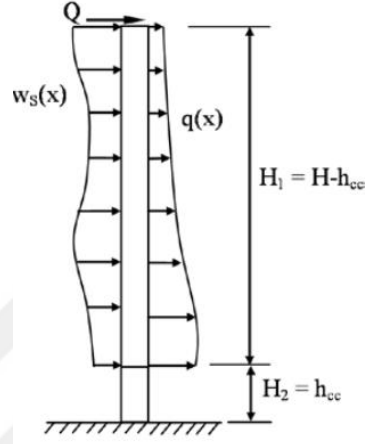
Şekil 8.4. (a) perde kesme kuvveti dağılımı (b) çerçeve kesme kuvveti dağılımı

Kazaz and Gülkan (2012) tarafından yapılan çalışma kullanılarak perdeli çerçeveli sistemlerde taban kesme kuvvetlerinin düzeltilmesi için aşağıda anlatılan adımlar uygulanmıştır. Bu çalışmaya göre verilen perde taban kesme kuvveti formülü Denklem 8.1'deki gibidir:

$$V_0 = \frac{w_1(H^2 - h_{cc}^2)}{2H} \quad (8.1)$$

Burada V_0 perde elemanın tabanındaki kesme kuvvetini, w_1 yanal yükü, H yapı yüksekliğini, h_{cc} ise eğilme yüksekliğini temsil etmektedir. Şekil 8.5'te gösterilen bu yükseklik, h bir katın yüksekliğine bağlı olarak Denklem 8.2 ile hesaplanmaktadır.

$$h_{cc} = 0,7 h \quad (8.2)$$



Şekil 8.5. Eğilme yüksekliği h_{cc} (Kazaz and Gülkan 2012)

Denklem 8.1'de yer alan perde taban kesme kuvveti V_0 , analitik çözümden elde edilen taban kesme kuvveti alınarak w_1 elde edilmiştir. Çalışmaya göre üçgen yük dağılımı için perde elemanın tabanındaki eğilme momenti aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$M_{B0} = \frac{\frac{V_0 \sinh(\alpha H_1)}{\alpha} - \frac{V_0 h_{cc}^4}{3EI_c f} \left[\frac{\alpha h_{cc} \sinh(\alpha H_1)}{2} + \cosh(\alpha H_1) \right] - \frac{w_1}{\alpha^3 H} [\alpha h_{cc} \cosh(\alpha H_1) + \sinh(\alpha H_1) - \alpha H]}{\left(1 - \frac{h_{cc}^3 \beta}{4EI_w f} \right) \alpha h_{cc} \sinh(\alpha H_1) + \left(1 - \frac{h_{cc}^3 \beta}{2EI_w f} \right) \cosh(\alpha H_1)} \quad (8.3)$$

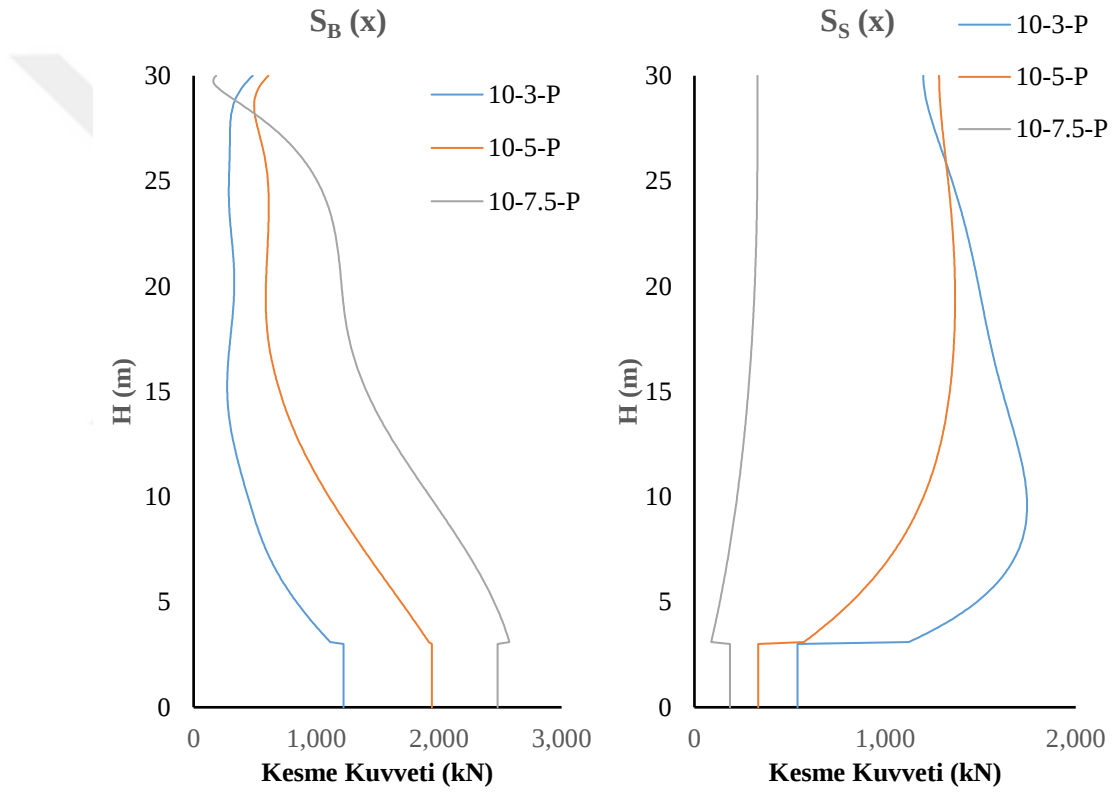
Burada M_{B0} perde elemanın tabanındaki eğilme momentini, α yapı davranış katsayısını, E elastisite modülünü, I_c kolonların atalet momentini, I_w perde elemanların atalet momentini temsil etmektedir. $\beta = 1$ alınmıştır. f değeri ise Denklem 8.4'e göre hesaplanır:

$$f = \frac{\beta h_{cc}^3}{6EI_w} - \frac{h_{cc}^3}{3EI_c} - \frac{\beta h_{cc}}{GA_w} \quad (8.4)$$

Hesaplanan M_{B0} kullanılarak perde elemanın normalize edilmiş kesme kuvveti aşağıdaki denklem ile hesaplanmıştır:

$$V_w = \frac{M_{B0}\beta h_{cc}^2}{2fEI_w} - \frac{V_0 h_{cc}^3}{3EfI_c} \quad (8.5)$$

Belirlenen perde kesme kuvveti değerine göre çerçeve sistemin kesme kuvveti de düzeltilmiştir. Düzeltilmiş kesme kuvveti diyagramları örnek olarak Şekil 8.6’da gösterilmiştir.

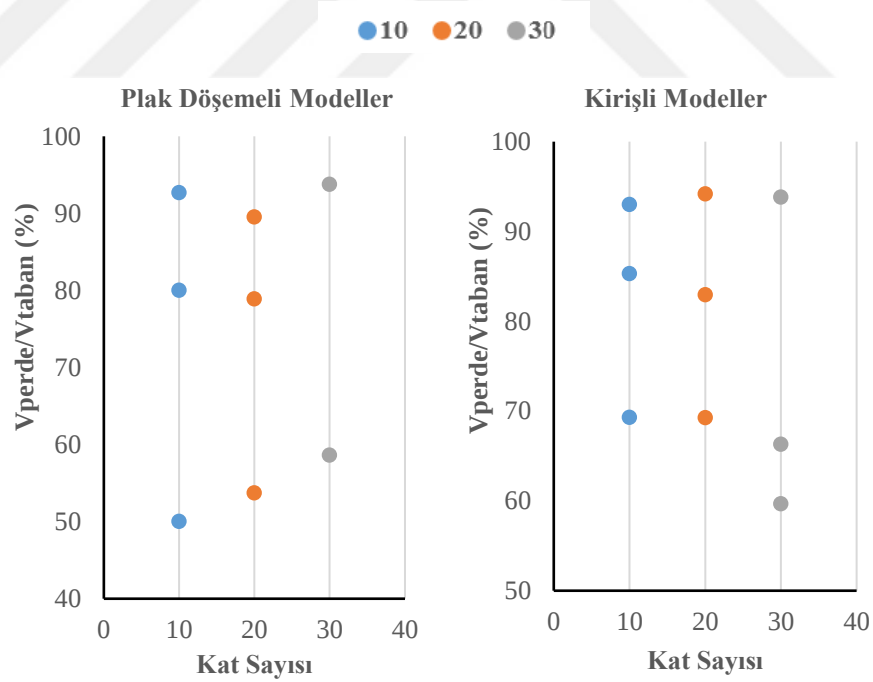


Şekil 8.6. Düzeltilmiş (a) perde kesme kuvveti dağılımı (b) çerçeve kesme kuvveti dağılımı.

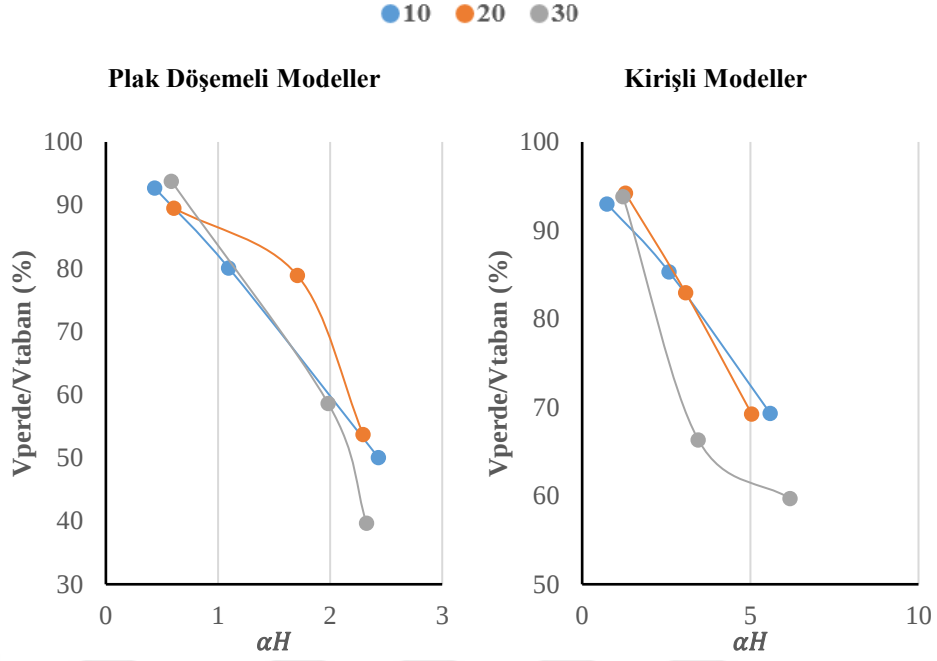
Düzeltilmiş kesme kuvveti dağılımlarına göre perde taban kesme kuvvetlerinin sistemdeki toplam taban kesme kuvvetine oranı incelenmiştir. Bu oranlar Çizelge 8.1’de verilmiştir.

Çizelge 8.1. Perde kesme kuvvetinin toplam kesme kuvvetine oranı

Model	V _{taban}	V _{perde}	V _{taban} /V _{perde} (%)
10-3-P	1371,0	686,0	50,04
10-3-T	1763,0	1222,0	69,31
10-5-P	2094,0	1676,0	80,04
10-5-T	2278,0	1943,0	85,29
10-7,5-P	2960,0	2744,0	92,70
10-7,5-T	2666,0	2479,0	92,99
20-5-P	2020,0	1085,0	53,71
20-5-T	2289,0	1585,0	69,24
20-7,5-P	3428,0	2704,0	78,88
20-7,5-T	3479,0	2886,0	82,95
20-10-P	4659,0	4171,0	89,53
20-10-T	4063,0	3827,0	94,19
30-6-P	2322,0	921,0	39,66
30-6-T	2728,0	1628,0	59,68
30-9-P	4520,0	2649,0	58,61
30-9-T	4691,0	3111,0	66,32
30-13-P	6243,0	5855,0	93,79
30-13-T	6151,0	5771,0	93,82



Şekil 8.7. Plak döşemeli ve kirişli modeller için kat sayısı-perde kesme kuvveti oranı ilişkisi.



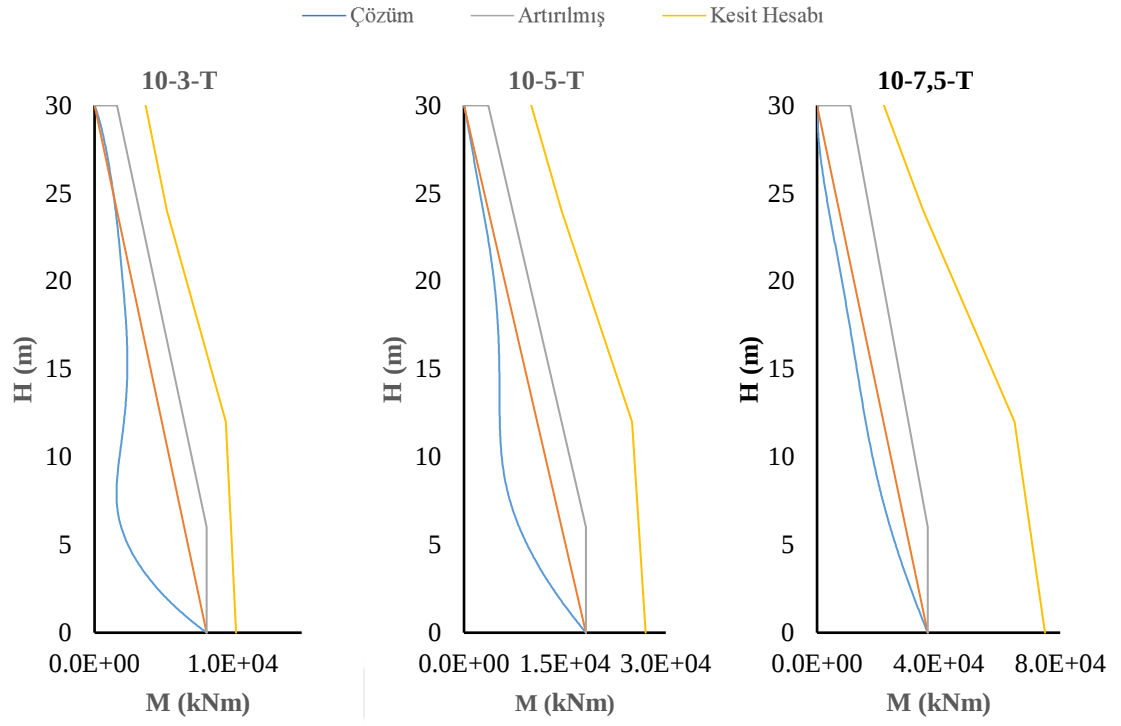
Şekil 8.8. Plak döşemeli ve kirişli modeller için αH -perde kesme kuvveti oranı ilişkisi

Şekil 8.7’de verilen kat yüksekliğine bağlı dağılımlar incelendiğinde tüm kat yüksekliklerinde perde kesme kuvveti oranının benzer bir dağılım gösterdiği görülmüştür. Şekil 8.8’de verilen αH ’a bağlı dağılım irdelendiğinde ise αH azaldıkça, yani sistem davranışı perdeye yaklaştıkça, perde taban kesme kuvvetinin sistemin tümünün kesme kuvvetine oranının arttığı görülmüştür. Bu durum yapıdaki perde oranı arttıkça, yatay yükler altında görülmesi beklenen davranışa uygundur.

8.2. Perde Kesit Hesabı

İncelenen yapılarda bulunan perde elemanların donatı hesapları ilgili bölümde anlatıldığı gibi yapıldıktan sonra, moment kapasitelerinin kontrollerini yapmak üzere tüm perdelerin bilgisayar modelleri SeismoStruct yazılımı kullanılarak oluşturulmuştur. Oluşturulan bilgisayar modellerinde değişen eksenel yük oranına göre kesit hesapları yapılarak moment kapasiteleri elde edilmiştir.

Elde edilen veriler kullanılarak TBDY 2018’e göre moment zarf eğrileri oluşturulmuştur. Şekil 8.9’da 10 katlı kirişli modellere ait moment zarf eğrisi verilmiştir. Tüm modellerin zarf eğrileri EK 4’te yer almaktadır.

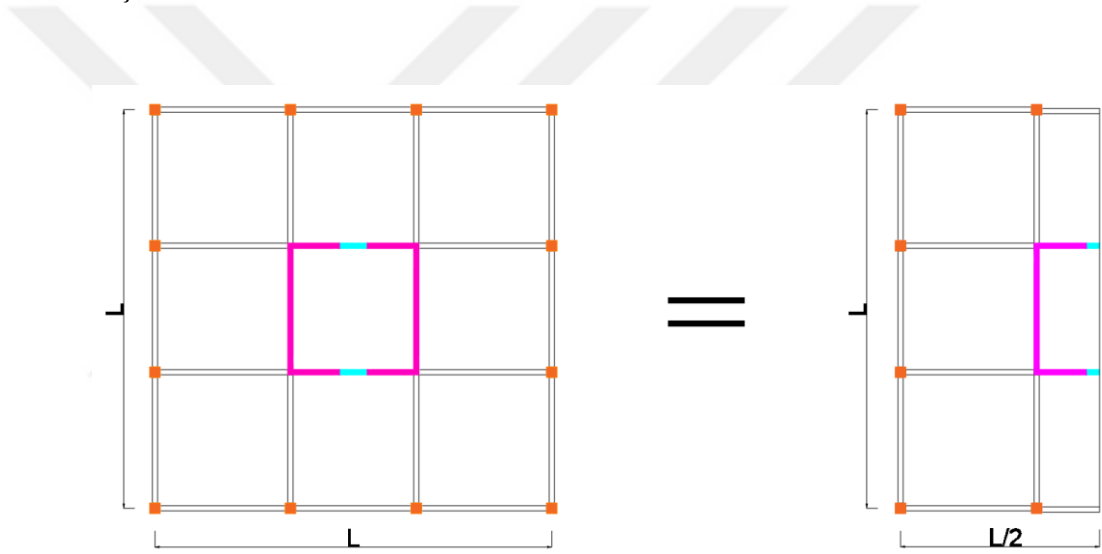


Şekil 8.9. Örnek betonarme perde moment zarf eğrileri

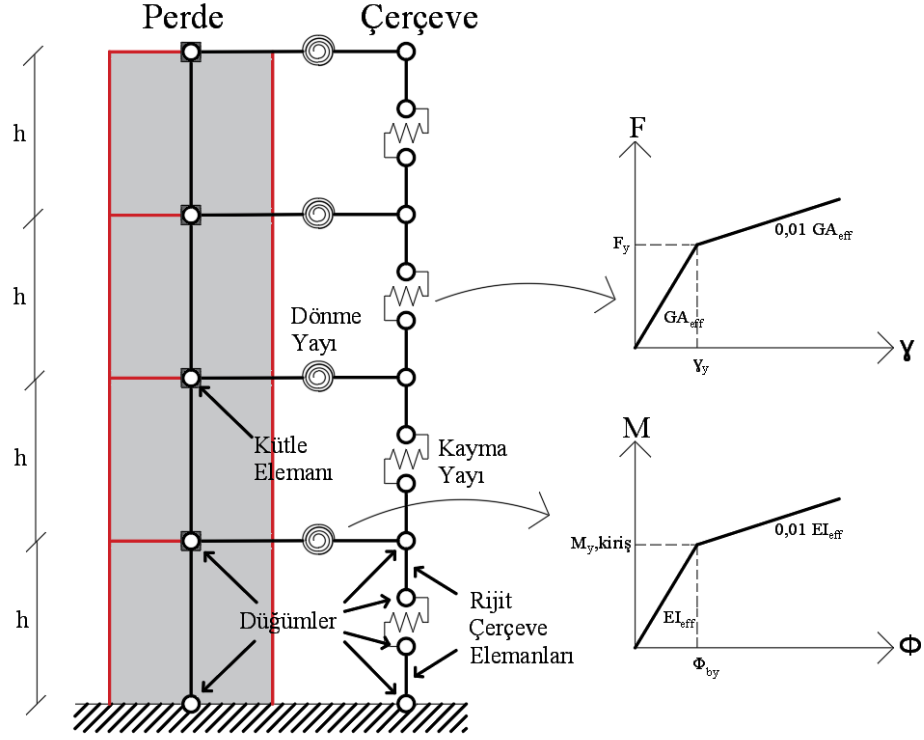
9. BASİTLEŞTİRİLMİŞ YAPISAL ANALİZ MODELİ

Bu bölümde analitik statik ve modal analizler kullanılarak elde edilen parametreler yardımıyla, betonarme perdeli burulmasız sistemlerin modellemesi için kullanılabilir basitleştirilmiş modeller ele alınmıştır. Basitleştirilmiş modeller SeismoStruct kullanılarak modellenmiştir. Modellerde kullanılan elemanlar ve parametrelerin detayları alt başlıklarda verilmiştir.

Bu çalışma kapsamında incelenen sistemler Şekil 9.1’de görüldüğü gibi simetrik olduğu için, basitleştirilmiş analiz modelleri oluşturulurken sistemin yarısı dikkate alınmıştır.



Şekil 9.1. Basitleştirilmiş modelde kullanılan sistem

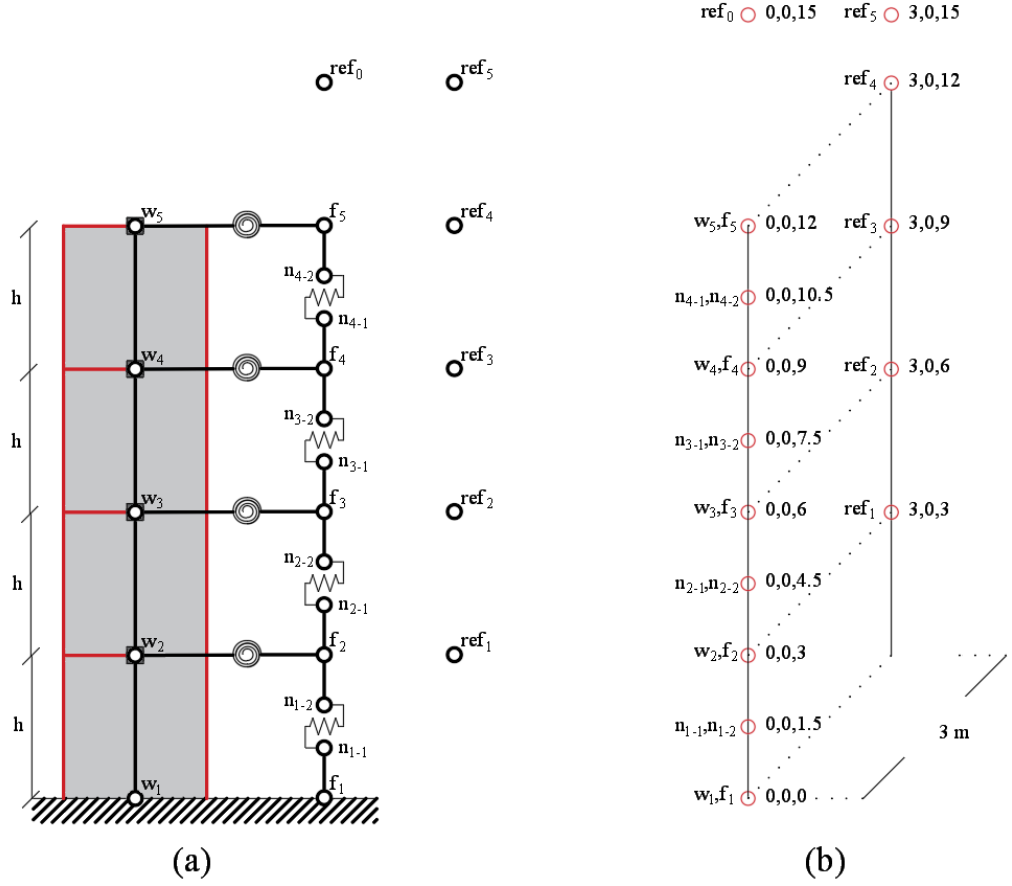


Şekil 9.2. Basitleştirilmiş yapısal analiz modeli

Şekil 9.2’de basitleştirilmiş yapısal analiz modeli görülmektedir. Bu model tek perde-eşdeğer çerçeve sonlu eleman modelidir. Basitleştirilmiş modelde sistemde yer alan perde gerçek kesitiyle modellenirken; sistemde bulunan diğer elemanlar analitik yöntemde olduğu gibi, kayma kirişleri ve dönme kirişleri olarak eşdeğer elemanlar ile modellenmiştir. Kayma ve dönme yayları her kat seviyesinde çerçeveyi temsil eden elastik çerçeve elemanlar ile bağlanmıştır.

Basitleştirilmiş yapısal analiz modellerinde, perde elemanların davranışı gerilme-birim şekil değiştirme ile tanımlanmaktadır. Kiriş elemanları temsil eden yayların davranışı ise yük-deformasyon eğrisi ile tanımlanmıştır. Yapı yüksekliği boyunca her katın kesme kuvveti-yanal yer değiştirme ilişkileri ve kiriş elemanların moment-dönme ilişkileri Takeda modeli ile temsil edilmiştir.

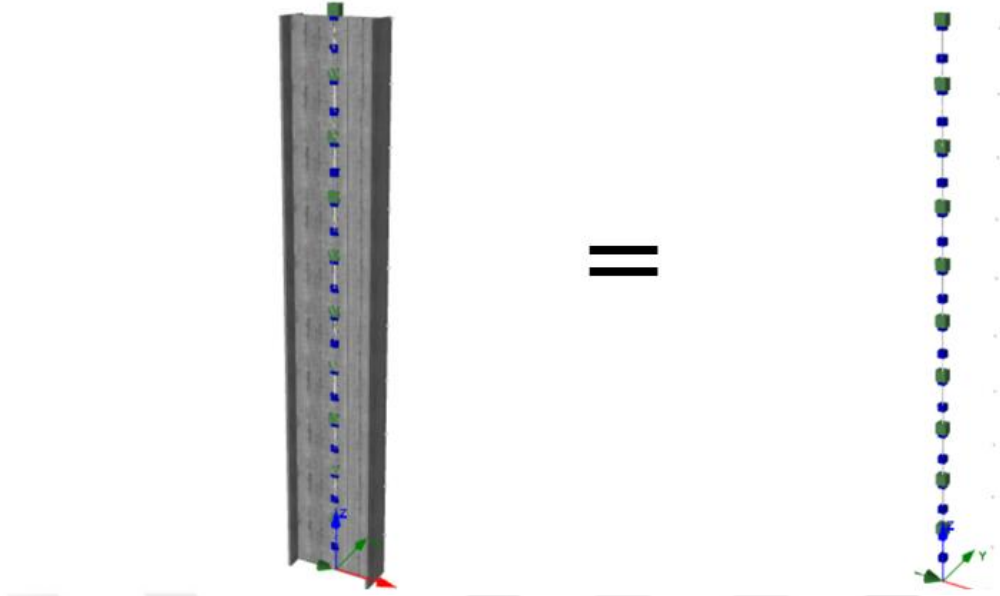
9.1. SeismoStruct Modellerinin Oluşturulması



Şekil 9.3. (a) örnek basitleştirilmiş modelin detayları, (b) örnek koordinat detayları

Şekil 9.3 (a)'da basitleştirilmiş modelin oluşturulmasında kullanılan döğüm noktalarının isimleri görülmektedir. w döğümleri perdelerin oluşturulması için kullanılan döğümler, f döğümleri çerçevenin oluşturulması için kullanılan döğümlerdir. Anlaşılabilir olması adına ayrı noktalarda çizilen bu iki döğüm takımı aslında aynı koordinatlarda yer almaktadır. n döğümleri kayma yaylarını tanımlamak için kullanılırken kat yüksekliğinin ortasında yer almaktadır. ref döğümleri yapısal olmayan referans noktalarını temsil etmektedir.

Şekil 9.3 (b)'de Şekil 9.3 (a)'da verilen örnek sisteme ait döğüm noktaları ve koordinatları açıklanmıştır. Bu şekilden de görüldüğü gibi, sistemde yer alan perdeler ve çerçeveler aynı koordinat değerlerine sahip döğümlerde modellenmiştir (Şekil 9.4).

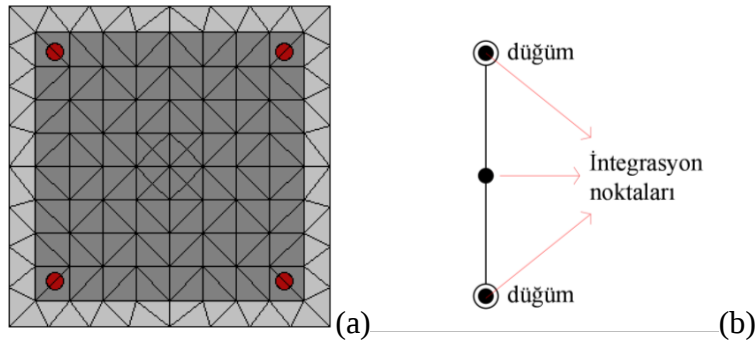


Şekil 9.4. Basitleştirilmiş SeismoStruct modelleri

9.2. Basitleştirilmiş Modelde Kullanılan Eleman Türleri

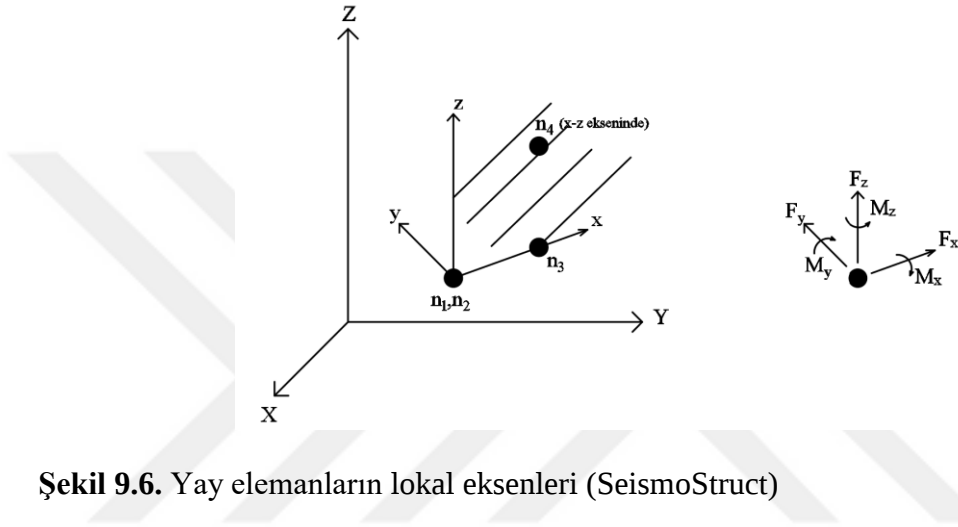
Basitleştirilmiş yapısal analiz modelinde bulunan eleman türleri ve genel özellikleri aşağıda özetlenmiştir:

- Perde Elemanlar: Modelde bulunan perdeler infrmFB (elastik olmayan kuvvet tabanlı) elemanlar kullanılarak modellenmiştir. Bu eleman tipinde, kesit birçok sayıda bölümlere ayrılır (Şekil 9.5 (a)). Bu liflerin tek tek doğrusal olmayan tek eksenli malzeme tepkisinin integrasyonu yoluyla kesit hesapları yapılır. İntegrasyon noktası sayısının tanımlanması gereklidir. Şekil 9.5 (b)'de gösterildiği gibi 3 integrasyon noktası kullanılmıştır.



Şekil 9.5. infrmFB elemanlarda (a) kesitlerin bölümlere ayrılması (b) integrasyon noktaları (SeismoStruct).

- **Yay Elemanlar:** Kirişleri temsil eden kayma ve dönme yaylarını tanımlamak için NLink (doğrusal olmayan bağlantı) elemanları kullanılmıştır. Bu eleman tipi başlangıçta çakışan iki yapısal düğümü birbirine bağlar ve yerel altı serbestlik derecesinin her biri için bağımsız bir kuvvet-yer değiştirme veya moment-dönme eğrisinin tanımlanması gereklidir. Yay elemanların lokal eksenleri Şekil 9.6'da verilmiştir. Burada yer alan n_3 modellerde kullanılan en alttaki referans noktası ref_0 'ı, n_3 ise tepedeki referans noktasını temsil etmektedir.

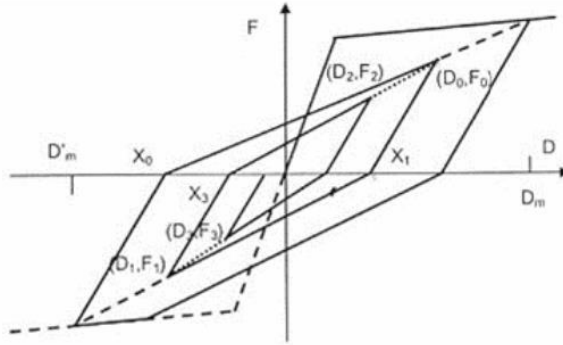


Şekil 9.6. Yay elemanların lokal eksenleri (SeismoStruct)

- **Elastik Çerçeve Elemanları:** Kirişleri temsil eden yaylar her kat seviyesinde elırm (elastik çerçeve) elemanlarla bağlanmıştır. Eğer bir eleman düşük seviyelerde uyarılmaya maruz kalıyorsa, dolayısıyla elastik sınırları içerisinde tepki veriyorsa elastik olan çerçeve elemanların kullanılması yeterlidir. Elastik çerçeve elemanları P-delta etkilerini ve yer değiştirme/dönme etkilerini dikkate alır.
- **Kütle Elemanları:** Yapıdaki kütleı temsil etmek için lmass (toplu kütle) elemanlar kullanılmıştır. Bu üç ötelenme ve üç dönme atalet değeri ile karakterize edilen tek düğümlü bir toplu kütle elemanıdır.

9.3. Yay Elemanların Parametrelerinin Tanımlanması

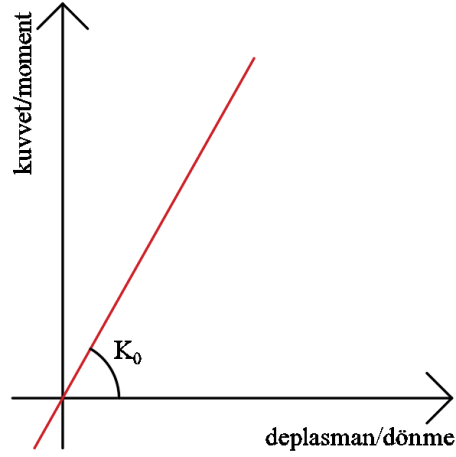
Basitleştirilmiş modelde kayma ve eğilme kirişlerini temsil etmek üzere kayma ve dönme yayları tanımlanmıştır. Bu elemanlardan kayma yaylarında düşey eksenindeki kuvveti temsil eden parametre olan F_z ve dönme yaylarında yatay eksenindeki momenti temsil eden parametre M_y için Takeda çevrimsel modeli kullanılmıştır. İki yay türü için de diğer tüm kuvvet ve moment bileşenlerinde simetrik doğrusal eğri kullanılmıştır.



Şekil 9.7. Takeda çevrimsel modeli (SeismoStruct)

Şekil 9.7’de gösterilen Takeda çevrimsel modeli Takeda et al. (1970) tarafından önerilmiştir. Bu model, çatlamamış, çatlamış ve akma sonrası aşamalarını içeren üç doğrulu modelle ifade edilir. Bu sayede çatlama sonrası ortaya çıkan rijitlik değişimleri de dikkate alınır. Çalışma kapsamında kullanılan model Otani (1974) tarafından iki doğrulu hale indirgenmiş halidir (Kayhan ve Demir 2015). İndirgenmiş bu modeli tanımlamak için kullanılan parametreler aşağıdaki gibidir:

- Akma Dayanımı (F_y)
- Başlangıç Rijitliği (K_y)
- Akma Sonrası Başlangıç Rijitliği Oranı (α)
- Dış Döngü Rijitlik Azaltma Faktörü (β_0)
- İç Döngü Rijitlik Azaltma Faktörü (β_1)



Şekil 9.8. Simetrik doğrusal eğri (SeismoStruct)

Şekil 9.8’de gösterilen simetrik doğrusal eğri idealize edilmiş doğrusal davranışı temsil ederken orijin etrafında simetriktir. Tanımlanması gereken tek parametre rijitlik (K_0) değeridir.

9.3.1. Kayma yayı parametrelerinin hesabı

Basitleştirilmiş modelde kullanılan kayma yayları kayma kirişlerini temsil etmektedir. Bu elemanlarda düşey eksendeki kuvveti temsil eden parametre olan F_z için Takeda çevrimsel modeli kullanılırken diğer parametrelerin tümü için simetrik doğrusal eğri kullanılmıştır. Simetrik doğrusal eğri kullanılarak tanımlanan sabit değerler Çizelge 9.1’de verilmiştir.

Çizelge 9.1. Kayma yaylarında kullanılan sabit rijitlik değerleri

Eğri	Rijitlik (K_0)
F_1	1.00E+08
F_2	1.00E+08
M_1	1.00E+08
M_2	1.00E+12
M_3	1.00E+08

Düşey eksendeki kuvveti temsil eden F_z için Takeda modeli kullanılırken akma dayanımı (F_y) ve başlangıç rijitliği (K_y) değerleri her bir sistem için hesaplanmıştır.

Akma sonrası başlangıç rijitliği oranı $\alpha = 0,005$, dış döngü rijitlik azaltma faktörü $\beta_0 = 0,4$ ve iç döngü rijitlik azaltma faktörü $\beta_1 = 0,9$ olarak sabit alınmıştır.

Akma yayı ve başlangıç rijitliği hesabı için kullanılabilir farklı yaklaşımlar mevcuttur. Bu çalışmada, mafsallaşmanın kirişlerde olması durumu dikkate alınarak, kiriş uç momentleri yardımıyla elde edilen kolon kesme kuvvetleri ile hesap yapılmıştır. Hesaplamalar Kazaz and Güllkan (2012) tarafından yapılan çalışmadan perde elemanın çekme ve basınç tarafındaki kiriş uç momentlerini hesaplamak amacıyla elde edilen formülasyonlar aşağıdaki gibi uygulanmıştır:

1. Kiriş ucunda ankastrelik momentleri ve perdeye aktarılan momentler hesaplanmıştır.
2. Elde edilen momentler kullanılarak, kolonların dış ve iç akslarda olması durumuna göre kolon kesme kuvvetleri hesaplanmıştır.
3. Kolon kesme kuvvetleri iç ve dış akslarda bulunan kolon sayıları ile çarpılarak toplam akma dayanımı elde edilmiştir.
4. Başlangıç rijitliği için analitik yöntemle hesaplanan sistemin çerçeve rijitliğinin kat yüksekliğine oranı kullanılmıştır.

Kiriş uç momentlerini hesaplamak için Denklem 9.1 ve 9.2 kullanılmıştır.

$$M_{ji}^F = \frac{w l_b^2}{12} \quad (9.1)$$

$$M_l^j = \frac{6 EI_b}{l_b} \left(1 + \frac{0,5 l_w}{l_b} \right) \theta_w + M_{ji}^F \quad (9.2)$$

Burada M_{ji}^F kiriş ankastrelik momentini, w kiriş yüklerini, l_b kiriş uzunluğunu temsil etmektedir. M_l^j kirişten perdeye aktarılan momenti, EI_b kiriş eğilme rijitliğini, θ_w ise maksimum dönme değerini temsil etmektedir.

Elde edilen momentler kullanılarak kolon kesme kuvvetleri Denklem 9.3 ve 9.4 ile hesaplanmıştır.

$$V_{cy (i\check{c})} = \frac{2 \times M_l^j \times 1,5 \times 1,6}{h} \quad (9.3)$$

$$V_{cy (dış)} = \frac{(M_l^j + M_{ji}^F) \times 1,5 \times 1,6}{h} \quad (9.4)$$

Burada $V_{cy (i\check{c})}$ ve $V_{cy (dış)}$ sırasıyla iç ve dış akslarda bulunan kolonların kesme kuvvetlerini temsil etmektedir. 1,5 faktörü, TBDY 2018’de verilen kolonların kirişlerden daha güçlü olması koşulu olan 1,2 çarpanının edinilen tecrübelerle dayanılarak artırılması ile; 1,6 faktörü ise pekleşme etkisini dikkate alarak kullanılmıştır.

Elde edilen kesme kuvvetleri kullanılarak akma dayanımı F_y aşağıdaki denklemle hesaplanmıştır:

$$F_y = V_{cy (i\check{c})} \times n_{i\check{c}} + V_{cy (dış)} \times n_{dış} \quad (9.5)$$

Burada $n_{i\check{c}}$ ve $n_{dış}$ sırasıyla iç ve dış akslarda bulunan kolonların sayılarını temsil etmektedir.

Başlangıç rijitliği (K_y) değeri ise kuvvet-deplasman ilişkisini yansıtacak biçimde çözülmüştür. Denklem 9.6 ve 9.7’de verilen eşitlikler kullanılarak

$$V = GA \frac{dy}{dx} \text{ ve } V = K \Delta \quad (9.6)$$

$$GA \gamma = K \Delta \quad (9.7)$$

ve $\Delta = \gamma h$ eşitliğine dayandırılarak;

$$K_y = GA \frac{\gamma}{\Delta} = \frac{GA}{h} \quad (9.8)$$

Denklem 9.8 ile hesaplanır. Bu çözüm GA analitik çözümde hesaplanan sistemin çerçeve rijitliğini, h ise kat yüksekliğini temsil etmektedir.

İncelenen tüm modellerin kayma yaylarındaki F_z bileşeninin akma dayanımı hesaplamalarında kullanılan tüm ara değerler EK 5'te verilmiştir. Tüm modellerde kullanılan F_z bileşeninin akma dayanımı ve başlangıç rijitliği değerleri ise EK 6'da verilmiştir.

9.3.2. Dönme yayı parametrelerinin hesabı

Basitleştirilmiş modelde kullanılan dönme yayları eğilme kirişlerini temsil etmektedir. Bu elemanlarda yatay eksendeki momenti temsil eden parametre olan M_y için Takeda çevrimsel modeli kullanılırken diğer parametrelerin tümü için simetrik doğrusal eğri kullanılmıştır. Simetrik doğrusal eğri kullanılarak tanımlanan sabit değerler Çizelge 9.2'de verilmiştir.

Çizelge 9.2. Dönme yaylarında kullanılan sabit rijitlik değerleri

Eğri	Rijitlik (K_0)
F_1	1.00E+10
F_2	1.00E+08
F_3	1.00E+03
M_1	1.00E+12
M_3	1.00E+08

Yatay eksendeki momenti temsil eden M_y için Takeda modeli kullanılırken akma dayanımı (M_{By}) ve başlangıç rijitliği (K_y) değerleri her bir sistem için hesaplanmıştır. Akma sonrası başlangıç rijitliği oranı $\alpha = 0,005$, dış döngü rijitlik azaltma faktörü $\beta_0 = 0,4$ ve iç döngü rijitlik azaltma faktörü $\beta_1 = 0,9$ olarak sabit alınmıştır.

Akma dayanımı ve başlangıç rijitliği değerlerini hesaplarken, maksimum dönme perdeye bağlanan kirişlerde olduğu için bu kirişlerde oluşan momentler kullanılmıştır. Sistemdeki tüm kirişlerde bu momentlerin etkili olduğu varsayımı yapılmıştır. Momentleri hesaplarken Kazaz and Gülkan (2012) tarafından yapılan çalışmadan alınan moment hesabı kullanılmıştır.

Perdeye bağlanan kirişlerden aktarılan momentlere göre, pekleşme etkilerini dikkate almak üzere düzenlenmiş haliyle, akma dayanımı (M_{By}) aşağıdaki denklemle hesaplanmıştır:

$$M_{By} = 1,4 \times 6 \times \frac{EI_b}{l_b} \left(1 + \frac{l_w}{l_b}\right) \left(2 + \frac{l_w}{l_b}\right) \theta_w \quad (9.9)$$

Burada EI_b kiriş eğilme rijitliğini, l_b kiriş uzunluğunu, l_w perdenin plandaki uzunluğunu, θ_w ise maksimum dönme değerini temsil etmektedir.

Başlangıç rijitliği (K_y) değeri ise moment-dönme ilişkisini temsil edecek biçimde, elde edilen akma dayanımına ve maksimum dönmeye bağlı olarak aşağıdaki gibi elde edilmiştir:

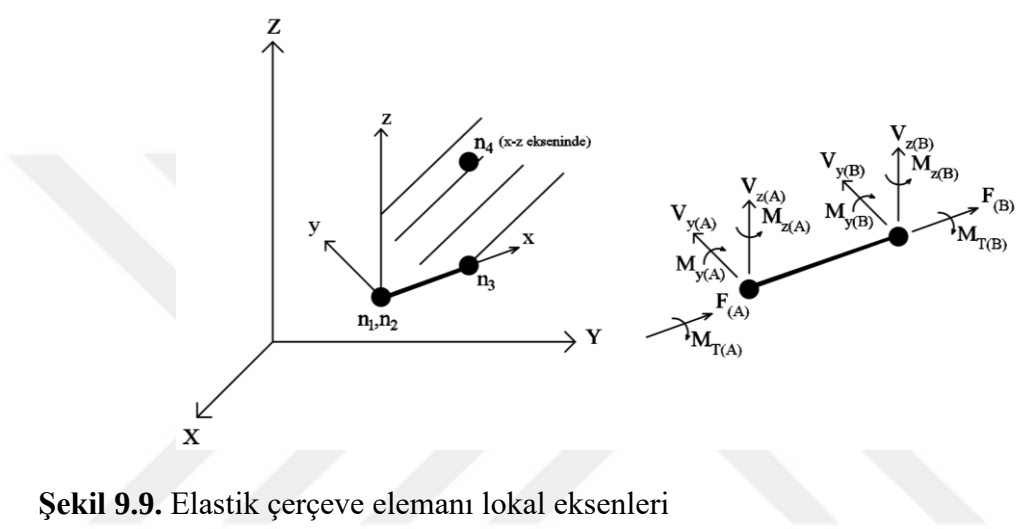
$$K_y = \frac{M_{By}}{\theta_w} \quad (9.10)$$

Burada M_{By} hesaplanan akma dayanımı, θ_w ise sistemin maksimum dönme değerini ifade etmektedir.

Tüm modellerde dönme yaylarında kullanılan M_y bileşenlerinin akma dayanımı ve başlangıç rijitliği değerleri ise EK 7’de verilmiştir.

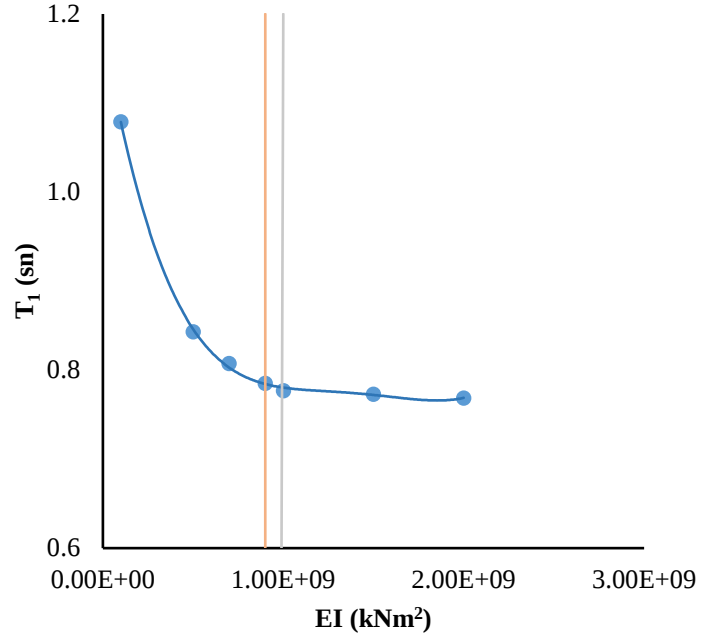
9.4. Elastik Çerçeve Elemanların Parametrelerinin Tanımlanması

Basitleştirilmiş modelde eğilme ve kayma kirişlerini temsil etmek üzere oluşturulan yay elemanları, yapı yüksekliği boyunca her kat seviyesinde elastik çerçeve elemanlarıyla bağlanmıştır. Elastik çerçeve elemanları sistemdeki çerçeveleri temsil etmektedir. Bu elemanlara ait lokal eksenler ve kuvvet rotasyonları Şekil 9.9'da verilmiştir.



Şekil 9.9. Elastik çerçeve elemanı lokal eksenleri

Yapılan çalışmalarla, elastik çerçeve elemanların y yönündeki eğilme rijitliğini ifade eden $EI - 2$ değerinin aldığı değere göre yapı periyodunda önemli ölçüde değişiklik olduğu görülmüştür. Bu nedenle incelenen modellerin her birinde, y yönündeki eğilme rijitliği değişimine bağlı olarak yapının birinci mod periyodu grafiği oluşturulmuştur. Şekil 9.10'da verilen örnek periyot-eğilme rijitliği grafiğindeki gibi, periyodun değişmediği rijitlik değeri belirlenmiştir.



Şekil 9.10. Örnek periyot-eğilme rijitliği grafiği

İncelenen tüm modellerin elastik çerçeve modelleri için elde edilen y yönündeki eğilme rijitlikleri $EI - 2$ ve sabit alınan diğer parametreleri EK 8’de verilmiştir.

9.5. Modal Kütle Elemanlarının Tanımlanması

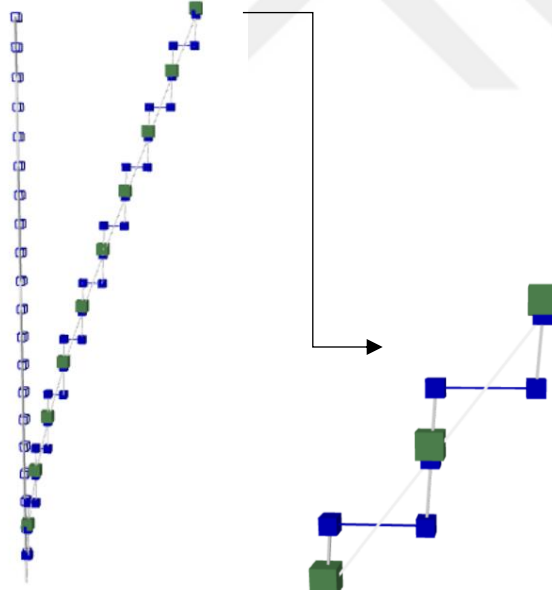
Modal kütle tanımlanırken modellerin SAP2000 bilgisayar modelleri kullanılarak elde edilen yapı ağırlıkları alınmıştır. Tek perde-eşdeğer çerçeve sonlu eleman modelinde sistem özelliklerinin tümünde olduğu gibi kütle elemanında da bu ağırlıkların yarısı kullanılmıştır. Tüm modellere ait modal kütleler EK 9’da verilmiştir.

9.6. Analitik Modelleme ile Basitleştirilmiş Yapısal Analiz Modellerinin Değerlendirilmesi

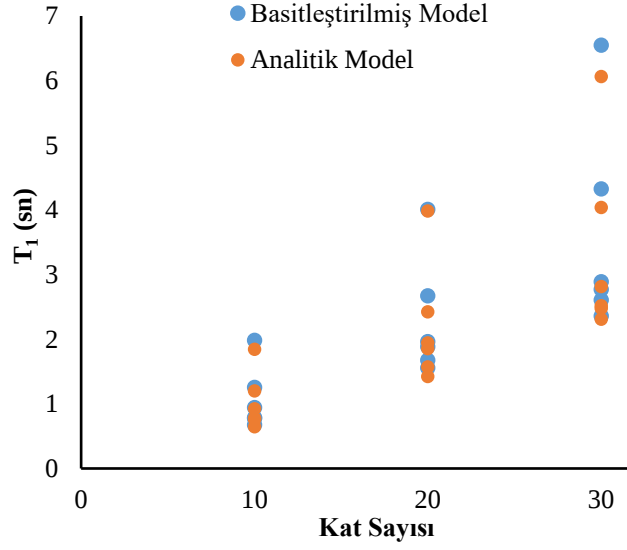
Anlatılan yöntemlerle belirlenen ilgili parametrelere göre tanımlanan elemanlar ile incelenen modellerin basitleştirilmiş yapısal analiz modelleri oluşturulmuştur. Bu modellerin modal analizleri yapılarak analitik modal analiz sonuçları ile karşılaştırılmıştır. İlk mod periyotları için karşılaştırma sonuçları Çizelge 9.3’te verilmiştir.

Çizelge 9.3. Basitleştirilmiş modeller ve analitik modellerin modal analiz sonuçları

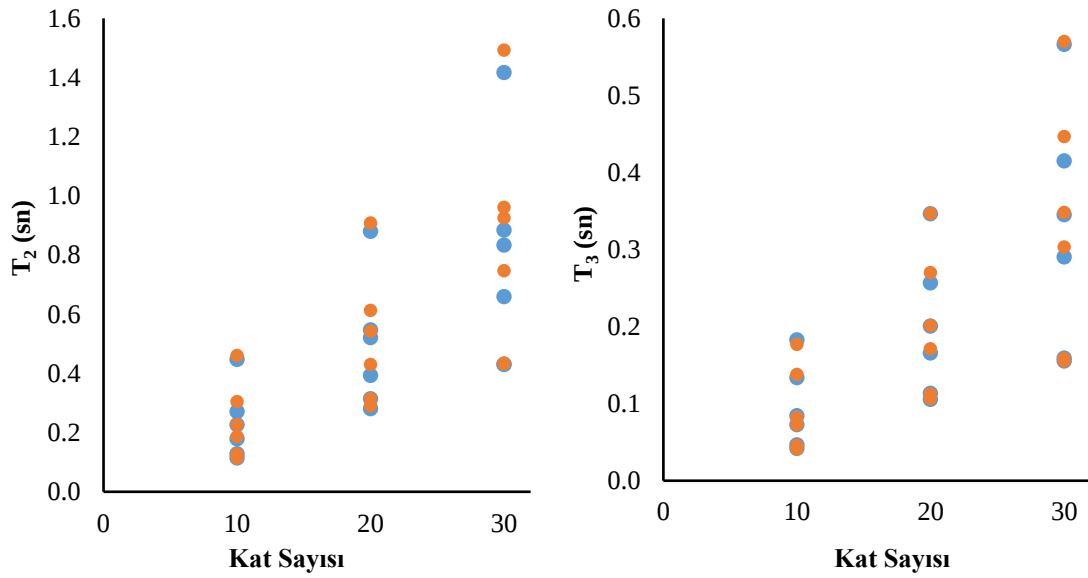
Model	T_1 (sn)-Basitleştirilmiş	T_1 (sn)-Analitik	Hata Oranı (%)
10-3-P	1,984	1,843	7,1
10-3-T	0,943	0,921	2,4
10-5-P	1,257	1,199	4,6
10-5-T	0,783	0,777	0,8
10-7,5-P	0,777	0,760	2,2
10-7,5-T	0,674	0,644	4,4
20-5-P	4,009	3,984	0,6
20-5-T	1,963	1,944	0,9
20-7,5-P	2,672	2,426	9,2
20-7,5-T	1,677	1,571	6,3
20-10-P	1,886	1,856	1,6
20-10-T	1,556	1,422	8,6
30-6-P	6,549	6,065	7,4
30-6-T	2,891	2,814	2,7
30-9-P	4,327	4,038	6,7
30-9-T	2,770	2,477	10,6
30-13-P	2,607	2,517	3,5
30-13-T	2,359	2,309	2,1

**Şekil 9.11.** Basitleştirilmiş modelin birinci mod davranışı

Şekil 9.11’de basitleştirilmiş modelin birinci mod davranışı gösterilmiştir. Buradan görüldüğü gibi sistemde yer alan elastik çerçeve elemanlar yalnızca kesmeye maruz kaldığı için dönme davranışı görülmemektedir.



Şekil 9.12. Eşdeğer sonlu eleman modelleri ve analitik modelleme yöntemiyle elde edilen birinci mod için periyot değerleri.



Şekil 9.13. Eşdeğer sonlu eleman modelleri ve analitik modelleme yöntemiyle elde edilen 2. ve 3. mod için periyot değerleri.

Şekil 9.12 ve 9.13'te incelenen modellerin analitik yöntemle bulunan ilk üç moda ait periyotları ile basitleştirilmiş yapısal analiz modellerinin modal analizinden elde edilen periyot değerleri verilmiştir. Bu dağılımlar incelendiğinde basitleştirilmiş modellerin tüm kat yükseklikleri için analitik modal analiz sonuçlarına yakın sonuçlar verdiği ve Çizelge 9.3'te verildiği gibi düşük hata oranlarına sahip olduğu görülmüştür.

10. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu tez çalışması kapsamında, betonarme burulmasız perdeli sistemlerin hesap ve tasarımı üzerine yapılacak çalışmaları kolaylaştırarak pratik çalışmalar sağlayacak basitleştirilmiş yapısal analiz modelleri incelenmiştir. Basitleştirilmiş yapısal analiz modellerinde tüm yapıyı modellemek yerine, belirlenen parametreler yardımıyla oluşturulan eşdeğer sonlu eleman modelleri kullanılır.

Bu tez çalışması kapsamında incelenmek üzere merkezinde betonarme U kesitli perde sistemine sahip perdeli sistemler seçilmiştir. Kat yüksekliği sabit tutularak kat sayısı değiştirilmiştir. Kat alanı sabit tutularak değiştirilen perde boyutlarına ek olarak plak ve kirişli döşemeli seçilen döşeme sistemleri ile taşıyıcı sistem davranışı değiştirilmiştir.

Yönetmeliklere göre boyutlandırması ve tasarımları yapılan modellerin ele alınan analitik statik ve modal analizleri yapılmıştır. Referans bilgisayar modelleri ile yapılan modal analiz bulgularıyla karşılaştırıldığında, betonarme perdeli yapıların hesabında kirişli döşemeli sistemler için alınan sonuçların plak döşemeli sistemlerden daha düşük hata oranlarına sahip olduğu görülmüştür.

Analitik modal analiz verileri kullanılarak belirlenen yaklaşımlar yardımıyla basitleştirilmiş yapısal analiz modelleri oluşturulmuştur. Sistemin simetrik olması göz önünde bulundurularak oluşturulan yapısal analiz modellerine modal analiz yapılmıştır. Analitik modal analiz sonuçları ile karşılaştırıldığında, yapının modal davranışının ve ilk üç mod için periyodunun kabul edilebilir düzeyde hata oranlarına sahip olduğu görülmüştür. Buradan yola çıkarak

Yapılan modal analiz incelemelerinin sonucunda, parametrik çalışma ile yapısal analiz programlarında oluşturulan modellerin modal analizlerinin kabul edilebilir hata oranlarına sahip olduğu ve modal davranışı doğru bir biçimde yansıttığı görülmüştür. Buradan yola çıkarak parametrik çalışmanın betonarme perdeli yapıların modal analizlerinde kullanılabilir olduğu sonucuna varılmıştır. Yapılacak analizlerde ve hesaplamalarda pratiklik ve kolaylık sağlayacak önerilen basitleştirilmiş yapısal analiz

modellerinin, doğru ve yeterli yaklaşımlarla parametreleri belirlenerek oluşturulduğunda perdeli sistemlerin davranışını incelemek için kullanılabilir olduğu sonucuna varılmıştır.

Basitleştirilmiş yapısal analiz modellerini oluşturulurken kullanılacak olan dinamik parametrelerin doğru yaklaşımlarla hesaplanması ve tanımlanması gerekmektedir. Bu tez çalışması ile kullanılan parametrelere yönelik aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

- Kayma kirişlerini temsil eden kayma yayı elemanlarının akma dayanımların belirlenirken; mafsallaşmanın kirişlerde olması durumunu kabul ederek kiriş uç momentleri yardımıyla elde edilen kolon kesme kuvvetleri kullanılabilir.
- Eğilme kirişlerini temsil eden dönme yayı elemanlarının akma dayanımları belirlenirken, en büyük dönmenin olduğu perdeye bağlanan kirişlere göre hesaplamalar yapılabilir.
- Yapı yüksekliği boyunca eğilme ve kayma kirişlerini temsil eden yayları bağlayan elastik çerçeve elemanların eğilme rijitlikleri, sistemin modal davranışına önemli ölçüde etki etmektedir. Bu nedenle sabit bir kabul yapmak yerine incelenen yapı için oluşturulacak eğilme rijitliği-periyot eğrisi ile belirlenmelidir.

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar, çalışma kapsamında incelenen analitik yöntem ve seçilen modellere göre değerlendirilmiştir. Betonarme perdeli sistemlerin basitleştirilmiş yapısal analiz modelleri, farklı taşıyıcı sisteme sahip yapılar üzerine, değiştirilen tasarım esasları etkisinde incelenebilir.

KAYNAKLAR

- Alku, Ö. Z. 1993. Yatay kuvvetler etkisinde burulmasız perde çerçeve sistemlerin hesabı. Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, 19, İzmir.
- Anonim, 2023. Web Sitesi: https://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/deprem_potansiyeli, Erişim Tarihi: 03/05/2023.
- Anonim, 2023. Web Sitesi: <https://www.mta.gov.tr/v3.0/hizmetler/yenilenmis-diri-fay-haritalari>, Erişim Tarihi: 24/05/2023.
- Anonim, 2023. Web Sitesi: <https://tdth.afad.gov.tr/TDTH/main.xhtml>, Erişim Tarihi: 01/03/2023.
- Ayazoğlu, R. ve Erkuş, B. 2015. Yüksek Yapıların Çözümlemesinde Kullanılan Eşdeğer Çerçeve Yöntemlerinin İncelenmesi, Sekizinci Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, 11-14 Mayıs, İstanbul.
- Banchik, C. A. 1987. Effective beam width coefficients for equivalent frame analysis of flat-plate structures. Master's Thesis, University of California, Department of Civil and Environmental Engineering, California, USA.
- Bilyap, S. 1979. Betonarme Yüksek Yapılarda Burulmasız Perde-Çerçeve Sistemlerin Yatay Kuvvetlere Göre Yaklaşık Hesap Yöntemleri ve Dinamik Karakteristikleri. Ege Üniversitesi İnşaat Fakültesi Yayınları, 41, İzmir.
- Bora, O. 2017. Betonarme perdelerin modellenmesi. Lisans Bitirme Tezi, Erzurum Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 55, Erzurum.
- Boza, B. S. 2010. Betonarme perdelerde kesme kuvveti dinamik büyütme katsayısının doğrusal olmayan zaman tanım alanında hesap yöntemi ile incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 107, İstanbul.
- Celep Z. 2014. Betonarme Taşıyıcı Sistemlerde Doğrusal Olmayan Davranış ve Çözümleme. Beta basım yayım, 319, İstanbul.
- Celep, Z. 2020. Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı. Beta basım yayım, 764, İstanbul.
- DBYBHY. 2007. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik. Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, Ankara.
- Esin, D. 2005. Statik itme analizi yöntemiyle mevcut bir betonarme yapının incelenmesi ve uygulanması. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 96, İstanbul.
- Fischinger, M., Vidic, T., Selih, J., Fajfar, P., Zhang, H. Y. and Damjanic, F. B. 1990. Validation of A Macroscopic Model for Cyclic Response Prediction of RC Walls, 2nd International Conference on Computer Aided Analysis and Design of Concrete Structures, 4-6 April, Austria.

- Galal, K. and El-Sokkary, H. 2008. Advancement in Modeling of RC Shear Walls, The 14th World Conference on Earthquake Engineering, 12-17 October, Beijing, China.
- Giberson, M. 1967. The response of nonlinear multi-story structures subjected to earthquake excitation. PhD Thesis, California Institute of Technology, Engineering and Applied Science, 237, California, USA.
- Günaydın A. ve Gökdemir H. 2021. Perdelerin depreme dayanıklı yapı tasarımındaki etkisi. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi, 29(3), 381-395.
- Heidebrecht A.C. and Stafford Smith B. 1973. Approximate analyses of tall wall-frame structures. ASCE Journal of Structural Division, 99(2), 199-221.
- Hwang, S.J. and Moehle J.P. 2000. Models for laterally loaded slab-column frames. ACI Structural Journal, 97(2), 345-353.
- Kabeyasawa, T., Shiohara, H., Otani, S., and Aoyama, H. 1983. Analysis of the fullscale seven-story reinforced concrete test structure. The University of Tokyo Journal of the Faculty of Engineering, 37(2), 431-478.
- Kaya G., ve Özsoy Özbay A.E., 2019. Perde ve çerçevesel betonarme yapılarda perde konumunun planda düzenlenmesi ve yapısal davranışa etkisi. Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 7(1), 7-17.
- Kayhan A.H. ve Demir A. 2015. Tek serbestlik dereceli sistemlerde maksimum ötelenme talebi üzerinde çevrimsel davranış modellerinin etkisi. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilim Dergisi, 22(6), 442-453.
- Kazaz, İ. 2010. Dynamic characteristics and performance assessment of reinforced concrete structural walls. PhD Thesis, Middle East Technical University, 379, Ankara.
- Kazaz, İ. and Gülkan, P. 2012. An improved frame-shear wall model: continuum formulation. The Structural Design of Tall and Special Buildings, 21(7), 524-42.
- Massone, L.M. and Wallace, J. W. 2004. Load-deformation responses of lender reinforced concrete walls. ACI Structural Journal, 101(1), 103-113.
- Ngo, D., and Scordelis A. C. 1967. Finite element analysis of reinforced concrete beams. Journal of the American Concrete Institute, 64(3), 153-163.
- Orakcal, K., Maaone, L. M. and Wallace, J. W. 2006. Analytical modeling of reinforced concrete walls for predicting flexural and coupled shear-flexural responses (Technical Report No. PEER 2006/07). Pacific Earthquake Engineering Research Center, California, USA.
- Otani, S. 1974. Inelastic Analysis of R/C frame structures. Journal of the Structural Division, 100(7), 1433-1449.
- SAP2000 v24. Structural Analysis Program.

SeismoStruct v23. Structural Analysis Program.

Shaban, N. ve Caner, A. 2015. Sönüm Modelleri ve Yapısal Dinamik Analizlerin Güvenirliği, 3. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, 14-16 Ekim, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.

Takeda, T., Sözen, M. A. and Nielsen, N. 1970. Reinforced concrete response to simulated earthquake. Journal of the Structural Division, 96(12), 2557-2573.

TBDY. 2018. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara.

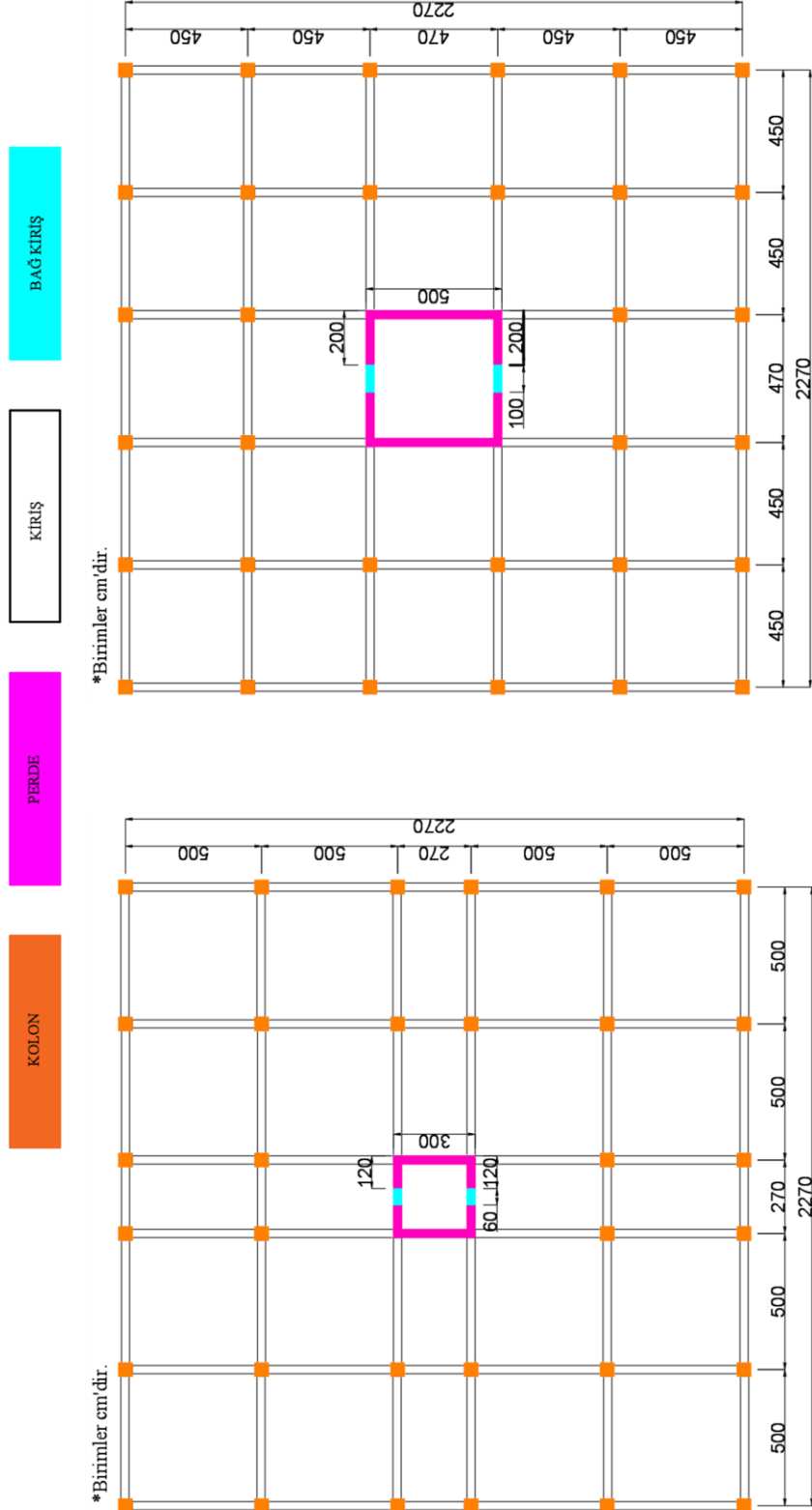
Thomsen, J. H. and Wallace, J. W. 1995. Displacement –based design of RC structural wall: an experimental investigation of wall with rectangular and T-shaped cross section (Report to the National Science Foundation). Department of Civil Engineering, University of Clarkson, Potsdam, New York.

Vulcano, A. and Bertero, V. 1987. Analytical models for predicting the lateral response of rc shear walls: evaluation of their reliability (Technical Report No. UCB/EERC87/19). Earthquake Engineering Research Center, Grand Forks, USA.

Vulcano, A., Bertero, V. V. and Colotti, V. 1988. Analytical Modeling of RC Structural Walls, 9th World Conference on Earthquake Engineering, 2-9 August, Tokyo-Kyoto, Japan.

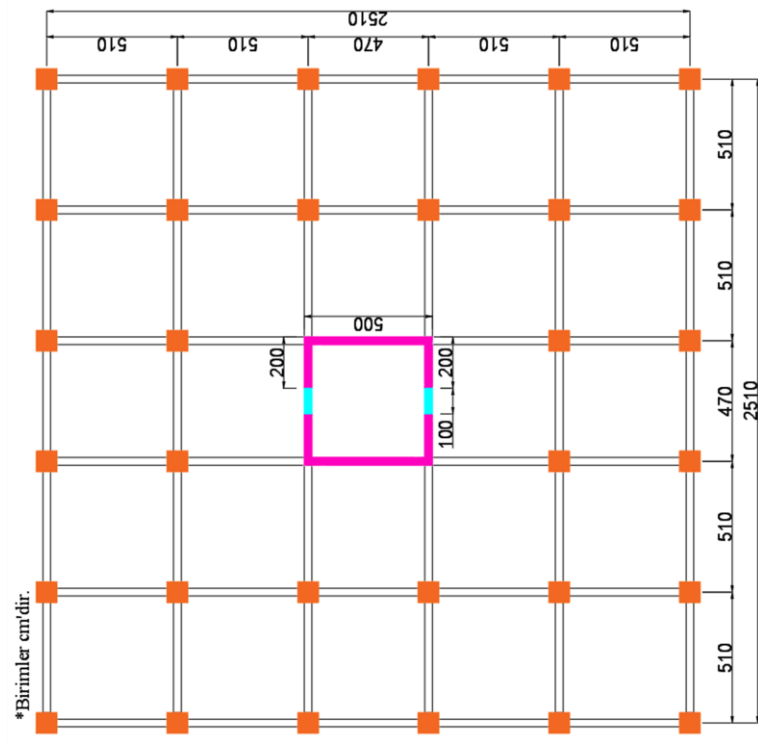
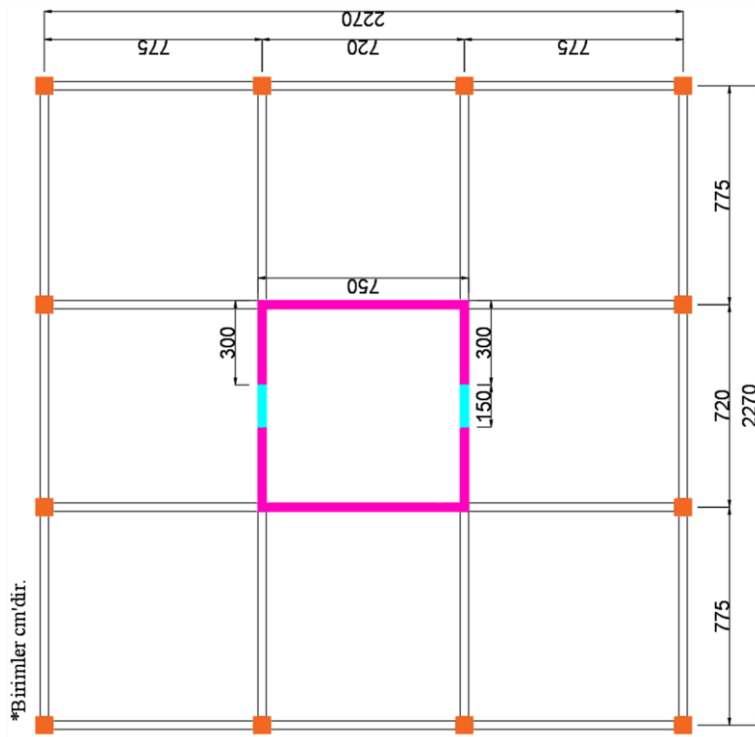
EKLER

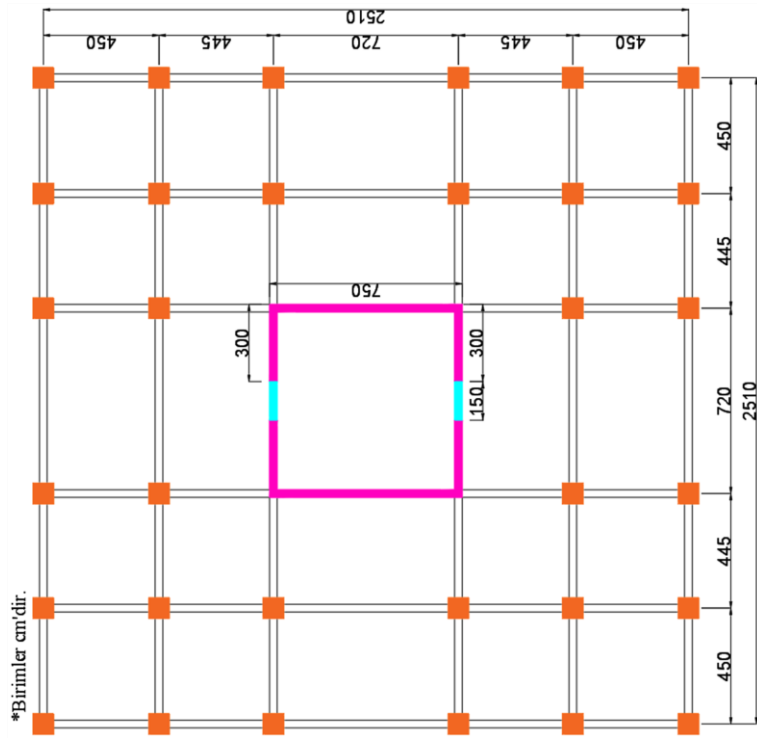
EK 1: Modellere ait kat planları



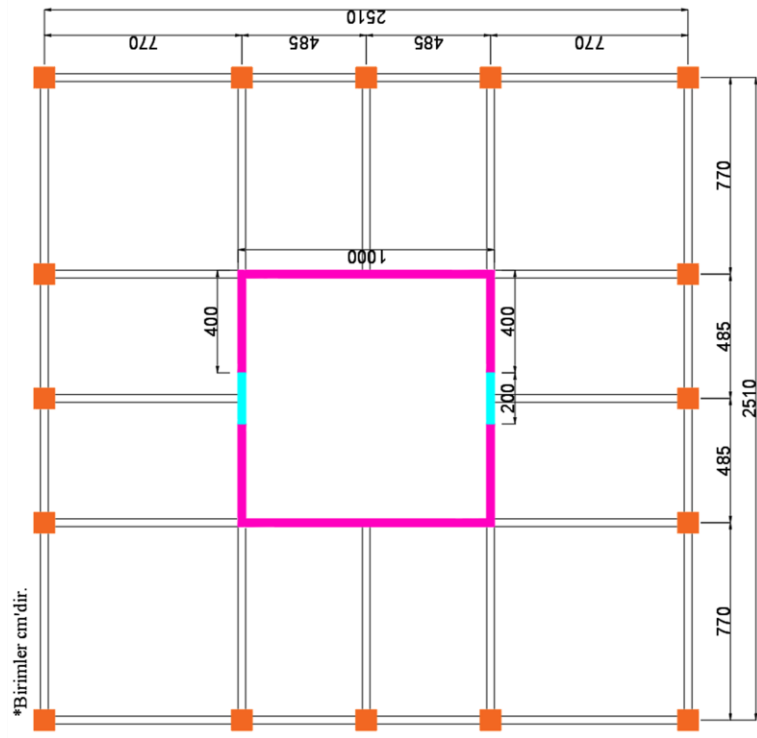
10-3-P ve 10-3-T modellerine ait kat planı

10-5-P ve 10-5-T modellerine ait kat planı

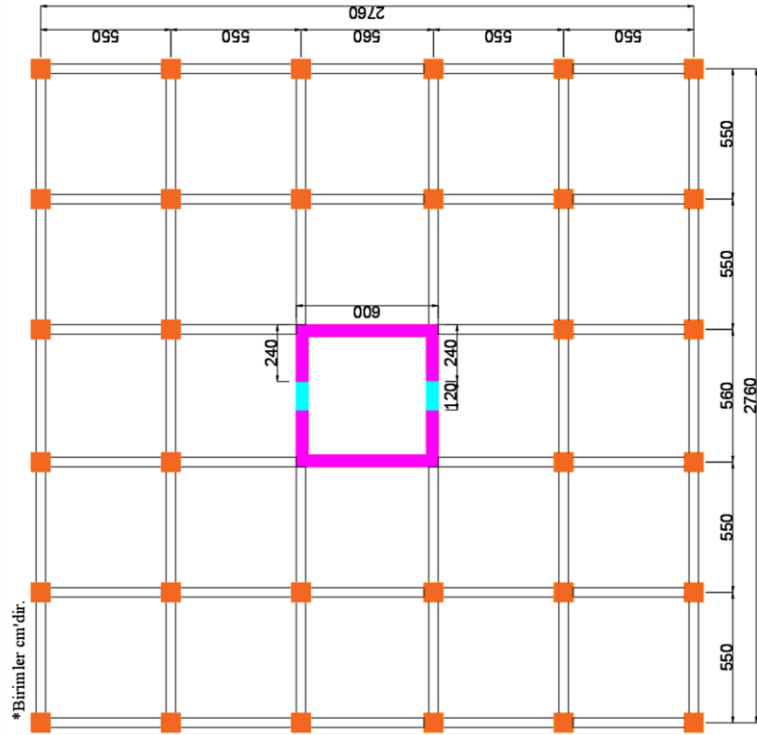




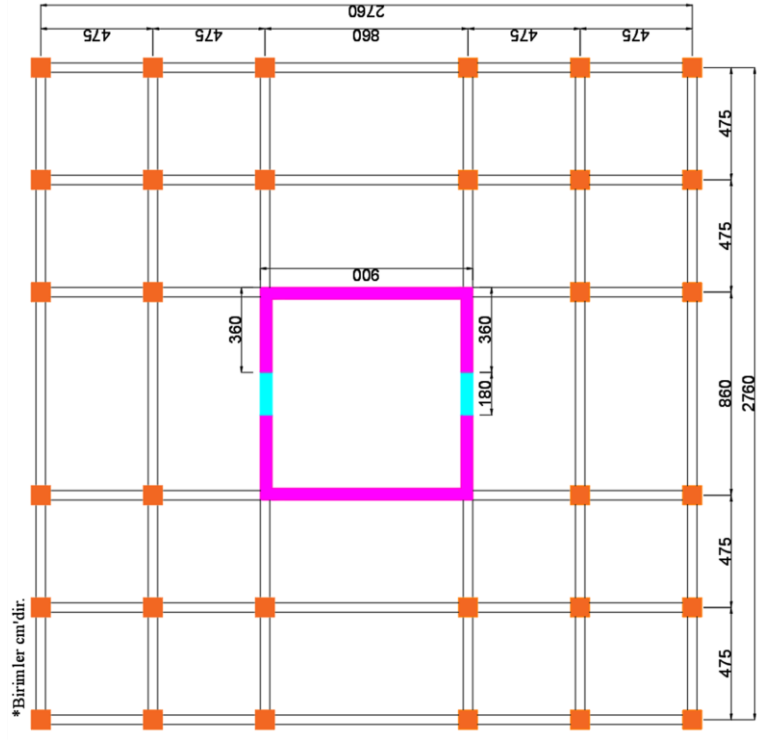
20-7,5-P ve 20-7,5-T modellerine ait kat planı



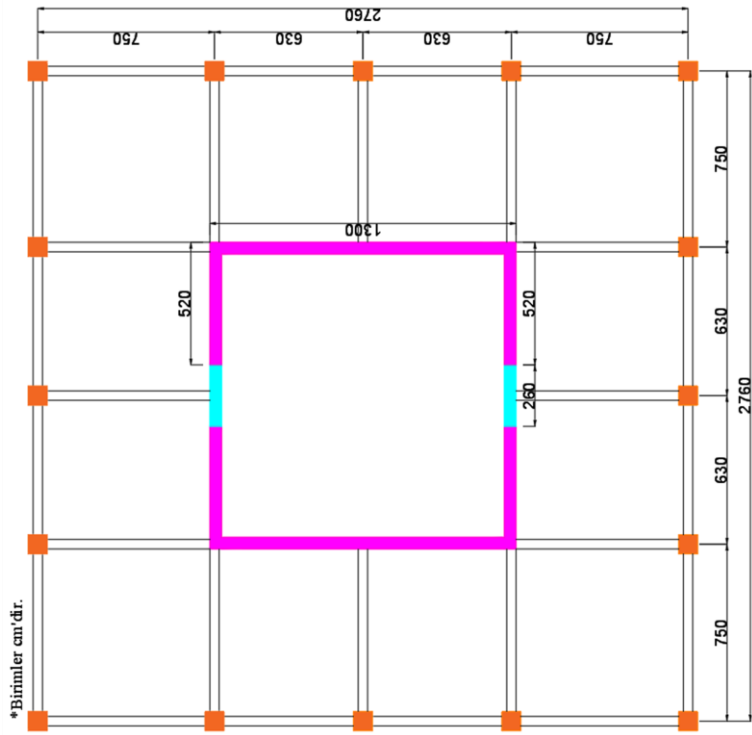
20-10-P ve 20-10-T modellerine ait kat planı



30-6-P ve 30-6-T modellerine ait kat planı



30-9-P ve 30-9-T modellerine ait kat planı



30-13-P ve 30-13-T modellerine ait kat planı

EK 2: Analitik modal analizde elde edilen parametreler

Model	Mod	$\lambda_0 H$	a^2	λ_0	ω_0	α	αH	ω	k'	λ_1^2	λ_2^2	λ_1	λ_2	$\lambda_1 H$	$\lambda_2 H$	T (sn)
10-3-P	1	1,875	2,45E+05	0,063	1,9	0,081	2,4	3,2	4,09E-05	3,91E-03	1,05E-02	6,25E-02	1,02E-01	1,9	3,1	1,98
	2	4,694	2,45E+05	0,156	12,1	0,081	2,4	13,7	7,60E-04	2,45E-02	3,11E-02	1,56E-01	1,76E-01	4,7	5,3	0,46
	3	7,855	2,45E+05	0,262	33,9	0,081	2,4	35,5	5,15E-03	6,86E-02	7,51E-02	2,62E-01	2,74E-01	7,9	8,2	0,18
	4	10,996	2,45E+05	0,367	66,5	0,081	2,4	68,1	1,89E-02	1,34E-01	1,41E-01	3,67E-01	3,75E-01	11,0	11,3	0,09
	5	14,137	2,45E+05	0,471	109,9	0,081	2,4	111,6	5,08E-02	2,22E-01	2,29E-01	4,71E-01	4,78E-01	14,1	14,3	0,06
10-3-T	1	1,875	2,94E+05	0,063	2,1	0,186	5,6	6,7	1,51E-04	3,91E-03	3,87E-02	6,25E-02	1,97E-01	1,9	5,9	0,94
	2	4,694	2,94E+05	0,156	13,3	0,186	5,6	20,6	1,45E-03	2,45E-02	5,92E-02	1,56E-01	2,43E-01	4,7	7,3	0,30
	3	7,855	2,94E+05	0,262	37,2	0,186	5,6	45,6	7,08E-03	6,86E-02	1,03E-01	2,62E-01	3,21E-01	7,9	9,6	0,14
	4	10,996	2,94E+05	0,367	72,8	0,186	5,6	81,7	2,27E-02	1,34E-01	1,69E-01	3,67E-01	4,11E-01	11,0	12,3	0,08
	5	14,137	2,94E+05	0,471	120,3	0,186	5,6	129,4	5,70E-02	2,22E-01	2,57E-01	4,71E-01	5,07E-01	14,1	15,2	0,05
10-5-P	1	1,875	1,22E+06	0,063	4,3	0,037	1,1	5,0	2,05E-05	3,91E-03	5,24E-03	6,25E-02	7,24E-02	1,9	2,2	1,26
	2	4,694	1,22E+06	0,156	27,0	0,037	1,1	27,8	6,32E-04	2,45E-02	2,58E-02	1,56E-01	1,61E-01	4,7	4,8	0,23
	3	7,855	1,22E+06	0,262	75,7	0,037	1,1	76,5	4,79E-03	6,86E-02	6,99E-02	2,62E-01	2,64E-01	7,9	7,9	0,08
	4	10,996	1,22E+06	0,367	148,4	0,037	1,1	149,1	1,82E-02	1,34E-01	1,36E-01	3,67E-01	3,68E-01	11,0	11,1	0,04
	5	14,137	1,22E+06	0,471	245,3	0,037	1,1	246,0	4,96E-02	2,22E-01	2,23E-01	4,71E-01	4,73E-01	14,1	14,2	0,03

Model	Mod	λ_0 H	a^2	λ_0	ω_0	α	α H	ω	k^d	λ_1^2	λ_2^2	λ_1	λ_2	λ_1 H	λ_2 H	T (sn)
10-5-T	1	1,875	1,45E+06	0,063	4,7	0,086	2,6	8,0	4,43E-05	3,91E-03	1,13E-02	6,25E-02	1,06E-01	1,9	3,2	0,78
	2	4,694	1,45E+06	0,156	29,5	0,086	2,6	33,7	7,81E-04	2,45E-02	3,19E-02	1,56E-01	1,79E-01	4,7	5,4	0,19
	3	7,855	1,45E+06	0,262	82,6	0,086	2,6	87,0	5,21E-03	6,86E-02	7,60E-02	2,62E-01	2,76E-01	7,9	8,3	0,07
	4	10,996	1,45E+06	0,367	162,0	0,086	2,6	166,4	1,90E-02	1,34E-01	1,42E-01	3,67E-01	3,77E-01	11,0	11,3	0,04
	5	14,137	1,45E+06	0,471	267,7	0,086	2,6	272,1	5,10E-02	2,22E-01	2,29E-01	4,71E-01	4,79E-01	14,1	14,4	0,02
10-7,5-P	1	1,875	4,07E+06	0,063	7,9	0,015	0,4	8,1	1,61E-05	3,91E-03	4,12E-03	6,25E-02	6,42E-02	1,9	1,9	0,78
	2	4,694	4,07E+06	0,156	49,4	0,015	0,4	49,6	6,05E-04	2,45E-02	2,47E-02	1,56E-01	1,57E-01	4,7	4,7	0,13
	3	7,855	4,07E+06	0,262	138,3	0,015	0,4	138,5	4,71E-03	6,86E-02	6,88E-02	2,62E-01	2,62E-01	7,9	7,9	0,05
	4	10,996	4,07E+06	0,367	271,0	0,015	0,4	271,2	1,81E-02	1,34E-01	1,35E-01	3,67E-01	3,67E-01	11,0	11,0	0,02
	5	14,137	4,07E+06	0,471	447,9	0,015	0,4	448,1	4,94E-02	2,22E-01	2,22E-01	4,71E-01	4,71E-01	14,1	14,1	0,01
10-7,5-T	1	1,875	4,93E+06	0,063	8,7	0,025	0,7	9,3	1,76E-05	3,91E-03	4,51E-03	6,25E-02	6,72E-02	1,9	2,0	0,67
	2	4,694	4,93E+06	0,156	54,3	0,025	0,7	55,0	6,14E-04	2,45E-02	2,51E-02	1,56E-01	1,58E-01	4,7	4,8	0,11
	3	7,855	4,93E+06	0,262	152,2	0,025	0,7	152,9	4,74E-03	6,86E-02	6,92E-02	2,62E-01	2,63E-01	7,9	7,9	0,04
	4	10,996	4,93E+06	0,367	298,2	0,025	0,7	298,9	1,81E-02	1,34E-01	1,35E-01	3,67E-01	3,67E-01	11,0	11,0	0,02
	5	14,137	4,93E+06	0,471	492,9	0,025	0,7	493,6	4,94E-02	2,22E-01	2,23E-01	4,71E-01	4,72E-01	14,1	14,2	0,01

Model	Mod	λ_0 H	a^2	λ_0	ω_0	α	α H	ω	k^d	λ_1^2	λ_2^2	λ_1	λ_2	λ_1 H	λ_2 H	T (sn)
20-5-P	1	1,875	1,03E+06	0,031	1,0	0,038	2,3	1,6	2,38E-06	9,77E-04	2,44E-03	3,13E-02	4,94E-02	1,9	3,0	4,01
	2	4,694	1,03E+06	0,078	6,2	0,038	2,3	6,9	4,64E-05	6,12E-03	7,58E-03	7,82E-02	8,71E-02	4,7	5,2	0,91
	3	7,855	1,03E+06	0,131	17,4	0,038	2,3	18,1	3,19E-04	1,71E-02	1,86E-02	1,31E-01	1,36E-01	7,9	8,2	0,35
	4	10,996	1,03E+06	0,183	34,1	0,038	2,3	34,8	1,18E-03	3,36E-02	3,50E-02	1,83E-01	1,87E-01	11,0	11,2	0,18
	5	14,137	1,03E+06	0,236	56,4	0,038	2,3	57,1	3,16E-03	5,55E-02	5,70E-02	2,36E-01	2,39E-01	14,1	14,3	0,11
20-5-T	1	1,875	1,31E+06	0,031	1,1	0,084	5,0	3,2	7,85E-06	9,77E-04	8,04E-03	3,13E-02	8,96E-02	1,9	5,4	1,96
	2	4,694	1,31E+06	0,078	7,0	0,084	5,0	10,3	8,07E-05	6,12E-03	1,32E-02	7,82E-02	1,15E-01	4,7	6,9	0,61
	3	7,855	1,31E+06	0,131	19,6	0,084	5,0	23,3	4,15E-04	1,71E-02	2,42E-02	1,31E-01	1,56E-01	7,9	9,3	0,27
	4	10,996	1,31E+06	0,183	38,4	0,084	5,0	42,2	1,37E-03	3,36E-02	4,06E-02	1,83E-01	2,02E-01	11,0	12,1	0,15
	5	14,137	1,31E+06	0,236	63,4	0,084	5,0	67,4	3,47E-03	5,55E-02	6,26E-02	2,36E-01	2,50E-01	14,1	15,0	0,09
20-7,5-P	1	1,875	3,17E+06	0,031	1,7	0,028	1,7	2,4	1,75E-06	9,77E-04	1,79E-03	3,13E-02	4,23E-02	1,9	2,5	2,67
	2	4,694	3,17E+06	0,078	10,9	0,028	1,7	11,6	4,24E-05	6,12E-03	6,93E-03	7,82E-02	8,33E-02	4,7	5,0	0,54
	3	7,855	3,17E+06	0,131	30,5	0,028	1,7	31,2	3,08E-04	1,71E-02	1,79E-02	1,31E-01	1,34E-01	7,9	8,0	0,20
	4	10,996	3,17E+06	0,183	59,8	0,028	1,7	60,5	1,16E-03	3,36E-02	3,44E-02	1,83E-01	1,85E-01	11,0	11,1	0,10
	5	14,137	3,17E+06	0,236	98,8	0,028	1,7	99,5	3,13E-03	5,55E-02	5,63E-02	2,36E-01	2,37E-01	14,1	14,2	0,06

Model	Mod	$\lambda_0 H$	a^2	λ_0	ω_0	α	αH	ω	k'	λ_l^2	λ_z^2	λ_1	λ_2	$\lambda_1 H$	$\lambda_2 H$	T (sn)
20-7,5-T	1	1,875	3,98E+06	0,031	1,9	0,051	3,1	3,7	3,52E-06	9,77E-04	3,61E-03	3,13E-02	6,01E-02	1,9	3,6	1,68
	2	4,694	3,98E+06	0,078	12,2	0,051	3,1	14,6	5,36E-05	6,12E-03	8,75E-03	7,82E-02	9,35E-02	4,7	5,6	0,43
	3	7,855	3,98E+06	0,131	34,2	0,051	3,1	36,7	3,39E-04	1,71E-02	1,98E-02	1,31E-01	1,41E-01	7,9	8,4	0,17
	4	10,996	3,98E+06	0,183	67,0	0,051	3,1	69,6	1,22E-03	3,36E-02	3,62E-02	1,83E-01	1,90E-01	11,0	11,4	0,09
	5	14,137	3,98E+06	0,236	110,8	0,051	3,1	113,4	3,23E-03	5,55E-02	5,81E-02	2,36E-01	2,41E-01	14,1	14,5	0,06
20-10-P	1	1,875	1,05E+07	0,031	3,2	0,010	0,6	3,3	1,05E-06	9,77E-04	1,08E-03	3,13E-02	3,29E-02	1,9	2,0	1,89
	2	4,694	1,05E+07	0,078	19,9	0,010	0,6	20,0	3,81E-05	6,12E-03	6,22E-03	7,82E-02	7,89E-02	4,7	4,7	0,31
	3	7,855	1,05E+07	0,131	55,6	0,010	0,6	55,8	2,96E-04	1,71E-02	1,72E-02	1,31E-01	1,31E-01	7,9	7,9	0,11
	4	10,996	1,05E+07	0,183	109,0	0,010	0,6	109,2	1,13E-03	3,36E-02	3,37E-02	1,83E-01	1,84E-01	11,0	11,0	0,06
	5	14,137	1,05E+07	0,236	180,2	0,010	0,6	180,4	3,09E-03	5,55E-02	5,56E-02	2,36E-01	2,36E-01	14,1	14,2	0,03
20-10-T	1	1,875	1,16E+07	0,031	3,3	0,021	1,3	4,0	1,40E-06	9,77E-04	1,44E-03	3,13E-02	3,79E-02	1,9	2,3	1,56
	2	4,694	1,16E+07	0,078	20,9	0,021	1,3	21,6	4,03E-05	6,12E-03	6,58E-03	7,82E-02	8,11E-02	4,7	4,9	0,29
	3	7,855	1,16E+07	0,131	58,4	0,021	1,3	59,2	3,02E-04	1,71E-02	1,76E-02	1,31E-01	1,33E-01	7,9	8,0	0,11
	4	10,996	1,16E+07	0,183	114,5	0,021	1,3	115,3	1,14E-03	3,36E-02	3,40E-02	1,83E-01	1,85E-01	11,0	11,1	0,05
	5	14,137	1,16E+07	0,236	189,3	0,021	1,3	190,0	3,11E-03	5,55E-02	5,60E-02	2,36E-01	2,37E-01	14,1	14,2	0,03

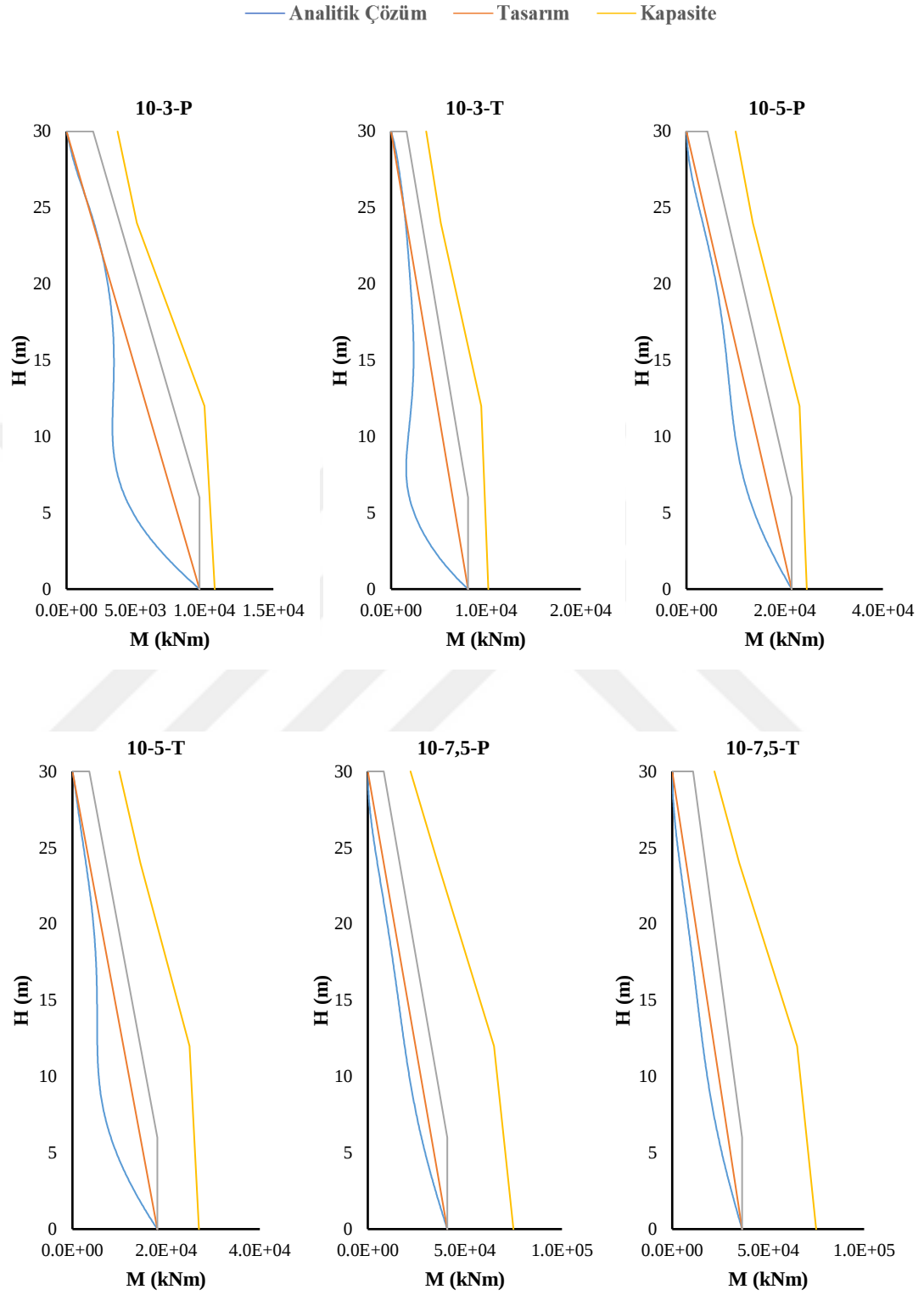
Model	Mod	$\lambda_0 H$	a^2	λ_0	ω_0	α	αH	ω	K^d	λ_1^2	λ_2^2	λ_1	λ_2	$\lambda_1 H$	$\lambda_2 H$	T (sn)
30-6-P	1	1,875	1,93E+06	0,021	0,6	0,026	2,3	1,0	4,78E-07	4,34E-04	1,10E-03	2,08E-02	3,32E-02	1,9	3,0	6,55
	2	4,694	1,93E+06	0,052	3,8	0,026	2,3	4,2	9,21E-06	2,72E-03	3,39E-03	5,22E-02	5,82E-02	4,7	5,2	1,49
	3	7,855	1,93E+06	0,087	10,6	0,026	2,3	11,0	6,31E-05	7,62E-03	8,28E-03	8,73E-02	9,10E-02	7,9	8,2	0,57
	4	10,996	1,93E+06	0,122	20,7	0,026	2,3	21,2	2,33E-04	1,49E-02	1,56E-02	1,22E-01	1,25E-01	11,0	11,2	0,30
	5	14,137	1,93E+06	0,157	34,2	0,026	2,3	34,7	6,25E-04	2,47E-02	2,53E-02	1,57E-01	1,59E-01	14,1	14,3	0,18
30-6-T	1	1,875	2,11E+06	0,021	0,6	0,069	6,2	2,2	2,24E-06	4,34E-04	5,16E-03	2,08E-02	7,18E-02	1,9	6,5	2,89
	2	4,694	2,11E+06	0,052	4,0	0,069	6,2	6,5	2,03E-05	2,72E-03	7,45E-03	5,22E-02	8,63E-02	4,7	7,8	0,96
	3	7,855	2,11E+06	0,087	11,1	0,069	6,2	14,1	9,40E-05	7,62E-03	1,23E-02	8,73E-02	1,11E-01	7,9	10,0	0,45
	4	10,996	2,11E+06	0,122	21,7	0,069	6,2	24,9	2,93E-04	1,49E-02	1,97E-02	1,22E-01	1,40E-01	11,0	12,6	0,25
	5	14,137	2,11E+06	0,157	35,8	0,069	6,2	39,1	7,25E-04	2,47E-02	2,94E-02	1,57E-01	1,71E-01	14,1	15,4	0,16
30-9-P	1	1,875	5,28E+06	0,021	1,0	0,022	2,0	1,5	3,99E-07	4,34E-04	9,20E-04	2,08E-02	3,03E-02	1,9	2,7	4,33
	2	4,694	5,28E+06	0,052	6,3	0,022	2,0	6,8	8,72E-06	2,72E-03	3,21E-03	5,22E-02	5,66E-02	4,7	5,1	0,93
	3	7,855	5,28E+06	0,087	17,5	0,022	2,0	18,1	6,17E-05	7,62E-03	8,10E-03	8,73E-02	9,00E-02	7,9	8,1	0,35
	4	10,996	5,28E+06	0,122	34,3	0,022	2,0	34,9	2,30E-04	1,49E-02	1,54E-02	1,22E-01	1,24E-01	11,0	11,2	0,18
	5	14,137	5,28E+06	0,157	56,7	0,022	2,0	57,3	6,21E-04	2,47E-02	2,52E-02	1,57E-01	1,59E-01	14,1	14,3	0,11

Model	Mod	$\lambda_0 H$	a^2	λ_0	ω_0	α	αH	ω	k^d	λ_1^2	λ_2^2	λ_1	λ_2	$\lambda_1 H$	$\lambda_2 H$	T (sn)
30-9-T	1	1,875	6,21E+06	0,021	1,1	0,038	3,5	2,3	8,28E-07	4,34E-04	1,91E-03	2,08E-02	4,37E-02	1,9	3,9	2,77
	2	4,694	6,21E+06	0,052	6,8	0,038	3,5	8,4	1,14E-05	2,72E-03	4,19E-03	5,22E-02	6,48E-02	4,7	5,8	0,75
	3	7,855	6,21E+06	0,087	19,0	0,038	3,5	20,7	6,93E-05	7,62E-03	9,09E-03	8,73E-02	9,54E-02	7,9	8,6	0,30
	4	10,996	6,21E+06	0,122	37,2	0,038	3,5	39,0	2,45E-04	1,49E-02	1,64E-02	1,22E-01	1,28E-01	11,0	11,5	0,16
	5	14,137	6,21E+06	0,157	61,5	0,038	3,5	63,3	6,45E-04	2,47E-02	2,61E-02	1,57E-01	1,62E-01	14,1	14,6	0,10
30-13-P	1	1,875	2,81E+07	0,021	2,3	0,006	0,6	2,4	2,07E-07	4,34E-04	4,76E-04	2,08E-02	2,18E-02	1,9	2,0	2,61
	2	4,694	2,81E+07	0,052	14,4	0,006	0,6	14,5	7,51E-06	2,72E-03	2,76E-03	5,22E-02	5,26E-02	4,7	4,7	0,43
	3	7,855	2,81E+07	0,087	40,4	0,006	0,6	40,5	5,83E-05	7,62E-03	7,66E-03	8,73E-02	8,75E-02	7,9	7,9	0,16
	4	10,996	2,81E+07	0,122	79,1	0,006	0,6	79,3	2,23E-04	1,49E-02	1,50E-02	1,22E-01	1,22E-01	11,0	11,0	0,08
	5	14,137	2,81E+07	0,157	130,8	0,006	0,6	130,9	6,10E-04	2,47E-02	2,47E-02	1,57E-01	1,57E-01	14,1	14,1	0,05
30-13-T	1	1,875	2,65E+07	0,021	2,2	0,014	1,2	2,7	2,68E-07	4,34E-04	6,17E-04	2,08E-02	2,48E-02	1,9	2,2	2,36
	2	4,694	2,65E+07	0,052	14,0	0,014	1,2	14,5	7,90E-06	2,72E-03	2,90E-03	5,22E-02	5,39E-02	4,7	4,8	0,43
	3	7,855	2,65E+07	0,087	39,2	0,014	1,2	39,7	5,94E-05	7,62E-03	7,80E-03	8,73E-02	8,83E-02	7,9	7,9	0,16
	4	10,996	2,65E+07	0,122	76,8	0,014	1,2	77,3	2,26E-04	1,49E-02	1,51E-02	1,22E-01	1,23E-01	11,0	11,1	0,08
	5	14,137	2,65E+07	0,157	127,0	0,014	1,2	127,4	6,13E-04	2,47E-02	2,49E-02	1,57E-01	1,58E-01	14,1	14,2	0,05

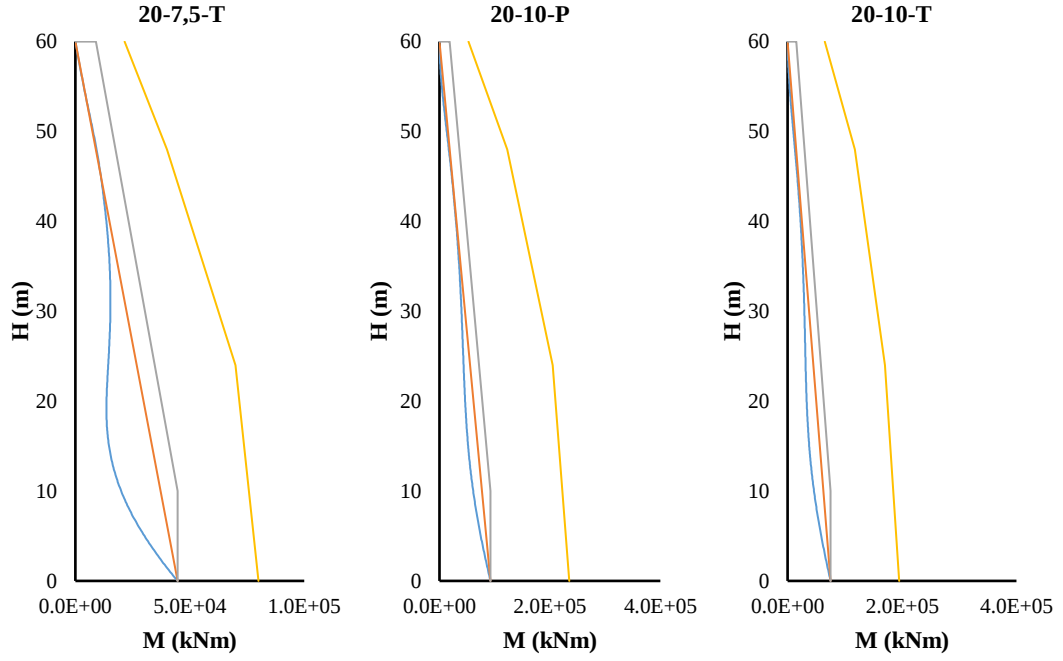
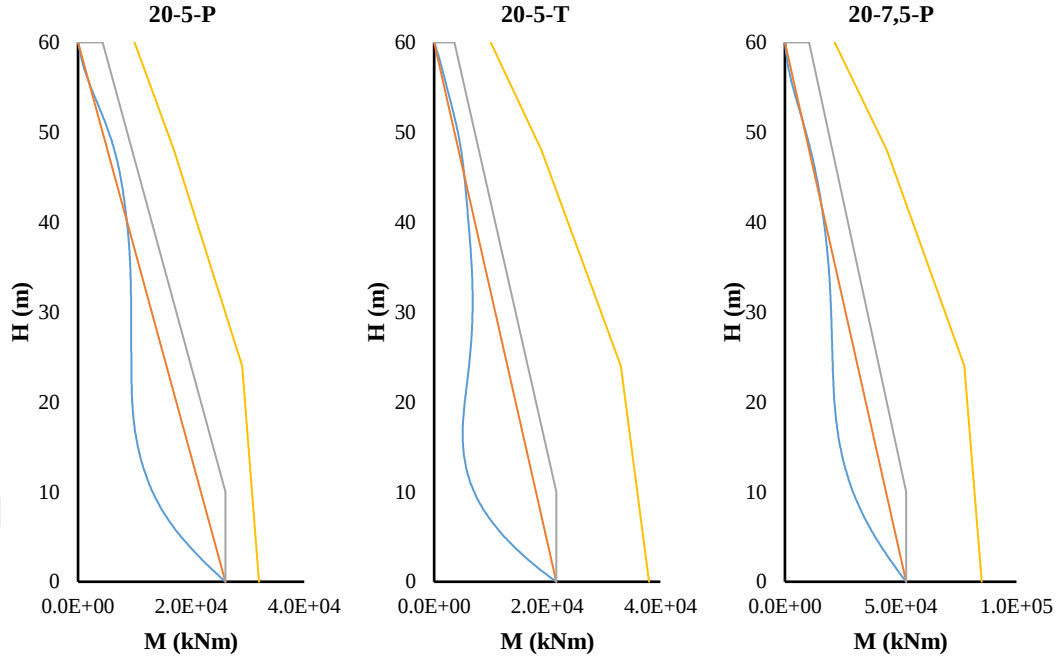
EK 3: Tüm modellere ait tasarım sonucunda elde edilen eleman boyutları

Model	Kat Sayısı	h (m)	Beton Sınıfı	h _r (m)	P _d (kN/m ²)	L (m)	Kat Alanı (m ²)	L _w (m)	L _F (m)	t _w (m)	Perde Alanı (m ²)	Perde Oranı (%)	Kolon Sayısı	Kolon b=h (m)	B _{beam} (m)	I _{beam} (m ⁴)
10-3-P	10	3	C30	0,20	11,74	22,7	515,3	3	1,2	0,3	2,88	0,56	32	0,5	2,15	1,43E-03
10-3-T				0,15	10,00			3	1,2	0,3	2,88	0,56	32	0,5	1,1	1,11E-02
10-5-P				0,20	11,74			5	2	0,3	5,04	0,98	32	0,5	2,1	1,40E-03
10-5-T				0,15	10,00			5	2	0,3	5,04	0,98	32	0,5	1,05	1,09E-02
10-7,5-P				0,25	13,50			7,5	3	0,3	7,74	1,50	12	0,6	2,65	3,45E-03
10-7,5-T				0,20	11,74			7,5	3	0,3	7,74	1,50	12	0,6	1,55	1,06E-02
20-5-P	20	3	C40	0,20	11,74	25,1	630,0	5	2	0,3	5,04	0,80	32	0,6	2,55	1,70E-03
20-5-T				0,15	10,00			5	2	0,3	5,04	0,80	32	0,6	1,1	1,11E-02
20-7,5-P				0,25	13,50			7,5	3	0,3	7,74	1,23	32	0,6	2,3	2,99E-03
20-7,5-T				0,20	11,74			7,5	3	0,3	7,74	1,23	32	0,6	1,1	1,12E-02
20-10-P				0,25	13,50			10	4	0,4	13,76	2,18	16	0,7	2,6	3,39E-03
20-10-T				0,20	11,74			10	4	0,35	12,11	1,92	16	0,6	1,5	1,59E-02
30-6-P	30	3	C50	0,20	11,74	27,6	761,8	6	2,4	0,35	7,07	0,93	32	0,7	2,5	1,67E-03
30-6-T				0,15	10,00			6	2,4	0,3	6,12	0,80	32	0,7	1,2	1,15E-02
30-9-P				0,26	13,80			9	3,6	0,35	10,85	1,42	32	0,8	2,8	4,10E-03
30-9-T				0,25	13,50			9	3,6	0,35	10,85	1,42	32	0,8	1,2	1,16E-02
30-13-P				0,25	13,50			13	5,2	0,5	22,40	2,94	16	0,7	2,9	3,78E-03
30-13-T				0,20	11,74			13	5,2	0,45	20,25	2,66	16	0,7	1,5	1,59E-02

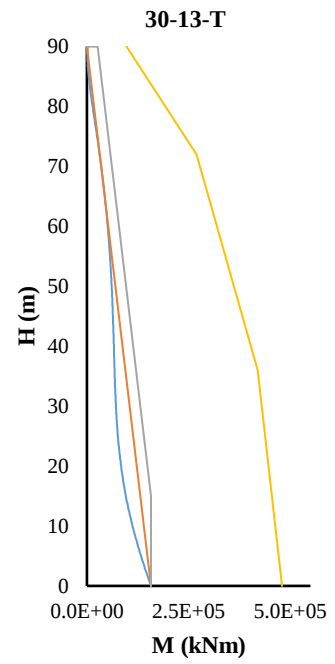
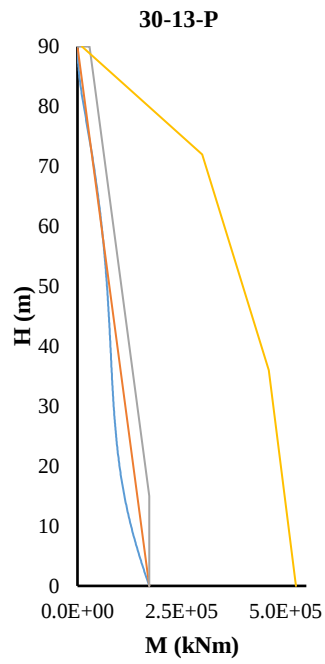
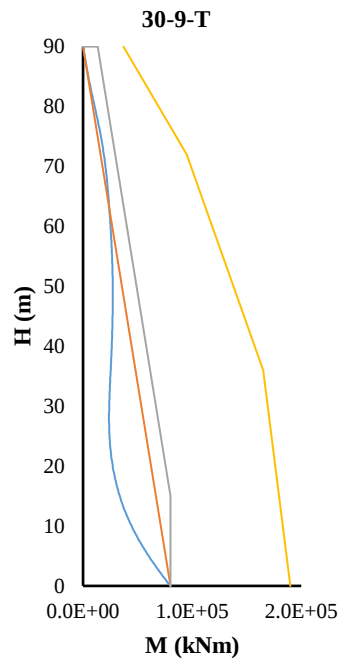
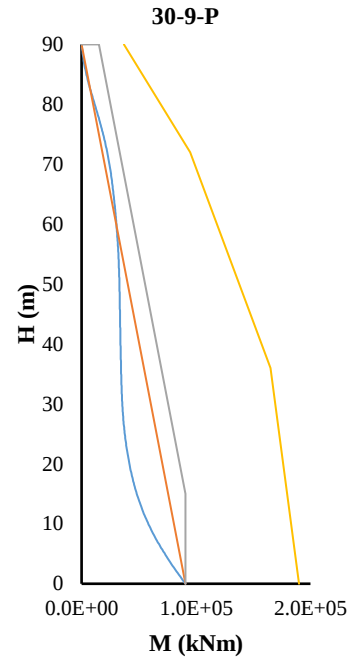
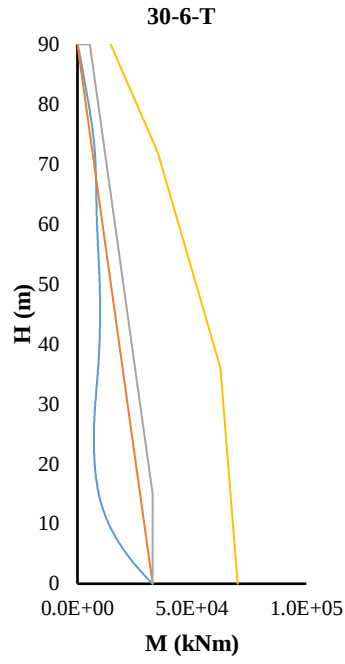
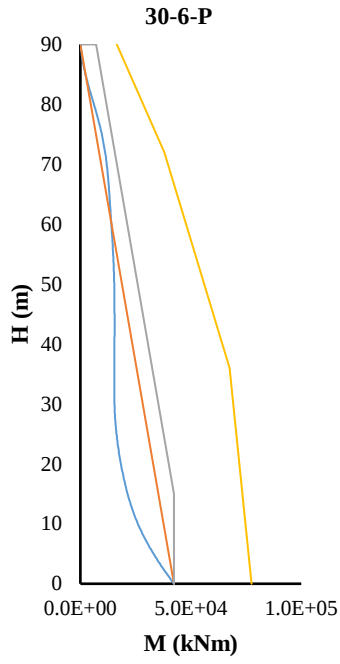
EK 4: Perde elemanlarının moment zarf eğrileri



— Analitik Çözüm — Tasarım — Kapasite



— Analitik Çözüm — Tasarım — Kapasite



EK 5: Eşdeğer model kayma yaylarına ait F_y parametrelerinin hesabı

Model	EI_b (Nm ²)	lw (m)	lb(m)	θ_w	w (kN/m)	M_{fi}^F	M_{fi}^I	$V_{cy}(i_c)$	$V_{cy}(a_s)$	n_{ic}	n_{a_s}	F_y (kN)	GA (kN)	K_y (kN)
10-3-P	1,61E+07	3	5	1,95E-03	29,35	61,1	48,9	78,2	88,0	10	6	1310,3	1,74E+05	5,79E+04
10-3-T	1,24E+08	3	5	9,57E-04	25	52,1	185,5	296,8	190,1	10	6	4108,3	8,87E+05	2,96E+05
10-5-P	1,57E+07	5	4,5	1,35E-03	26,415	44,6	43,9	70,3	70,8	10	6	1127,7	1,67E+05	5,56E+04
10-5-T	1,22E+08	5	4,5	7,67E-04	22,5	38,0	194,0	310,5	185,6	10	6	4218,3	8,77E+05	2,92E+05
10-7,5-P	3,86E+07	7,5	7,75	8,72E-04	48,6	243,3	38,9	62,3	225,8	2	4	1027,6	7,76E+04	2,59E+04
10-7,5-T	1,19E+08	7,5	7,75	7,44E-04	42,264	211,5	101,7	162,8	250,6	2	4	1328,1	2,18E+05	7,28E+04
20-5-P	2,02E+07	5	5,1	1,98E-03	29,937	64,9	70,3	112,4	108,1	10	6	1772,9	2,01E+05	6,69E+04
20-5-T	1,13E+08	5	5,1	9,84E-04	25,5	55,3	195,2	312,3	200,4	10	6	4325,6	9,50E+05	3,17E+05
20-7,5-P	3,56E+07	7,5	4,5	1,36E-03	30,0375	50,7	118,9	190,2	135,6	10	6	2715,5	3,61E+05	1,20E+05
20-7,5-T	1,33E+08	7,5	4,5	8,16E-04	26,1215	44,1	265,9	425,5	248,0	10	6	5742,7	1,13E+06	3,77E+05
20-10-P	4,03E+07	10	7,7	1,05E-03	32,7375	161,8	54,5	87,1	173,0	3	5	1126,3	1,35E+05	4,50E+04
20-10-T	1,89E+08	10	7,7	8,22E-04	28,4695	140,7	200,2	320,3	272,7	3	5	2324,5	5,08E+05	1,69E+05
30-6-P	2,16E+07	6	5,5	2,15E-03	32,285	81,4	78,4	125,5	127,9	10	6	2022,0	2,00E+05	6,65E+04
30-6-T	1,49E+08	6	5,5	9,89E-04	27,5	69,3	247,8	396,5	253,7	10	6	5487,1	1,23E+06	4,11E+05
30-9-P	4,72E+07	9	4,75	1,45E-03	32,775	61,6	168,0	268,8	183,7	10	6	3790,2	4,68E+05	1,56E+05
30-9-T	1,50E+08	9	4,75	9,00E-04	32,0625	60,3	331,9	531,1	313,8	10	6	7193,9	1,41E+06	4,69E+05
30-13-P	4,89E+07	13	7,5	9,68E-04	50,625	237,3	70,9	113,5	246,6	3	5	1573,3	1,49E+05	4,95E+04
30-13-T	2,06E+08	13	7,5	8,36E-04	44,025	206,4	257,4	411,9	371,0	3	5	3090,9	5,70E+05	1,90E+05

EK 6: Tüm modeller için kayma yayı parametreleri

Model	F_y (kN)	K_y (kN/m)
10-3-P	1310	57905,2
10-3-T	4108	295524,1
10-5-P	1128	55645,3
10-5-T	4218	292330,0
10-7,5-P	1028	25871,2
10-7,5-T	1328	72789,8
20-5-P	1773	66877,2
20-5-T	4326	316730,3
20-7,5-P	2716	120195,5
20-7,5-T	5743	377381,7
20-10-P	1126	44994,8
20-10-T	2324	169383,0
30-6-P	2022	66502,9
30-6-T	5487	410791,4
30-9-P	3790	156118,3
30-9-T	7194	468740,2
30-13-P	1573	49521,3
30-13-T	3091	189929,6

EK 7: Tüm modeller için dönme yayı parametreleri

Model	F_y (kN)	K_y (kN/m)
10-3-P	219	112193,5
10-3-T	831	868432,8
10-5-P	259	192238,1
10-5-T	1147	1495722,2
10-7,5-P	213	244610,2
10-7,5-T	559	752145,0
20-5-P	389	196666,1
20-5-T	1082	1100143,8
20-7,5-P	887	650459,9
20-7,5-T	1985	2433367,0
20-10-P	350	333252,3
20-10-T	1288	1567156,3
30-6-P	459	213037,7
30-6-T	1450	1466764,7
30-9-P	1361	941324,7
30-9-T	2690	2990533,8
30-13-P	541	558874,0
30-13-T	1969	2356288,2

EK 8: Tüm modeller için rijit bağlantı elemanlarının parametreleri

Model	EA (kN)	$EI - 2$ (kNm ²)	$EI - 3$ (kNm ²)	GJ (kNm ²)
10-3-P	1,00E+09	1,00E+10	1,00E+09	1,00E+09
10-3-T		1,00E+10		
10-5-P		9,00E+08		
10-5-T		1,00E+09		
10-7,5-P		1,00E+09		
10-7,5-T		1,00E+09		
20-5-P	1,00E+09	1,00E+09	1,00E+09	1,00E+09
20-5-T		1,00E+10		
20-7,5-P		1,00E+10		
20-7,5-T		1,00E+10		
20-10-P		1,00E+09		
20-10-T		1,00E+10		
30-6-P	1,00E+09	1,00E+10	1,00E+09	1,00E+09
30-6-T		1,00E+10		
30-9-P		1,00E+10		
30-9-T		1,00E+11		
30-13-P		9,00E+09		
30-13-T		1,00E+10		

EK 9: Tüm modeller için modal kütle değerleri

Model	Modal Kütle (ton)
10-3-P	352
10-3-T	293
10-5-P	351
10-5-T	294
10-7,5-P	372
10-7,5-T	306
20-5-P	449
20-5-T	353
20-7,5-P	513
20-7,5-T	406
20-10-P	473
20-10-T	382
30-6-P	526
30-6-T	425
30-9-P	678
30-9-T	575
30-13-P	513
30-13-T	503