

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**MEVCUT BİR ÇELİK BİNANIN
ÇELİK LEVHALI PERDELER İLE
GÜÇLENDİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Cemal Noyan ÖZEL

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Mühendisliği Programı

HAZİRAN 2013

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**MEVCUT BİR ÇELİK BİNANIN
ÇELİK LEVHALI PERDELER İLE
GÜÇLENDİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Cemal Noyan ÖZEL
(501101014)**

**İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Yapı Mühendisliği Programı**

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Cavidan YORGUN

HAZİRAN 2013

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501101014 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Cemal Noyan ÖZEL**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**MEVCUT BİR ÇELİK BİNANIN ÇELİK LEVHALI PERDELER İLE GÜÇLENDİRİLMESİ** ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Cavidan YORGUN**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Yar.Doç. Dr. Cüneyt VATANSEVER**
İstanbul Teknik Üniversitesi

 Prof. Dr. Gülay ALTAY
Boğaziçi Üniversitesi

Teslim Tarihi : **3 Mayıs 2013**

Savunma Tarihi : **6 Haziran 2013**

ÖNSÖZ

Yüksek lisans tezi olarak sunulan bu çalışmada, güncel yönetmeliklerin gereksinimlerini karşılayamayan mevcut bir çelik yapının çelik levhalı perde sistemi kullanılarak güçlendirilmesi üzerine çalışmalar yapılmıştır.

Lisans ve yüksek lisans eğitimim sırasında pek çok konuda değerli bilgilerinden ve tecrübelerinden faydalanma şansı bulduğum tez danışmanı hocam sayın Prof. Dr. Cavidan YORGUN'a, bu tez çalışmasının oluşturulmasında büyük yardımları olan hocam sayın Yrd. Doç. Dr. Cüneyt VATANSEVER'e, ayrıca eğitim hayatım süresince sonsuz desteklerini benden esirgemeyen aileme teşekkürlerimi sunarım.

Mayıs 2013

Cemal Noyan ÖZEL
İnşaat Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	v
KISALTMALAR	xi
SİMGELER	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xv
ŞEKİL LİSTESİ.....	xvii
ÖZET.....	xix
SUMMARY	xxi
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	3
2.1 Giriş	3
2.2 Thorburn, Kulak ve Montgomery (1983)	3
2.3 Timler ve Kulak(1983)	4
2.4 Tromposh ve Kulak(1987)	5
2.5 Caccese, Elgaaly ve Chen (1993)	6
2.6 Xue ve Lu (1994)	7
2.7 Driver, Kulak, Kennedy ve Elvi (1997)	7
2.8 Driver, Kulak, Kennedy ve Elvi (1998)	9
2.9 Timler ve diğ. (1998).....	9
2.10 Rezai (1999)	10
2.11 Shiskin, Grondin ve Driver (2005).....	11
2.12 Habashi ve Alinia (2009).....	12
2.13 Choi ve Park (2009)	13
2.14 Qu ve Bruneu (2009).....	15
2.15 Bhowmick, Driver, Grondin (2011)	15
3. ÇELİK LEVHALI PERDELER.....	17
3.1 Genel Bakış	17
3.2 ABD’de Kullanımı	18
3.3 Kanada’da Kullanımı	21
3.4 Sistem Davranışı.....	22
3.5 Analiz Yöntemleri	26
3.5.1 Strip model.....	27
3.5.2 Ortotropik membran yöntemi	28
3.5.3 Nonlineer analiz.....	29
3.6 Yönetmelikler.....	29
3.6.1 Kanada yönetmeliği (CAN/CSA S16).....	29
3.6.2 Amerikan yönetmelikleri (FEMA 450, AISC)	30
4. MODEL BİNA.....	33
4.1 Yükler.....	35
4.1.1 Düşey yükler.....	35
4.1.2 Deprem yükleri	36
4.1.2.2 Bina’nın doğal titreşim periyodu.....	37
4.1.2.3 Toplam yatay deprem yükü hesabı	38

4.1.2.4 Katlara etkiyen eşdeğer deprem yüklerinin belirlenmesi	39
4.1.3 Rüzgar yükleri	40
4.2 Yük Birleşimleri	40
4.3 Sistem Analizleri	41
4.4 Boyutlandırma Hesapları	42
4.4.1 Kolon boyut kontrolü	42
4.4.2 Ana çerçeve kirişi boyut kontrolü	47
5. MODEL BİNANIN DBYBHY 2007'YE GÖRE KONTROLÜ	49
5.1 Yükler	50
5.1.1 Düşey yükler	50
5.1.2 Deprem yükleri	50
5.1.2.1 Düzensizlik kontrolleri	50
5.1.2.2 Binanın doğal titreşim periyodu	51
5.1.2.3 Toplam eşdeğer deprem yükü hesabı	51
5.1.2.4 Katlara etkiyen eşdeğer deprem yüklerinin belirlenmesi	52
5.2 Rüzgar Yükleri	53
5.3 Yük Birleşimleri	53
5.4 Sistem Analizleri	53
5.4.1 Göreli kat ötelenmelerinin kontrolü	53
5.5 Boyutlandırma Hesapları	55
5.5.1 Kolon boyut kontrolü	55
5.5.2 Ana çerçeve kirişi boyut kontrolü	60
6. ÇELİK LEVHALI PERDELİ MODEL BİNA.....	63
6.1 Yükler	64
6.1.1 Düşey yükler	64
6.1.2 Deprem yükleri	65
6.1.2.1 Düzensizlik kontrolleri	65
6.1.2.2 Binanın doğal titreşim periyodu	65
6.1.2.3 Toplam eşdeğer deprem yükü hesabı	66
6.1.2.4 Katlara etkiyen eşdeğer deprem yüklerinin belirlenmesi	67
6.2 Çelik Levha Boyutlandırması	67
6.3 Rüzgar Yükleri	70
6.4 Yük Birleşimleri	70
6.5 Sistem Analizleri	71
6.5.1 Analitik model	71
6.5.2 Göreli kat ötelenmelerinin kontrolü	72
6.5.3 Boyutlandırma hesapları	73
6.5.3.1 Kolon boyut kontrolü	73
6.5.3.2 Ana çerçeve kirişi boyut kontrolü	77
7. KOLONLARI TAKVİYE EDİLMİŞ MODEL.....	79
7.1 Boyutlandırma Hesapları	80
7.1.1 Kolon boyut kontrolü	80
7.1.2 Ana çerçeve kirişi boyut kontrolü	81
8. LEVHALARIN SADECE KİRİŞLERDEN TUTULU OLDUĞU MODEL ..	83
8.1 Boyutlandırma Hesapları	84
8.1.1 Kolon boyut kontrolü	84
8.1.2 Ana çerçeve kirişi boyut kontrolü	87
9. DOĞRUSAL OLMAYAN ANALİZ.....	89
9.1 Sonlu Eleman Modeli (Driver ve diğ. (1997) Modeli'nin Onaylanması)	89
9.1.1 Eleman tipi	89

9.1.2 Malzeme özellikleri	91
9.1.3 Monotonik yükleme ve sonuçlar	91
9.2 Sonlu Eleman Modeli (Model Bina)	92
9.2.1 Eleman tipi	93
9.2.2 Malzeme özellikleri	93
9.2.3 Monotonik yükleme ve sonuçlar	94
10. DEĞERLENDİRME VE KARŞILAŞTIRMALAR	95
10.1 Görelî Kat Ötelenmeleri	95
10.2 Yükleme -Yer Değıştirme Eğrileri	95
10.3 Kolon Talep-Kapasite Oranları	98
10.4 Kat Kesme Oranları	99
11. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	101
KAYNAKLAR	103
EKLER.....	107
ÖZGEÇMİŞ.....	129

KISALTMALAR

ABYBHY	: Afet bölgelerinde yapılacak binalar hakkında yönetmelik
AISC	: American Institute of Steel Construction
CAN/CSA	: Canada Standards Association
DBYBHY	: Deprem bölgelerinde yapılacak binalar hakkında yönetmelik
FEMA	: Federal Emergency Management Agency
NEHRP	: National Earthquake Hazards Reduction Program
TS	: Türk Standartı

SİMGELER

α	:	Çelik levhali perdede oluşan çekme alanını eğim açısı
δ	:	Kolonlar için etkin görelî kat ötelenmesi (DBYBHY 2007)
Δ	:	Azaltılmış görelî kat ötelenmesi (DBYBHY 2007)
θ	:	i katındaki çekme çubuğunun düşeyle yapığı açıdır
Ω	:	Ω ise AISC 341’de verilen güvenlik faktörü
A	:	Çekme bölgesinin kesit alanı
A_0	:	Etkin yer ivme katsayısı (DBYBHY 2007)
A_b	:	Çerçeve elemanlarından giriş kesit alanı
A_c	:	Çerçeve elemanlarından kolon kesit alanı
A_i	:	Kat döşemesinin rüzgar aktaran alanı
A_s	:	Çekme bölgesinin kesit alanı
A_w	:	I profil gövde kesit alanı
b	:	I profil başlık genişliği
C_0	:	Deprem bölge katsayısı (ABYBHY 1975)
C_b	:	Burulmalı burkulma moment katsayısı (AISC-360)
c_f	:	Aerodinamik katsayı
d_{fi}	:	Kat ötelenmeleri
E	:	Elastisite modülü
F	:	Toplam statik eşdeğer kuvvet (ABYBHY 1975)
F_{cr}	:	Kritik gerilme (AISC 360)
F_e	:	Elastik burkulma gerilmesi (AISC-360)
F_i	:	Kat hizalarından etkitilen deprem yükü
F_y	:	Akma dayanımı
g_i	:	Katların toplam sabit yükleri
h	:	İki giriş ekseni arası mesafe (çerçeve)
h	:	Profil yüksekliği (Kesitte)
H	:	Bina yüksekliği
I	:	Bina önem katsayısı
I_x, I_y	:	Kesit atalet momenti
I_c	:	Kolonun levha düzlemine dik doğrultudaki atalet momenti
K	:	Yapı tipi katsayısı (ABYBHY 1975)
$K_{x,y}$	:	Bir doğrultuda eğilmeli burkulma için etkin uzunlu katsayısı
L	:	Çelik levhali perdede yatay açıklık
L_b	:	Basınç başlığı yatay ötelenmeye karşı tutulu olan mesafe
L_{cf}	:	İki kolon arası temiz açıklık
L_p	:	Akmaya karşı yatay ötelenmesi önlenmiş mesafe limiti
L_r	:	İnelastik burulmalı burkulmaya karşı gerekli limit mesafe
m	:	Toplam kat kütleleri
M_d	:	Tasarım eğilme dayanımı
M_n	:	Nominal eğilme dayanımı
M_p	:	Plastik eğilme momenti
n	:	Hareketli yük katsayısı
P_d	:	Tasarım eksenel kuvveti

P_n	:	Nominal eksenel dayanım
q	:	Nominal rüzgar basıncıdır
q_i	:	Katların toplam hareketli yükleri
R	:	Taşıyıcı sistem davranış katsayısı
r_x, r_y	:	Atalet yarıçapı
S	:	Spektrum katsayısı (ABYBHY 1975)
S_x, S_y	:	Mukavemet momenti
t	:	Çelik levha kalınlığı
t_f	:	Başlı kalınlığı (kesitte)
t_w	:	Gövde kalınlığı (kesitte)
t_w	:	Çelik levha kalınlığı
T_1	:	1. Doğal titreşim periyodu
T_0	:	Zemin hakim periyodu (ABYBHY 1975)
V	:	Kesite gelen kesme kuvveti
V_a	:	ASD'ye göre gerekli kesme kuvveti
V_n	:	Nominal kesme dayanımı
V_t	:	Toplam eşdeğer deprem yükü
w_i	:	Toplam kat ağırlıkları
W_i	:	Bir kat döşemesine etkiyen eşdeğer rüzgar kuvveti

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 4.1 : Kat ağırlıkları ve kütleleri.	37
Çizelge 4.2 : Uygulanan fiktif yük ve kat ötelenmeleri.	38
Çizelge 4.3 : Katlara etkiyen eşdeğer deprem yükleri.	39
Çizelge 5.1 : Katlara etkiyen eşdeğer deprem yükleri.	53
Çizelge 5.2 : (y) doğrultusunda görelî kat ötelenmeleri.	54
Çizelge 5.3 : (y) doğrultusunda görelî kat ötelenmeleri.	54
Çizelge 6.1 : Uygulanan fiktif yük ve kat ötelenmeleri.	66
Çizelge 6.2 : Katlara etkiyen eşdeğer deprem kuvvetleri.	67
Çizelge 6.3 : Her bir levha üzerine gelen kat kesme kuvvetleri.	67
Çizelge 6.4 : (x) doğrultusundaki levhaların önboyutlandırılması.	68
Çizelge 6.5 : (x) doğrultusundaki levha boyutlandırması.	69
Çizelge 6.6 : (y) doğrultusundaki levha boyutlandırması.	69
Çizelge 6.7 : (x) doğrultusunda çerçeve kolon atalet momenti kontrolü.	70
Çizelge 6.8 : (y) doğrultusunda çerçeve kolon atalet momenti kontrolü.	70
Çizelge 6.9 : (y) doğrultusunda etkin görelî kat ötelenmeleri.	73
Çizelge 6.10 : (x) doğrultusunda etkin görelî kat ötelenmeleri.	73
Çizelge 10.1 : Model bina iç akslardaki bazı kolonlara ait talep/kapasite oranları. ..	97
Çizelge 10.2 : Çelik levhaların eklendiği akstaki kolonlara ait talep/kapasite oranları	97
Çizelge 10.3 : Levhalar tarafından karşılanan kat kesme kuvvetleri oranı.	99
Çizelge A.1 : Modelin ABYBHY1975'e göre C16 Kolonu iç kuvvetleri.	108
Çizelge A.2 : Modelin DBYBHY2007'ye göre C16 Kolonu iç kuvvetleri.	112
Çizelge A.3 : Çelik levhalar eklenmiş modelde C22 Kolonunun iç kuvvetleri.	115
Çizelge A.4 : Kolonları takviye edilmiş model	119
Çizelge A.5 : Sadece kirişlerden tutulu model C22 Kolonu iç kuvvetleri	123

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Timler ve Kulak (1983) yükleme deneyi.	5
Şekil 2.2 : Tromposh ve Kulak (1987) yük-deplasman eğrisi.	6
Şekil 2.3 : Driver ve diğ. (1997) sistem geometrisi.	8
Şekil 2.4 : Driver ve diğ. (1998) yük-deplasman eğrisi.	9
Şekil 2.5 : Shiskin ve diğ. (2005) analitik model boyutları.	11
Şekil 2.6 : Habashi ve Alinia (2009) sonlu eleman modeli.	12
Şekil 2.7 : Choi ve Park (2009) deneye ait görüntüler.	14
Şekil 2.8 : Choi ve Park (2009) farklı çelik levhalı perde tasarımları.	14
Şekil 2.9 : Bhowmick ve diğ. (2011) sonlu eleman modeli ve kat planı.	16
Şekil 3.1 : Çelik levhalı perdenin genel görünüşü ve elemanları.	17
Şekil 3.2 : ABD Federal Mahkemesi, Seattle (Bruneu ve Sabelli, 2005).	19
Şekil 3.3 : Az katlı konut uygulamaları, San Francisco ABD.	20
Şekil 3.4 : ABD Federal Mahkemesi yapı sistemi, Seattle (Bruneu ve Sabelli 2005).	20
Şekil 3.5 : ING Bank Binası inşası sırasında çelik levhalı perde uygulaması (Quebec, Kanada).	21
Şekil 3.6 : ING Bank levha birleşim detayları (Quebec, Kanada).	22
Şekil 3.7 : Çelik levhalı perdenin şematik şekil değiştirmesi.	23
Şekil 3.8 : Çelik levhalı perdeye ait serbest cisim diyagramı (Bruneu ve Sabelli, 2005).	24
Şekil 3.9 : Çelik levhalı perdenin göçme mekanizması.	25
Şekil 3.10 : Strip model.	27
Şekil 3.11 : Ortotropik membran model.	28
Şekil 4.1 : Model Binanın 3 boyutlu genel görünüşü.	33
Şekil 4.2 : Tipik kat planı.	34
Şekil 4.3 : Bina'nın (x) doğrultusundaki kesiti.	36
Şekil 5.1 : Model binanın (y) doğrultusundaki görünüşü.	49
Şekil 6.1 : Plakalar eklenmiş binanın genel görünüşü.	63
Şekil 6.2 : Çelik levhaların planda yerleşimi.	64
Şekil 6.3 : (x) doğrultusunda levhalar eklenmiş modelin görünüşü.	71
Şekil 6.4 : Çelik levha tanımında kullanılan katsayılar.	72
Şekil 7.1 : Takviye edilmiş HEB500 kesit görünüşü.	79
Şekil 8.1 : Kolonlardan kısmi tutulu çelik levhalı perde şematik görünüşü (Choi ve Park, 2009).	83
Şekil 8.2 : Eğim açısını veren diyagram (Choi ve Park, 2009).	84
Şekil 9.1 : Driver ve diğ. (1997) a) deney modeli b) detaylı strip modeli.	90

Şekil 9.2 : Driver ve diğ. (1997) deney sonuçları ile analitik model karşılaştırmaları.	91
Şekil 9.3 : Driver ve diğ. (1997) modeli ile oluşturulan modelin karşılaştırılması. ..	92
Şekil 9.4 : Oluşturulan üç çerçevenin yatay yük-deplasman karşılaştırılması.	94
Şekil 10.1 : Göreli Kat Ötelenmelerinin karşılaştırılması.....	95
Şekil 10.2 : Model binalara ait taban kesme kuvveti-yer değiştirme eğrileri.	96

MEVCUT BİR ÇELİK BİNANIN ÇELİK LEVHALI PERDELERLE GÜÇLENDİRİLMESİ

ÖZET

Bu tez çalışmasında; çelik levhalı perde sisteminin; uygulandığı çelik karkas bir binanın yatay yüklerini karşılanmasındaki katkısını incelemenin yanı sıra, yapı mühendislerine orta yükseklikteki mevcut bir çelik binanın güçlendirilmesinde alternatif bir çözüm olabileceğinin gösterilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçlarla ABYBHY 1975'e göre tasarlanmış beş katlı çelik karkas bir model yapı DBYBHY 2007'ye göre kontrol edilmiş, alt katlarda bazı kolon kesitlerin yetersiz olması ve yönetmeliklerce tanımlanmış göreceli kat ötelenmelerinin sınır değerlerini aşması üzerine her iki doğrultuda belirli akslara çelik levhalar eklenerek güçlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar üzerine bu sistemin binaya getirdiği olumlu yönler ile oluşan olumsuz etkilerin bir değerlendirmesi yapılmıştır.

Öncelikle çelik levhalı perde sisteminin tarihsel gelişimi, daha önce yapılmış olan deneysel ve analitik çalışmalar, bu sistemin kullanım alanları ve yönetmeliklerdeki yerleri hakkında bir literatür araştırması yapılmış ve modelleme yöntemleri hakkında özet bilgiler verilmiştir.

Model bina ETABS programı yardımıyla 3 boyutlu olarak modellenmiş ve öncelikle ABYBHY 1975'e göre belirlenen yükler altında, daha sonrasında ise aynı binanın DBYBHY 2007'ye göre belirlenen yükler altında kesit kontrolleri yapılmıştır.

Güçlendirme gereksinimi ortaya çıktığında model binaya her iki doğrultuda bina yüksekliği boyunca, ikişer dış aksa simetrik olacak şekilde çelik levhalar eklenmeye karar verilmiştir. Çelik levha boyutlandırılmasında AISC Steel Design Guide 20'den (Bruneu ve Sabelli, 2005) yararlanılmıştır. Levhalar 3 boyutlu modele ortotropik membran elemanlar olarak tanımlanmış ve kesit kontrolleri yapılmıştır.

Kat ötelenmeleri sınırlandırılmasına karşın çelik levha eklenen kolonlarda eksenel yük artışı gözlenmiştir. Ortaya çıkan bu problemi çözmek amacıyla iki alternatif çözüm yolu ortaya konmuştur. Buna göre ilk modelde; çelik levha eklenen kolonların eksenel yük kapasitelerini artırmak amacıyla kolon başlıklarına 22 mm kalınlığında levhalar eklenerek kesit kontrolleri yapılmıştır. Yapılan kontrol sonunda kesitlerin yeterli olduğu görülmüştür. İkinci modelde ise, kolonlar üzerine gelen eksenel yükü azaltmak amacıyla çelik levhaların sadece kirişler üzerinden bağlantılı bir model oluşturulmuş ve kesit kontrolleri yapılmıştır. Yapılan kontrollerde kesit üzerindeki eksenel etkiler azalmasına karşın eğilme etkilerinde artış kesitlerin yine yetersiz kalmasına sebep olmuştur.

3 boyutlu model üzerindeki bu çalışmanın yanı sıra, model binaya ait bir çerçeve ABAQUS programıyla modellenerek doğrusal olmayan analiz yapılmıştır. Bu analizde amaçlanan çelik levha kullanımının bina performansına etkisinin gözlenmesidir. Model binanın ilk hali, çelik levhaların eklendiği kolonları takviye edilmiş model ve levhaların sadece kirişlerden tutulu olduğu model oluşturularak taban kesme kuvveti ile çerçevenin deplasmanının bir karşılaştırması yapılmıştır. Bu

analizde elik levhalar iki ucu mafsallı belirli sayıda çekme çubuğu ile tanımlanmıştır.

Sonuç olarak yapılan bu çalışma sonucunda, elik levhalı perde sistemi, gerekli önlemler alındığında, yeterli dayanım ve rijitliği sağladığı belirlenmiştir. elik levhalı perde sisteminin mevcut elik binaların güçlendirilmesinde bir alternatif olabileceği görölmüştür.

USE OF STEEL PLATE SHEAR WALLS FOR SEISMIC RETROFIT OF A STEEL BUILDING

SUMMARY

Steel plate shear walls (SPSWs) are recently becoming an appealing alternative lateral load resisting system that consists of infill steel plates, referred to as ‘web plates’, columns, denoted vertical boundary elements (VBEs) and beams, denoted horizontal boundary elements (HBEs). This system has been used effectively in number of buildings for last two decades in US, Canada and Japan. Building types have ranged from single family residential to high rise construction. In addition to new building designs, SPSWs have been used for retrofitting of existing buildings that needs to have additional stiffness in seismic zones. There have been many parametric and experimental studies on this subject in last decades. In this thesis, some of these studies are summarized as a litterateur survey.

This system has many advantages over other systems in terms of cost, performance and ease of design. Smaller infill plate thicknesses reduces forces on adjacent members, provides equivalent strength and stiffness, require less or same plan area; relatively other braces. This makes the SPSW systems a potential seismic retrofit alternative for steel buildings having inadequate lateral stiffness.

The main objective of this thesis is both to investigate the contribution of the steel plate shear walls as a lateral load carrying system and to provide the structural engineers with an alternative lateral force resisting system for seismic retrofit of existing steel buildings. For this purpose, a model building was initially designed per Turkish Earthquake Code 1975 (TEC-75) and then analyzed using the provisions of recent Turkish Earthquake Code TEC-07.

Analysis results showed that some columns in lower stories and inter-story drifts were unsatisfactory. Therefore, the building was retrofitted utilizing the SPSWs created by adding web plates to the perimeter frames.

Model building was designed for modified version of the example building which was included in TEC-07 Structural and Seismic Design Manual-Code Application Examples (Aydinoğlu et al., 2009). Dead and live loads, plan dimensions and story masses were consistent with that building. It is a five story steel building having moment resisting frames in each orthogonal direction. It has a plan dimension of 30m in the X-direction and 24m in Y-direction.

The model building was initially designed per TEC-75 using equivalent seismic load method. In order to calculate total equivalent base shear, the fundamental periods of the building need to be obtained. For this, 3D analytical model was developed using ETABS and modal analysis was performed to determine these periods. Total equivalent base shears were calculated using these data. All structural elements were proportioned in such a way that all requirements in AISC 360-10 were satisfied.

The same building was analyzed again under the seismic provisions of TEC-07. The building was assumed that it is satisfactory for providing the requirements of nominal ductility level as specified in TEC-07 rather than those of high ductility level. Therefore, structural behavior factor, denoted R , was taken as 5 in both orthogonal directions. This was done so since value of R is equal to 5 for the nominal ductile buildings in which seismic loads are fully resisted by moment resisting frames. Total base shear from TEC-07 was found to be approximately 64% larger than that from TEC-75.

Analysis results showed that some of the columns in bottom stories are not satisfactory and it was also found that inter-story drift ratios, defined as the ratio of the maximum effective inter-story drift to story height, exceed the limits in both directions at the second stories. In TEC-07 inter-story drift, whose control is important to both serviceability and stability of structure, are limited with 2% of story height. This value was exceeded by about 1.8% and 6.2% at the second story in X-direction and Y-direction, respectively. Therefore, this structure needs to be retrofitted in both directions to increase the lateral stiffness and the strength of inadequate columns.

The use of SPSWs without stiffeners was selected to rehabilitate the building. The main idea of using the SPSWs without stiffeners is to utilize the diagonal tension field action developed in web plate after buckling of web plate. It is assumed that SPSWs do not carry any gravity loads and experience only shear deformations. When the lateral loads applied to the wall generates principal compressive stresses that exceed the compressive strength to the plate, the plate buckles, generating fold lines in the perpendicular to these compressive stresses.

SPSWs were created adding web plates into the frames on the perimeter in X and Y-direction along the full height of the building. With use of SPSWs, it is expected that inter-story drifts' demands would be reduced, but the strength demands of VBEs were increased due to increase in the axial forces which are vertical component of tension forces that result from tension field action. AISC Steel Design Guide 20 was used to design the web plates.

3D analytical model was developed using ETABS. Web plates are represented by orthotropic membrane elements in a mesh between boundary members. The membrane elements are configured to represent the thickness of web plates by rotating their local axes to calculated inclination angles of the tension field reducing their compression stiffness to zero. This method of modeling was selected due to being easily implemented with currently available analysis software.

The web plate thicknesses are found to be satisfactory for both inter-story drift and strength requirements. The portion of each story shear resisted by the web plates determined, web plates resist lateral seismic loads considerably in most of stories.

Analysis results show that adding web plates to form SPSWs significantly reduced the story drifts, but required the VBEs to be strengthened because of the increase especially in axial compressive forces. To solve this problem, two different models were developed. Firstly, to resist the additional axial forces, cross sectional areas of VBEs need to be increased. For this, 22 mm thick cover plates are welded to each flange of the VBEs along the building height. And analysis results showed that model was satisfactory. Secondly, a model was developed to reduce the axial forces on vertical boundary elements. The web plates were connected only horizontal

elements. Analysis result showed that axial forces on VBEs were reduced but flexural forces were increased and demand-capacity ratios exceeded the limitations.

Beside the 3D analytical model, a frame of model building on X-direction, same frame with web plates, strengthened columns and same frame with web plates connected only VBEs were modeled using ABAQUS to conduct a nonlinear analysis. Analysis results showed that, use of SPSWs make a big contribution to resisting the lateral forces.

The use of SPSWs provides additional lateral stiffness, resulting in limited story drifts. However, the axial compressive forces in the VBEs significantly increased and this required the VBEs to be strengthened against higher axial compression. Also web plates absorbed story shears considerably and reduce the shear forces on adjacent members.

Finally, analysis results showed that SPSWs should be used to have adequate lateral stiffness and strength to resist the lateral forces induced by earthquakes and therefore this system can be an alternative for rehabilitating the existing steel buildings. Additionally, it is strongly recommended that nonlinear time history response analysis be conducted for more accurate seismic performance assessment of retrofitted building.

1. GİRİŞ

Günümüz yapı mühendisliğinde yatay yüklerin, özellikle deprem yüklerinin karşılanmasında farklı yatay yük taşıyıcı sistemler kullanılmaktadır. Çelik levhali perde sistemi de son yıllarda pek çok ülkede üzerinde çalışılan, yönetmeliklerde yer vermeye başlanan ve uygulamaları yapılan yenilikçi bir yatay yük taşıma yöntemidir. Bu sistem az katlı konutlardan çok katlı yapılara uzanan geniş bir yelpazede uygulanmakta, sadece yeni bina tasarımında değil, ayrıca mevcut binaların güçlendirilmelerinde de kullanılmaktadır.

Yatay taşıyıcı sistemi çelik çerçevelerden oluşan, daha eski yönetmeliklere göre tasarımları yapılmış olan binaların, hesap yöntemlerindeki gelişmelere ve bilgi düzeylerindeki artışa paralel olarak tekrar gözden geçirilmesi gerekebilmektedir. Bu tür binaların yeni yönetmeliklerin gereksinimlerini karşılamadığı taktirde de güçlendirilme ihtiyacı ortaya çıkmaktadır.

Bu tez çalışmasında amaçlanan; çelik levhali perde sisteminin; çelik karkas bir binanın yatay yüklerini karşılanmasındaki katkısını incelemenin yanı sıra, yapı mühendislerine orta yükseklikteki bir çelik binanın güçlendirilmesinde alternatif bir çözüm olabileceğinin gösterilmesidir. Bu amaçlarla ABYBHY 1975'e göre tasarlanmış beş katlı çelik karkas bir yapı DBYBHY 2007'ye göre kontrol edilmiş, alt katlarda bazı kesitlerin yetersiz olması ve kat ötelenmelerinin sınır değerlerini aşması üzerine her iki doğrultuda belirli akslara çelik levhalar eklenerek güçlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar üzerine bu sistemin binaya getirdiği artılar ile oluşan negatif etkilerin bir değerlendirmesi yapılmıştır.

Çalışmanın içeriğini oluşturan ana bölümler şu şekilde özetlenebilir:

Birinci bölümde; çalışmanın amacı, kapsamı ve içeriği hakkında genel bilgiler verilmiştir.

İkinci bölümde; çelik levhali perdelerin tarihsel gelişimi ve bu konu üzerinde yapılmış olan önemli çalışmalar hakkında bilgiler verilmiş ve bir literatür araştırması yapılmıştır.

Üçüncü bölümde; çelik levhalı perde kavramı üzerinde durulmuş, genel bilgilerin yanı sıra çeşitli bina uygulama örnekleri, sistemin davranışı, tasarım metotları ve yurtdışındaki yönetmeliklerdeki yeri hakkında bilgiler verilmiştir.

Dördüncü bölümde; kullanılan model binaya ait bilgilerin yanı sıra binaya etkiyen düşey yükler, rüzgar yükleri ile ABYBHY 1975'e göre deprem yüklerinin hesabı, yük birleşimleri ve sonrasında kesitlerin AISC 360-10'a göre kontrolleri yapılmıştır.

Beşinci bölümde; aynı binanın DBYBHY 2007'ye göre belirlenen deprem yüklerine göre yapılan analizi ve kesitlerin kontrolleri yapılmıştır yönetmelik gereksinimlerini sağlamayan noktalar belirlenmiştir.

Altıncı bölümde; çelik levhalar eklenen binanın değişen davranışına göre deprem yüklerini tekrar hesaplanması, çelik levhaların bu yükler karşısında boyutlandırılması, sistem analizlerinin ardından da kesit kontrolleri yapılmıştır.

Yedinci bölümde; kolonları takviye edilmiş çelik levhalı perde sistemi kullanılan bina modeli oluşturulmuş ve kesit kontrolleri yapılmıştır.

Sekizinci bölümde; alternatif bir model olan çelik levhaların sadece kirişlere bağlı olduğu durum için model analizleri ve kesit kontrolleri yapılmıştır.

Dokuzuncu bölümde; strip model ile oluşturulmuş sonlu eleman modelinin doğrusal olmayan analizi ve bu modelleme yönteminin doğrulanması yapılmıştır. Farklı modellere ait yatay yük-deplasman eğrisi elde edilmiştir.

Onuncu bölümde; oluşturulmuş olan farklı modellerden elde edilen, görelî kat ötelenmeleri, kat kesme kuvveti paylaşımı, kolon talep-kapasite oranları ile yatay yük- yer değiştirme eğrilerine ait sonuçların karşılaştırmaları ve değerlendirmesi yapılmıştır.

On birinci bölümde ise çalışmaya ilişkin genel bir değerlendirme ve gelecek çalışmalarla ilgili öneriler yapılmıştır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1 Giriş

Yatay yük taşıyıcı sistem olarak kullanılan çelik levhalı perdeler, son yıllarda özellikle Kuzey Amerika, Kanada ve Japonya başta olmak üzere pek çok ülkede uygulanmaktadır. 1970'lerden itibaren bu sistem deneysel ve analitik olarak incelenip geliştirilmektedir. Önceleri, şu an kullanılan daha farklı tasarımlar kullanılmakta, çelik levhalar berkitme plakalarıyla rijitleştirilmekte veya daha büyük levha kalınlıkları kullanılarak burkulmanın önlenmesi amaçlanmaktaydı. Böylece çelik levhaların burkulma sonrasındaki davranışı göz önüne alınmayarak bu performansından faydalanılmamaktaydı. Bugün kullanılan mekanizma ilk olarak Wagner (1931) tarafından havacılık alanında yapılan çalışmalarla ortaya konmuştur. Bu çalışmalarda çerçeve elemanları arasında kullanılan alüminyum plakaların yatay yük altında diyagonal çekme alanları oluşturduğunu gözlenmiştir.

1960'ların başında Basler (1961); çelik yapılarda kullanılması amacıyla, diyagonal çekme alanının kesme kuvveti kapasitesini öngörecektir bir model ortaya koymuş ve bu çalışma bugün kullanılmakta olan pek çok yönetmeliğin (CAN/AISC) içeriğine katkı sağlamıştır. Daha sonrasında ise günümüzde yapılan pek çok araştırmaya temel olacak çalışmalar Kanada Alberta Üniversitesi'nde yapılmıştır. Çelik levhalı perdelerin servis yükleri altında burkulma sonrası dayanım karakteristiklerinin belirlenmesi amacıyla Thornburn ve diğ. (1983) analitik bir model oluşturmuş ve bu modelin deneysel olarak doğruluğunu Timler ve Kulak (1983) ortaya koymuştur. Bu çalışmalardaki bilgiler kullanılarak çelik levhalı perdelerle ilgili günümüze kadar pek çok deneysel ve analitik çalışma yapılmış, bu sistemin gelişimi sağlanmıştır. Bu bölümde, çelik levhalı perdelerle ilgili yapılmış başlıca çalışmalar hakkında bilgiler verilecektir.

2.2 Thorburn, Kulak ve Montgomery (1983)

Bu çalışmadan önce çelik levhalar kullanılarak oluşturulmuş başarılı yatay taşıyıcı sisteme sahip pek çok bina inşa edilmesine rağmen bu teknikle ilgili uygun analitik

modeller oluşturulup uygulamaları yapılmamıştı. Daha önceleri berkitme plakalarıyla güçlendirilen çelik levhali perdeler kullanılmakta ve bu sistemin burkulma sonrasındaki davranışı göz ardı edilmekteydi. Bu çalışmayla birlikte burkulma sonrası davranışın plakaların kesme dayanımına katkısını göz önüne alan bir analitik teori oluşturulmaya çalışılmıştır.

Oluşturulan analitik modelde yatay yük etkisiyle burkulan plakanın taşıma kapasitesine ulaşmadığı ve burkulma sonrası levha üzerinde oluşan çekme alanlarının davranışının etkin olduğunu öngörülmüştür. Levha üzerindeki bu davranış, belirli bir sayıdaki iki ucu mafsallı çekme elemanı ile eğim açısı da göz önüne alınarak tanımlanmıştır. Bu analitik model kullanılarak, çelik plakalı perdeye ait dayanım ve rijitlik karakteristiklerini etkileyen çeşitli faktörler belirlenmiştir. Buna göre plaka dayanımının; perde açıklığı, yüksekliği ve et kalınlığıyla birlikte kolon boyutlarına da bağlı değiştiği bulunmuştur. Ayrıca çekme bölgesinin eğim açısı α 'yı veren ifade ortaya konmuştur (2.1).

$$\tan \alpha = \sqrt[4]{\frac{1 + \frac{Lt}{2A_c}}{1 + \frac{ht}{A_b}}} \quad (2.1)$$

Burada; t plaka kalınlığı, L açıklığın boyu, h açıklığın yüksekliği A_c kolon kesit alanı A_b kiriş kesit alanı olarak belirlenmiştir.

Çalışmanın sonunda oluşturulan bu modelin ve analitik çalışmaların deneysel olarak da karşılaştırılması ve gerekli geliştirmelerin yapılması gerektiği vurgulanmıştır.

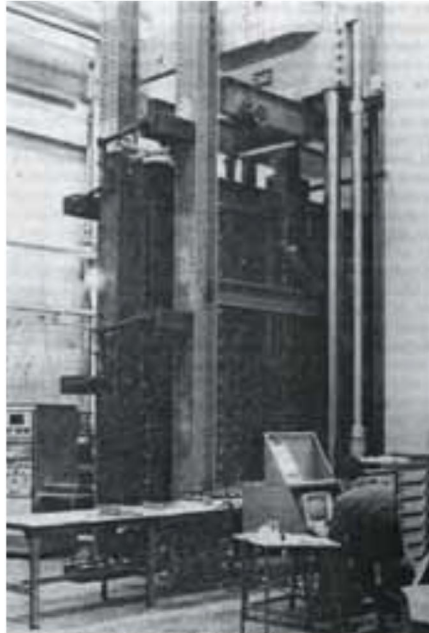
2.3 Timler ve Kulak(1983)

Bu çalışma Thornburn, ve diğ.(1983) tarafından oluşturulan analitik modelin deneysel olarak doğrulanması amacıyla yapılmıştır. Büyük ölçekli, tek katlı deney düzeneği tekrarlı yükleme altında kullanma sınırına ve göçme değerine ulaşınca kadar yüklemelere tabi tutulmuştur. Yapısal elemanlar gerçekçi boyutlarda seçilmiş ve standart atölye koşullarında üretilmiştir. Çeşitli elemanlarda ve yük-deplasman davranışlarında; deney öncesi beklenen değerler ve deney sonunda alınan neticelerin oldukça uyumlu olduğu gözlenmiştir. Ancak Thornburn ve diğ, (1983) tarafından

oluşturulan eğim açısı α 'yı veren ifade biraz daha geliştirilmiştir. Buna göre yeni ifade düzenlenmiştir (2.2).

$$\tan \alpha = \sqrt[4]{\frac{1 + \frac{tL}{2A_c}}{1 + th \left(\frac{1}{A_b} + \frac{h^3}{360I_c L} \right)}} \quad (2.2)$$

Burada; I_c kolonun levha düzlemine dik doğrultudaki atalet momenti, diğer ifadeler de Denklem (2.1)'e uygun olarak tanımlanmıştır. Kanada çelik yapılar yönetmeliği (CAN/CSI S-16), bu denklemi eğim açısının bulunmasında kullanmaktadır.



Şekil 2.1 : Timler ve Kulak (1983) yükleme deneyi.

Test sonuçları yatay yükleme sırasında oluşan kat ötelenmesi sınırının içindeki şekil değiştirmelerim, yük kaldırıldığında tamamen kaybolduğunu göstermiştir. Ayrıca birleşim detaylarının performansı ile ilgili gerekli bilgiler elde edilmiştir.

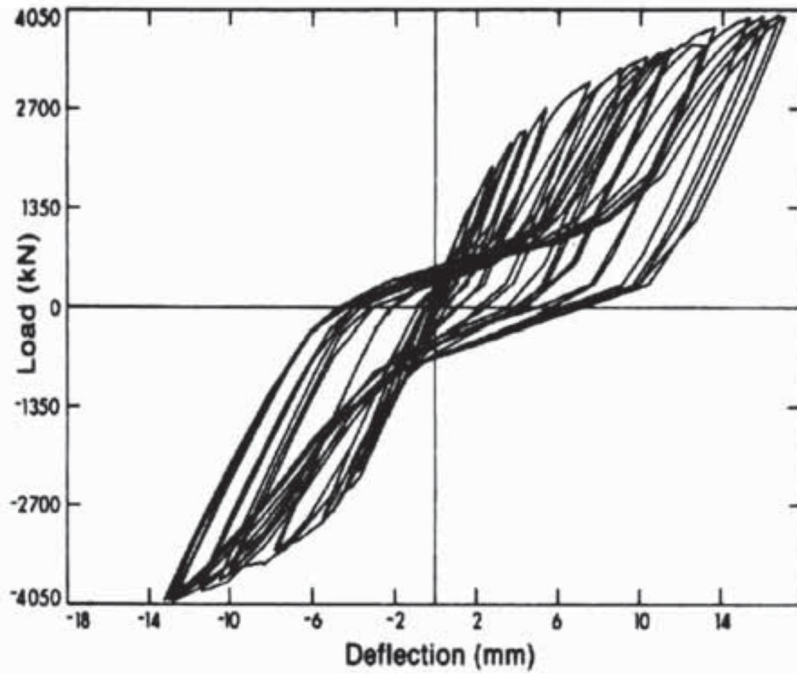
2.4 Tromposh ve Kulak(1987)

Bu çalışmada tam ölçekli bir çelik levhali perde üzerinde yapılan test sonuçlarının değerlendirilmesi yapılmıştır. Çalışmanın amaçları arasında çelik plakalı perdelerin tekrarlı yükleme karşısındaki davranışının incelenmesi, öngörülen çekme

elemanlarından oluşmuş analitik modelin değerlendirilmesi, kolonlara uygulanan eksenel yüklemenin burkulma öncesi ve sonrasında modelin davranışına etkisinin gözlenmesi bulunmaktadır.

Bu amaçlarla 2 katlı bir deney düzeneği oluşturulmuştur. Monotonik tersinir yükleme yapılmıştır. Test sırasında düzeneğin orta noktasından yatay ötelenmeler, plakalar ve çerçeve elemanlarında da gerilme değerleri ölçülmüştür.

Sonuç olarak kullanılan çubuk model davranışı ile deneyden alınan sonuçların uyumlu olduğu belirtilmektedir. Ayrıca sonuçlar kullanılarak daha önce kullanılan denklem geliştirilmiştir. Şekil 2.2’de bu çalışma sonucunda alınan tersinir yük-deplasman eğrisi görülmektedir.



Şekil 2.2 : Tromposh ve Kulak (1987) yük-deplasman eğrisi.

2.5 Caccese, Elgaaly ve Chen (1993)

Yapılan bu deneysel çalışmada, çelik plakaların boyutlarını değişimi ile kolon-kiriş bağlantılarının perde üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Bu amaçla üç katlı, beş adet model, plaka boyutları ve birleşim detayları değiştirilerek test edilmiştir. Deney düzeneğine en üst kattan yatay kuvvet uygulanmış ve düşey yükler göz önüne alınmamıştır.

Test sonuçları, göçme modunun kullanılan çelik plaka kalınlığına bağlı olarak değiştiğini göstermektedir. Narin çelik plaka kullanılan modellerde, hiçbir çerçeve elemanında göçme görülmezken, çelik plakanın burkulup aktığı gözlenmiştir. Ancak plaka kalınlığı artırıldığında ise göçme modunu belirleyen etken kolon stabilitesindeki bozulma olarak gözlenmiş ve plaka kalınlığındaki artışın sistemin dayanımına bir etkisinin olmadığı belirlenmiştir. Bu sebeplerle narin plakaların kullanıldığı sistemlerin daha stabil sonuçlar verebileceği söylenmiştir. Ayrıca kolon-kiriş birleşimindeki değişikliklerin sonuçlar üzerinde belirgin bir değişiklik yapmadığı belirlenmiştir.

2.6 Xue ve Lu (1994)

Yapılan bu araştırmada; 12 katlı ve 3 açıklıklı moment aktaran birleşimlere sahip ve orta gözde çelik plakalı perdelerin bulunduğu bir yapının analitik modeli üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Araştırmada amaçlanan, kolon kiriş birleşimleri veya çelik plaka birleşimlerinin perdenin davranışına olan etkilerinin gözlenmesidir.

Bu amaçlarla; moment aktaran birleşimli ve tamamen kaynaklı-sadece kirişe kaynaklı, basit birleşimli ve tamamen kaynaklı-sadece kirişe kaynaklı olmak üzere dört ayrı model oluşturulmuştur. Oluşturulan sonlu eleman modelinde plakaların başlangıç kusurları da göz önüne alınmış ve itme analizi uygulanmıştır.

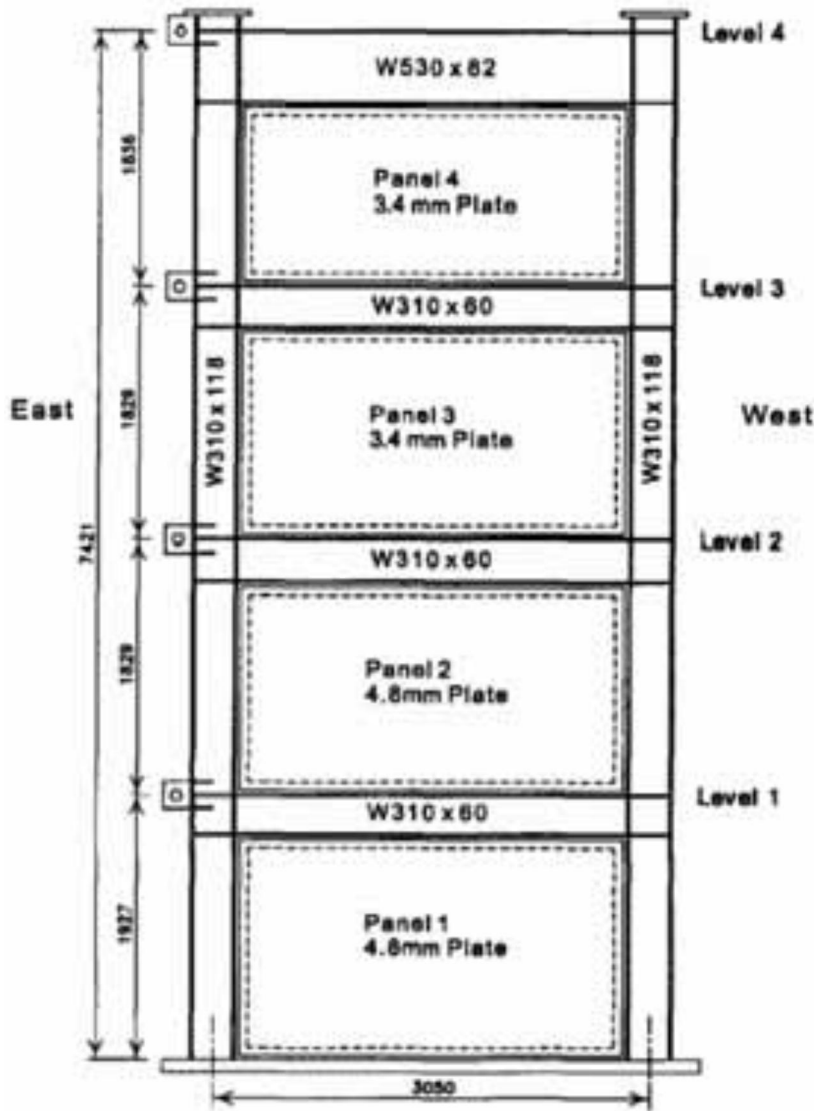
Çalışmanın sonucu olarak; kolon kiriş birleşim değişikliklerinin kapasite üzerinde belirgin bir değişikliğe sebep olmadığı gözlenmiştir. Ayrıca optimum sonuçlarında sadece kirişlerden kaynaklı modelden elde edildiği görülmüş, bunun nedeni olarak da çerçeve kolonlarında gelen etkilerin azalması gösterilmiştir.

2.7 Driver, Kulak, Kennedy ve Elvi (1997)

Bu çalışmada öncelikli amaçlanan çelik levhalı perdelerin deprem sırasında maruz kalabileceği aşırı tekrarlı tersinir yükleme karşısındaki davranışının araştırılmasıdır. Bu sebeple büyük ölçekli dört katlı ve tek açıklıklı moment aktaran çerçeveli bir deney düzeneği oluşturularak kontrollü olarak tekrarlı yükleme yapılmıştır. Çelik levhalar çerçeve elemanlarına kaynak kullanılarak birleştirilmiştir. Test düzeneğine kolon üst uçlarından düşey yük yüklenmiş, her döşeme seviyesinden de birbirine eşit tekrarlı yatay yük uygulanmıştır. Yükleme göçme oluşuncaya kadar tekrarlanmıştır.

Pek çok tekrarlı yükleme sonrasında sistemde yüksek başlangıç rijitliği, yüksek süneklik ve enerji yutma kapasitesi gözlenmiştir

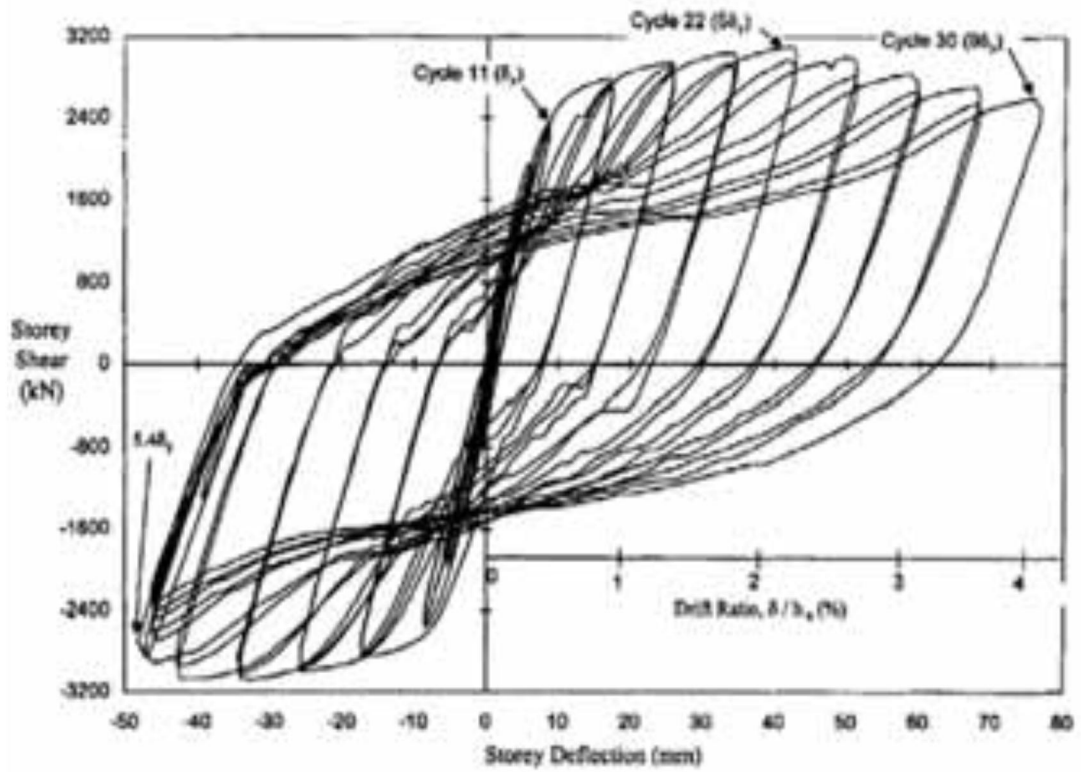
Bu araştırmanın diğer amaçlarından biri de deneysel çalışmanın yanında çelik plakalı perde davranışını analitik olarak da öngörebilmektir. Bu amaçla test sonuçlarıyla uygun olarak detaylı nonlinear sonlu elemanlardan oluşan bir model de analiz edildi. Ayrıca dört katlı model davranışı için çubuk model (Thornbul, ve diğ. 1983) kullanılarak deney sonuçları karşılaştırılmış ve tekrar bu modelin, alınan sonuçları onayladığı görülmüştür.



Şekil 2.3 : Driver ve diğ. (1997) sistem geometrisi.

2.8 Driver, Kulak, Kennedy ve Elvi (1998)

Bu çalışmada; büyük ölçekli, tek açıklıklı, dört katlı çelik plakalı perdelerden oluşturulan test düzeneğinin kontrollü olarak tersinir tekrarlı yüklemeler ile ilgili bir deney yapılmıştır. Çelik plakalı perde, moment aktaran kolon-kiriş bağlantılarıyla yatay olarak yeterli dayanıma sahip olmaktadır. Düşey yükleme kolonlara yapılmıştır. Çalışmada amaçlanan Driver ve diğ. (1997) tarafından oluşturulan ve detaylı anlatılan analitik modelin bu deneyden elde edilecek sonuçlarla birlikte değerlendirilmesidir.



Şekil 2.4 : Driver ve diğ. (1998) yük-deplasman eğrisi.

Deney sonucunda dört katlı sistem yükleme karşısında iyi bir performans ve oldukça yüksek süneklik göstermiştir. Her yükleme sonunda yuttuğu enerji miktarı artmış ve deprem yükü karşısında oldukça iyi bir yatay dayanım sağlamıştır. Buna karşın kolon üzerinde bazı yerel burkulmalar gözlenmiştir ve bu konuda önlem alınması önerilmektedir.

2.9 Timler ve diğ. (1998)

Araştırmacılar ve mühendislerden oluşan bir grup çelik levhalı perdelerin uygulamaya yönelik analitik modelleme ve maliyet fizibilitesi yapabilmek için bir

Çalışma gerçekleştirmişlerdir. Kanada'nın çeşitli bölgelerinde yapılmış farklı süneklik düzeylerine sahip orta yükseklikteki binalar kullanılmış ve betonarme perde kullanılan binalar ile karşılaştırılmaları yapılmıştır.

Buna göre Kanada yönetmelikleri kullanılarak daha basit modelleme yöntemleri önerilmiştir. Değerlendirmeler sonunda elik levhalı perdeler için öngörülen analitik modelleme yöntemlerinin kolayca uygulanabilei ortaya çıkmıştır. Ayrıca elik levhalı perdelerin betonarme perdeli binalara karşı hem temel hem de st yapı elemanlarında daha az maliyetli olabilei grlmştir. Benzer zellikli betonarme perdeli bir binayla kıyaslandığında çok daha çabuk uygulanabilir. Bütün bunlar elik levhalı perde sisteminin ekonomik olarak uygulanabilirliğine örnekler olarak grlmştir.

2.10 Rezai (1999)

Rezai (1999); elik levhalı perdelerin dinamik davranışını inceleyebilmek amacıyla, 1/4 ölçekli, dört katlı yapıda sarsma tablası ile yaptığı uygulama ilk kez elik levhalı perdeler için kullanılmıştır. Deney numunesinde kolon kiriş birleşimleri moment aktaracak şekilde düzenlenmiş, düşey yük olarak kat kütlelerine eşdeğer yükleme yapılmıştır. Sarsma tablasının kapasitesinden dolayı inceleme elastik bölge ile sınırlı kalmıştır.

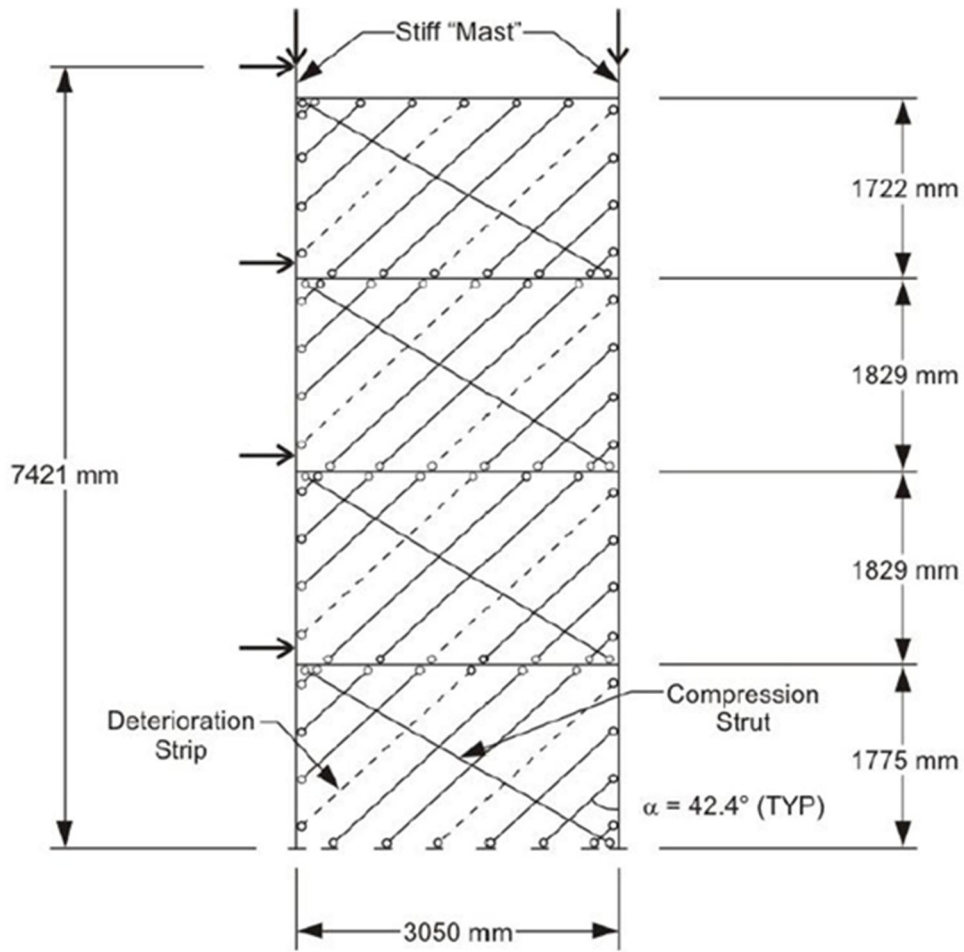
Eğim açısını veren denklemlerin hassasiyetini ölçmek amacıyla farklı boyutlarda modeller kullanarak ve kesitleri değiştirerek bir çalışma daha yapılmıştır. Buna göre Rezai (1999), α eğim açısının kiriş, kolon enkesit boyutlarının değişmesi ve 6 mm den daha büyük levha kalınlıkları kullanılmasıyla önemli değişimler göstermediğini gözlemlemiştir.

Rezai (1999), ayrıca deneysel verilerini karşılaştırmak amacıyla analitik basitleştirilmiş bir çubuk modeli oluşturmuştur. Buna göre elik levhaları her katta beş çekme çubuğuyla değişken eğim açılarını göz önüne alacak şekilde tanımlamıştır. Deneysel çalışmayla karşılaştırıldığında analitik modelinin daha güvenli tarafta kalan sonuçlar verdiğini gözlemiştir. Ayrıca bu modelinin sonuçlarını Driver ve diğ. (1998)'ın çubuk modeli ile karşılaştırdığında daha büyük başlangıç rijitliliği ve taşıma kapasitesi bulmuştur.

2.11 Shiskin, Grondin ve Driver (2005)

Bu araştırmada daha önce Thornburn ve diğ. (1983) tarafından ortaya konan çubuk modelin yapı mühendisliği bilgisayar programlarını kullanarak daha kesin sonuçlar verecek şekilde basitleştirilmesi amaçlanmaktadır. Bu basitleştirmenin temelini yapılan deneysel çalışmalardaki gözlemler oluşturmaktadır. Bu amaçla öncelikle çok daha kesin sonuçlar alacak şekilde detaylı bir model oluşturulmuştur. Bu modelde kullanılan parametrelerin de itme analizi yapabilen mühendislik programlarına uygulanabilecek şekilde olması sağlanmıştır. Ayrıca eğim açısının değişiminin elastik ötesi davranış üzerindeki etkilerine yönelik parametrik bir çalışma da yapılmıştır.

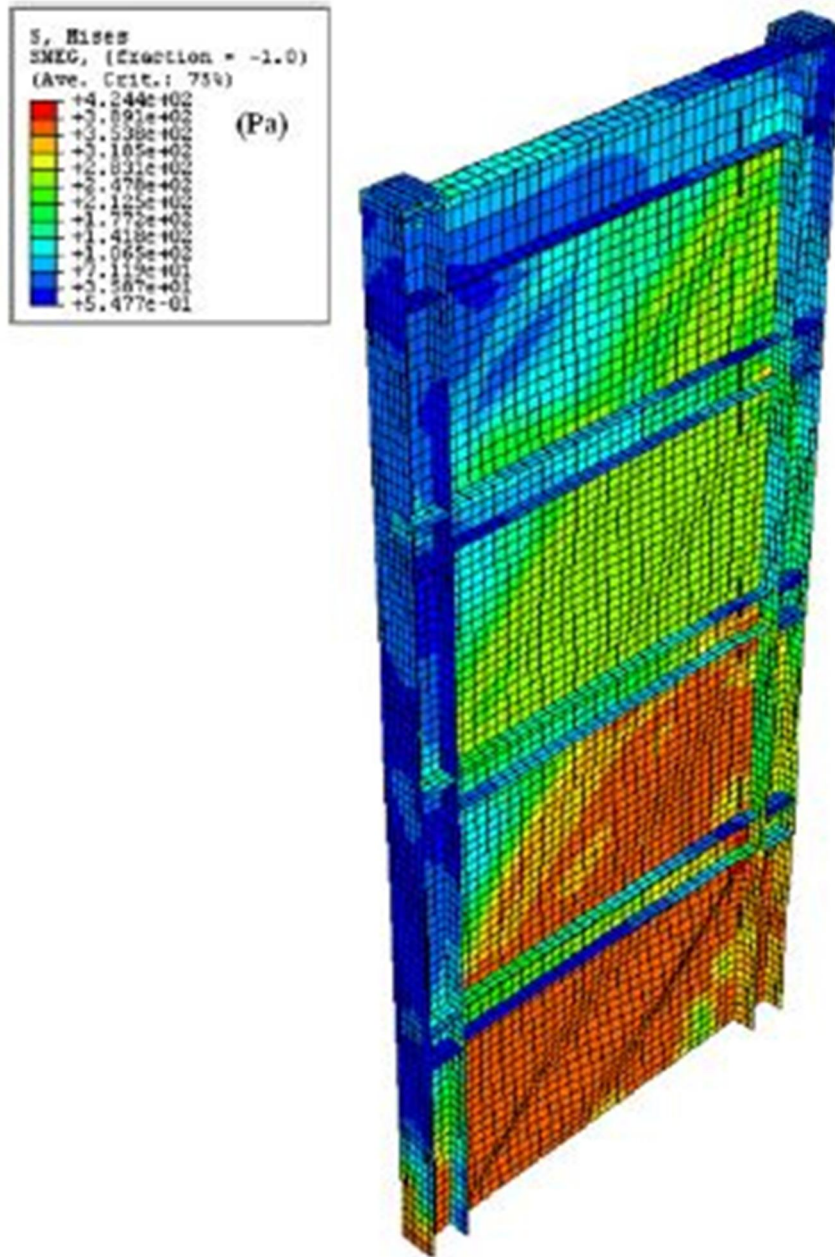
Sonuç olarak oluşturulan analitik modelin elik plakalı perdelerin davranışını hatasız olarak yansıtabildiği grlmştur. Eğim açısının değişiminin sonuçlar üzerinde büyük değişimler yapmadığı gözlenmiştir.



şekil 2.5 : Shiskin ve diğ. (2005) analitik model boyutları.

2.12 Habashi ve Alinia (2009)

Bu çalışmada; nonlinear davranış gösteren çelik levhalı perdeyi oluşturan elemanlardan çelik plakalar ve çerçeve elemanlarının etkileşimlerinin incelenmesine yoğunlaşmıştır. ABAQUS programı kullanılarak oluşturulan sonlu eleman modelleriyle birbirinden farklı çelik plakalı perdeler modellenmiş, yatay ve düşey yük etkileri altında davranışları değerlendirilmiştir.



Şekil 2.6 : Habashi ve Alinia (2009) sonlu eleman modeli.

Öncelikle artan yüklemelerde genel davranışı incelenmiş, rijitlik ve süneklik karşılaştırmaları yapılmıştır. Yatay yük karşısında, çelik levha ve çerçeve elemanlarının kat kesme kuvveti karşılaştırmaları yapılmıştır.

Çalışmanın sonucunda, çelik levhalar yüklemenin ilk aşamalarında çok etkin bir rol oynayarak kat kesme kuvvetinin çok büyük bir kısmını karşıladığı, ancak artan yükler karşısında oluşan diyagonal çekme alanları ile bu etkinlikleri azalmaya başladığı ve çerçeve elemanlarının etkinliğinin arttığı belirtilmiştir.

2.13 Choi ve Park (2009)

Yapılan deneysel çalışmada çeşitli çelik levha düzenlemeleri kullanılarak, çelik levhalı perdelerin yapısal taşıma kapasiteleri incelenmiştir. Deney düzeneklerini oluşturan parametreler öncelikle mimari nedenler ve maliyet kriterleri düşünülerek belirlenmiştir. Beş adet üç katlı çelik levhalı perde düzeneği hazırlanıp test edilmiştir (Şekil 2.7 ve 2.8). Test parametreleri, bağlantı şekli; kaynak ve bulon, kaynak boyutu; tamamen veya kısmen kaynaklı, açıklıklı veya tamamı plakalı olarak seçilmiştir. Oluşturulan bu düzeneklerin kendi aralarında ve analitik modellerle karşılaştırılması yapılmıştır.

Sonuç olarak; deneylerin değerlendirilmesiyle bütün çelik plakalı perde düzeneklerinin çok yüksek başlangıç rijitliği, yük taşıma kapasitesi ve enerji yutma kapasitesi olduğu görülmüştür. Sadece kirişlerinden kaynaklı model ile tamamı kaynaklı modelin karşılaştırılmasında yük taşıma ve enerji yutma kapasitesinde bir miktar düşüş olmasına karşın, birbirine eşit deformasyon kapasitesi görülmüştür. Bulonlu birleşim olan model ise diğerlerine göre daha düşük bir taşıma kapasitesi göstermiştir. Bütün bu sonuçlar değerlendirilerek, pratikte bütün bu farklı tasarımların taşıma kapasitesinde bir düşüş yaşanmadan kullanılabileceği öngörülmüştür.

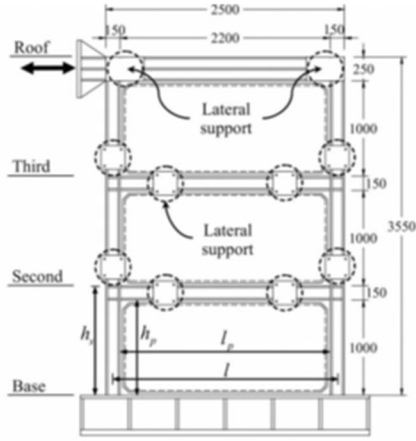


(a) FSPW4

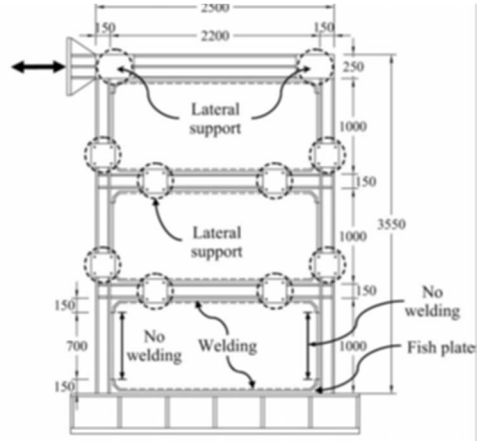


(b) FSPW5

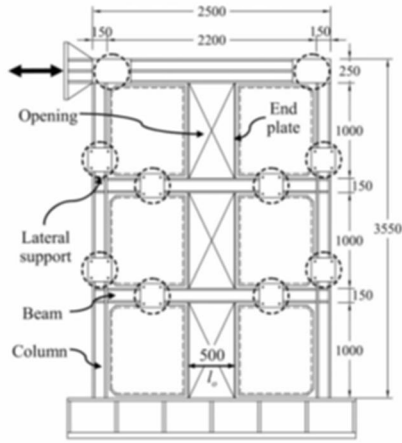
Şekil 2.7 : Choi ve Park (2009) deneye ait görüntüler.



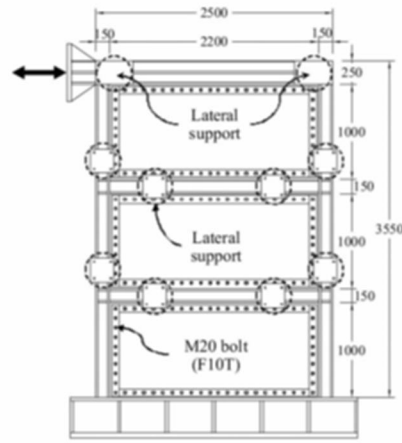
(a) FSPW2 (fully connected infill plate)



(b) FSPW4 (partially connected infill plate)



(c) FSPW5 (coupled wall)



(d) BSPW1 (bolt-connected infill plate)

Şekil 2.8 : Choi ve Park (2009) farklı çelik levhalı perde tasarımları.

2.14 Qu ve Bruneu (2009)

Bu çalışmada, çelik levhalı perdeleri oluşturan çerçeve elemanlarının perdenin dayanımı üzerine etkileri araştırılmış güncel yönetmeliklerdeki tasarım yöntemlerinin karşılaştırmaları yapılmış ve bu etkiler kullanılarak optimum perde tasarımı oluşturulmaya çalışılmıştır. Geleneksel çelik perdeli levha tasarımında, perdeyi oluşturan çerçeve elemanlarının etkileri göz önüne alınmadan çelik plakaların bütün yatay yükü karşıladığı kabul edilmektedir. Ancak bu çalışmada hem çelik plakanın çekme etkisinin hem de kolon ve kirişlerin eğilme etkisinin birlikte göz önüne alındığı dengeli bir tasarım yöntemi oluşturulmaya çalışılmıştır.

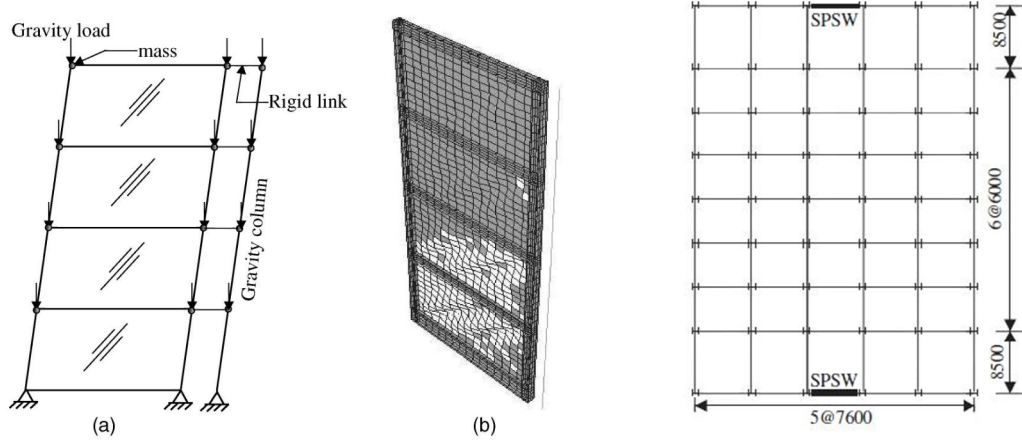
Ayrıca zayıf plakalı çelik perde tasarımı ve kolonlar üzerindeki yük dağılımının üç farklı şekilde yapıldığı tasarım yöntemi de oluşturulmuş ve karşılaştırmaları yapılmıştır. Sonuç olarak nonlinear time-history analizleri yapılarak bu farklı tasarımların sismik performansları ortaya konmuştur. Oluşturulan dengeli tasarım yöntemi kullanılarak boyutlandırılan çelik plakalı perde ile AISC Seismic Provisions for Steel Structures'da (AISC 341-05) (AISC, 2005) verilen ifadeler ile boyutlandırılan perdelerin benzer davranış gösterdikleri belirtilmiştir. Ancak gelecekte bu konuda daha detaylı araştırmaların yapılması gerektiği vurgulanmıştır.

2.15 Bhowmick, Driver, Grondin (2011)

Bu çalışmada; çelik levhalı perdelerin sismik yükler altında daha iyi performans göstermesini ve ekonomik açıdan da iyileştirilmesini amaçlayan, kapasite tasarımına dayanan bir yöntem önerilmektedir. Yapılan pek çok uygulamada; uygulamadaki ve üretimdeki sınırlamalardan dolayı gereğinden kalın çelik plakalar kullanılmakta ve ağır çerçeve elemanlarının kullanılması gerekmektedir. Ancak yatay yük etkisi altında yapılan analizler özellikle üst katlarda bu sebeplerle, çelik perdelerin tam anlamıyla kapasitelerini kullanmadıklarını göstermektedir Dolayısıyla sistem diğer alternatifleri karşısında daha pahalı bir çözüm olmaktadır. Bu kapasite tasarımıyla ilgili, bu çalışmada hesap adımları oluşturulmuş ve bazı kabuller yapılmıştır.

Mevcut tasarım yöntemleriyle, ortaya konan bu yeni kapasite tasarımını karşılaştırmak amacıyla iki tane 4 katlı, bir tane de 8 katlı çelik plakalı perdeye sahip yapı analiz edilmiş ve sonuçlar bulunmuştur. Buna göre; kolonların tasarım moment ve eksenel yükleri, nonlinear analizle karşılaştırıldığında tutarlılık göstermekte ayrıca

tam kapasitenin kullanıldığı diğer metotlara karşı da ekonomik olarak bir üstünlük sağlamıştır.



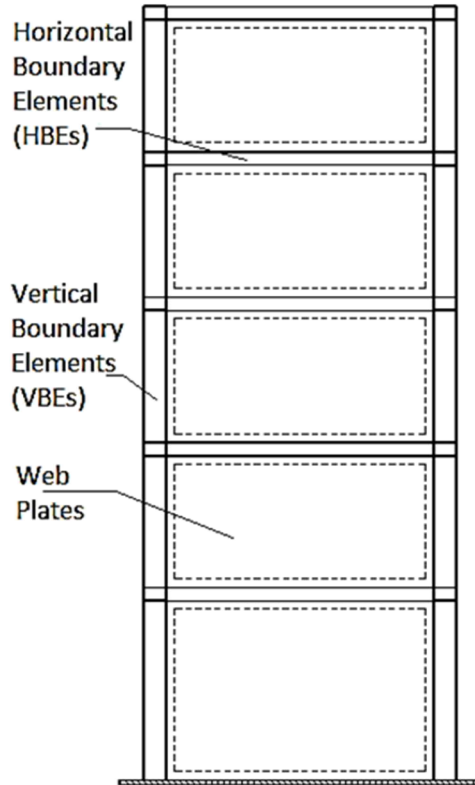
Şekil 2.9 : Bhowmick ve diğ. (2011) sonlu eleman modeli ve kat planı.

Sonuç olarak yazarlar; bu çalışmanın çelik levhalı perdelerin ekonomik açıdan geliştirilebilmesi ve daha rasyonel metotların oluşturulabilmesi için bir ilerleme olduğunu ancak ileride daha farklı geometriler sahip daha farklı deprem kayıtları kullanılarak yeni çalışmaların yapılmasına gerek olduğunu belirtmişlerdir.

3. ÇELİK LEVHALI PERDELER

3.1 Genel Bakış

Çelik levhalı perde sistemi son yıllarda pek çok binada kullanılan yenilikçi bir yatay yük taşıyıcı sistemdir. Daha çok ekonomik özellikleri ve yüksek performansından dolayı hem rüzgar hem de deprem gibi yatay yüklerin karşılanmasında etkin bir şekilde kullanılmaktadır. Sistem; yatay ve düşey ‘çerçeve elemanları’(horizontal ve vertical boundary elements) olarak adlandırılan kolon ve kirişlerden oluşan çerçeve ve içindeki düşey ince çelik levhadan (web plate) oluşmaktadır. Bu sistem bina yüksekliğince bir veya daha fazla açıklığa uygulanabilmektedir. Sistemin kolon ve kiriş bağlantıları moment aktaran birleşim olmak zorunda değildir. Çelik levhalı perde sistemi; yeni bina inşasında kullanımının yanında mevcut çelik veya betonarme binaların deprem güçlendirilmesinde de kullanılmakta, göreceli olarak daha kolay uygulamalar yapılabilmektedir (Driver ve diğ. 1997).



Şekil 3.1 : Çelik levhalı perdenin genel görünüşü ve elemanları.

Çelik levhalı perdeler günümüzde, özellikle ABD, Kanada, Meksika ve Japonya gibi ülkelerde pek çok binada kullanılmaktadır. İnşa edilen binalar tek katlı yapılardan yüksek katlılara kadar uzanmaktadır. Özellikle, planda düzensizliğin olmadığı ve çekirdeği düzenli olan orta ve yüksek binalarda bu sistem daha rahat uygulanabilmektedir. (Bruneu ve Sabelli, 2005)

Yatay taşıyıcı sistem olarak çelik levhalı perde kullanmak, özellikle sismik yüklerin karşılanmasında önemli artılar kazandırmaktadır. Deprem gibi tekrarlı yükler altında, gösterdiği süneklikten dolayı yüksek dayanımı, yüksek başlangıç rijitliği gibi özellikleriyle büyük enerji yutabilme kapasitesi sağlamaktadır. Ayrıca betonarme bir perdeyle karşılaştırıldığında, çok daha düşük olan kütlesiyle binanın düşey yüklerini azaltarak hem diğer eleman ve temele gelecek deprem yüklerinin azalmasını sağlamakta ve yapım maliyetlerini de düşürmektedir. Ayrıca çelik levhalı perde dizaynı günümüzde kullanılan pek çok yapısal mühendislik programı yardımıyla göreceli olarak kolaylıkla yapılabilir.

3.2 ABD’de Kullanımı

Çelik levhalı perde kullanılan binalar henüz yönetmeliklerce tanımlanmadığı dönemlerde temel mühendislik prensiplerine dayanarak kullanılmıştır. Bu döneme ait pek çok farklı özelliğe sahip bina örneği ABD’de mevcuttur.

San Francisco California Üniversitesi’ndeki 16 katlı H.C Moffitt Hastanesi’ne ait bina tasarımı (Dean ve diğ. 1977) için çelik levhalı perde sisteminin en uygun çözüm olduğuna karar verilmiştir. Deprem yüklerine karşı performansı yüksek rijitliğiyle olası bir deprem sonrasında kullanımına devam sağlayabilmek ve mimari nedenlerle bu sistem seçilmiştir. Sistemin boyutlandırılmasında sonlu eleman modelleri kullanılarak statik ve modal analizler yapılmıştır.

Yine benzer şekilde, Dallas da Hyatt Otel inşasında bir doğrultuda rüzgar yüklerinin karşılanmasında çelik levhalı perde kullanılmıştır. Bu örnekteki kullanım amacı mimari açıdan binadaki kullanım alanını artırmak ve olası bir betonarme perde kullanımına karşı zamandan tasarruf etmektir. Ancak bu bina, kullanılan levha kalınlıkları büyük olması sebebiyle burkulması önlenmiş çelik levhalı perde sistemine bir örnektir.

Çelik levhalı perde tasarımının önce Kanada Yönetmelikleri (CAN/CSA, NBCC) daha sonrasında Amerikan Yönetmeliklerine (FEMA, AISC) girmesiyle birlikte burkulması önlenmemiş örnekler de ortaya çıkmıştır.



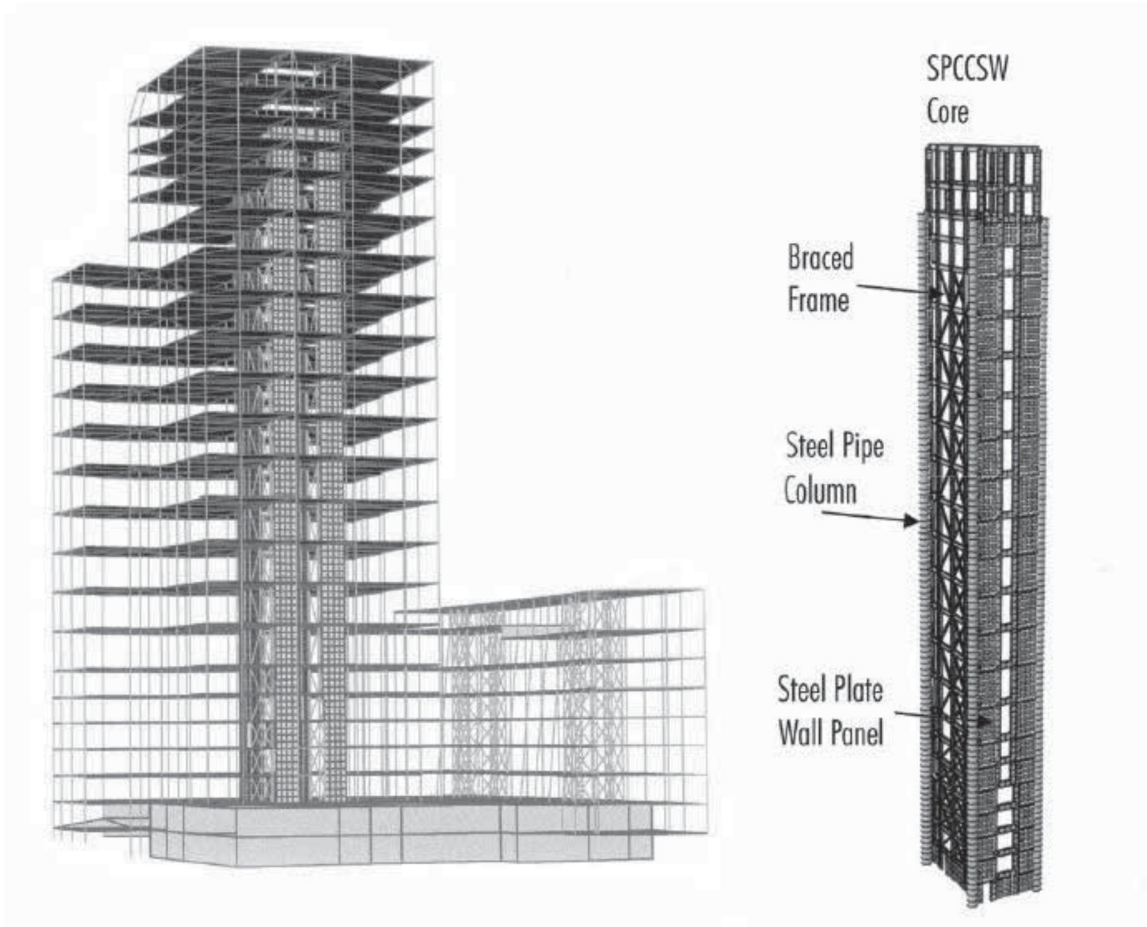
Şekil 3.2 : ABD Federal Mahkemesi, Seattle (Bruneu ve Sabelli, 2005).

Seattle’da Birleşik Devletler Federal Mahkemesine ait 23 katlı binada yanal yüklerin karşılanmasında bir doğrultuda çelik çaprazlar, diğer doğrultuda da kolonları kompozit malzemeden ince çelik levhalı perde sistemi kullanılmıştır. Bu sistemin seçilmesinin sebepleri, betonarme bir perdeyle karşılaştırıldığında elde edilecek kullanım alanı, yine betonarme kesitler kullanıldığında oluşacak kütle artışından kaçınılması, temele gelecek etkilerin azaltılması, çelik çaprazlarla birlikte hızlıca uygulanabilmesi ve deprem karşısındaki sünekliği, yüksek performansı olmuştur.

Bunun gibi örneklerin dışında deprem bölgelerindeki az katlı binaların güçlendirilmesinde veya yeni bina uygulamalarında görece düşük maliyetleri ve tasarım kolaylıklarında tercih sebebi olup uygulanmaktadır.



Şekil 3.3 : Az katlı konut uygulamaları, San Francisco ABD.



Şekil 3.4 : ABD Federal Mahkemesi yapı sistemi, Seattle (Bruneu ve Sabelli 2005).

3.3 Kanada’da Kullanımı

Çelik levhalı perdeler Kanada’da 1980’lerin başından itibaren bu konudaki araştırmalara paralel olarak kullanılmaya başlanmıştır. İlk uygulamaları Vancouver’da sekiz katlı bir binada bir doğrultuda deprem etkilerini karşılayabilmek için asansör şaftı ve merdiven çevrelerinde yapılmıştır (Gloutman, 2005).

Kanada Çelik Yönetmeliği (CAN/CSA) çelik levhalı perdelerle yer vermesiyle birlikte bu sistem daha fazla tercih edilmeye başlamıştır. Quebec’te altı katlı bir binanın inşasında yine asansör şaftı etrafında kullanılarak yanal etkileri karşılamak amacıyla kullanılmıştır. Hızlı ve kolay uygulanabilmesi tercih sebebi olmuştur. Atölyede kaynaklanan parçalar sahada birleştirilerek uygulanmıştır.

Yine, Quebec’te ING’nin yedi katlı binasında kullanım alanlarını artırmak, hızlı ve kolay uygulanabilmesinden dolayı tercih edilmiştir. Bu örnekte de binanın çekirdeğinde yapı yüksekliği boyunca uygulanmıştır. Atölyede oluşturulan parçalar sahada plaka üzerinde kaynakla kiriş üzerinde ise bulonlarla birleştirilmiştir.



Şekil 3.5 : ING Bank Binası inşası sırasında çelik levhalı perde uygulaması (Quebec, Kanada).

Montreal'de ICRM'nin tek katlı mevcut bir binasına yapılacak ek iki kat için de uygulama yapılmıştır. Tek doğrultuda yeni iki kata diğer doğrultuda ise üç kata inşa edilmiştir. Perdeler atölyede hazırlanıp sahaya getirilmiştir.

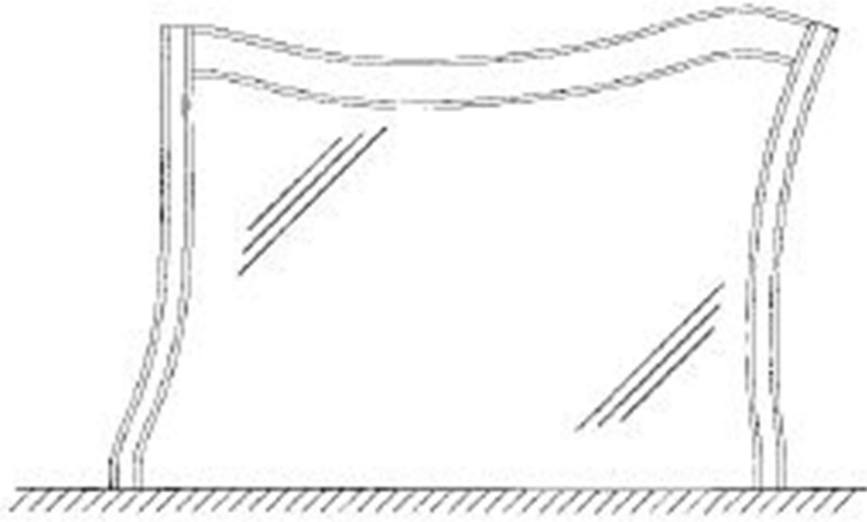


Şekil 3.6 : ING Bank levha birleşim detayları (Quebec, Kanada).

3.4 Sistem Davranışı

Çelik levhalı perde; uygulanan yanal kuvveti, plaka üzerinden diyagonal gerilme ve bitişik kolonlar vasıtasıyla devrilme etkilerini olarak karşılar. Bu sistemler, plakaların burkulma sınırlandırılmalarına göre sınıflandırılabilir ancak günümüzde kullanımı yaygın olan tipik çelik levhalı perdelerde, gövde plakasının oldukça narin, rijitleştirilmemiş ve basınç dayanımı göz önüne alınmayacak kadar küçük olduğu varsayılır. Plaka üzerine etkiyen basınç sonucunda burkulma meydana gelir ve oluşan kıvrımlar diyagonal çekme alanları ortaya çıkarır. Bu sayede oluşan burkulma sonrası davranış ile birlikte sistem oldukça büyük yanal kuvvete karşı ekonomik olarak dayanım gösterebilmektedir.

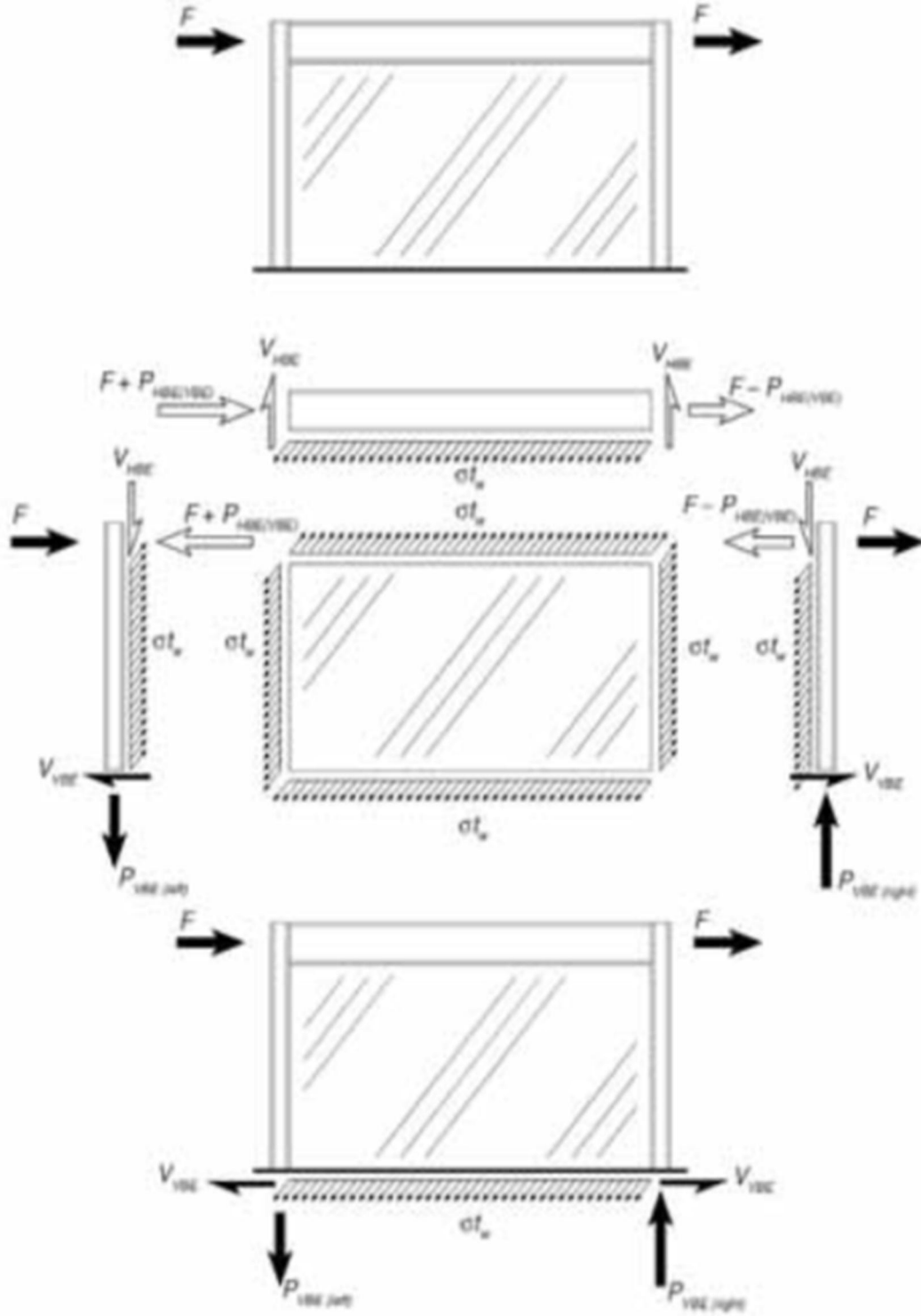
Çelik levhalı perde davranışı, çaprazlı sistemler ile berkitme levhalı kiriş davranışlarına benzerlikler gösterir ancak bu iki sistemden daha farklı yanları da vardır. Çapraz kullanılan çerçevelerin çekme etkileri ancak çaprazın birleşim noktasından çerçeveye etkinken, bu sistemde kolon veya kiriş boyunca etkin olmakta ve çerçeve elemanlarına büyük iç kuvvet aktarımı olmaktadır. Hem yatay sınır elemanları olan kirişler, hem de düşey sınır elemanı olarak adlandırılan kolonlar; çelik levha üzerinden, perde boyutlarına bağlı hesaplanan bir açı ile gelecek etkileri karşılayacak şekilde boyutlandırılmaktadır. Kolon ve kirişler eğilme şekil değiştirmeleri göstererek bu büyük iç kuvvetlere karşı dayanım gösterirler.



Şekil 3.7 : Çelik levhalı perdenin şematik şekil değiştirmesi.

Çelik levhalı perde davranışını anlayabilmek için perde elemanlarının iç kuvvet dağılımını anlamak önemli bir noktadır. Bu sebeple kolon-kiriş birleşimi moment aktarmayan bir çelik levhalı çerçeveye ait şematik serbest cisim diyagramı (Şekil 3.2) verilmiştir. Buna göre, kiriş elemanı üzerinde moment etkisinden dolayı oluşan aksenal kuvvete ek olarak, plakanın oluşturduğu eğilmeden dolayı ortaya çıkan çekme kuvveti görülmektedir. Çelik plakanın kolon yüzü boyunca tam çekme dayanımını gösterebilmesi için, kolonun rijitliğinin yüksek olması gerekmektedir.

Ayrıca şekilde, düşey çerçeve elemanından gelen eğilme sonucu oluşan içkuvvet, yatay elemanlarca karşılanmaktadır. Bu sebeple yatay sınır elemanı kirişler, plaka sebebiyle oluşan eğilme kuvvetleriyle birlikte bu etkileri de karşılayabilecek basınç dayanımına sahip olması gerekmektedir.



Şekil 3.8 : Çelik levhalı perdeye ait serbest cisim diyagramı (Bruneu ve Sabelli, 2005).

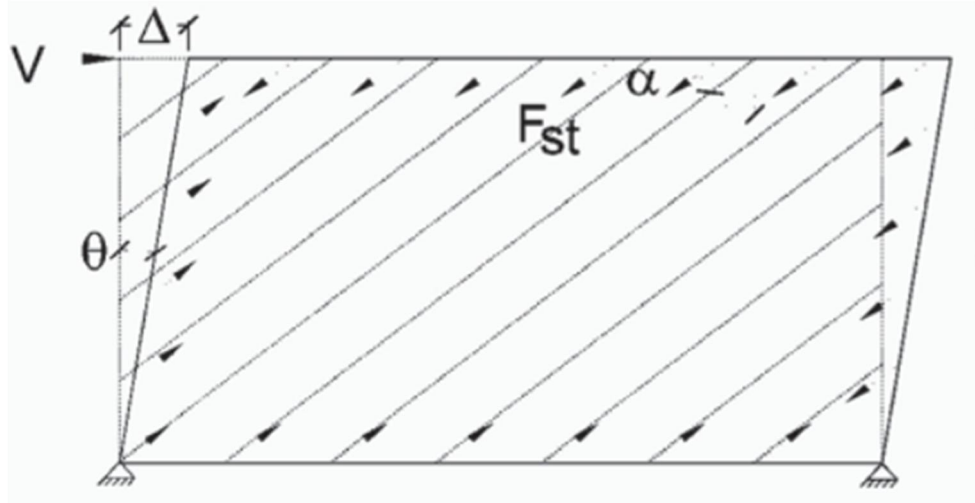
Çelik plaka üzerinde oluşan iç gerilmeler kullanarak ve Thornburn ve diğ. (1983) tarafından yapılan çalışmalar temel alınarak AISC 314’de yer alan çekme gerilme açısı denklemi oluşturulmuştur **(3.1)**.

$$\tan \alpha = \sqrt[4]{\frac{1 + \frac{tL}{2A_c}}{1 + \text{th} \left(\frac{1}{A_b} + \frac{h^3}{360I_c L} \right)}} \quad (3.1)$$

Buna göre; h iki kiriş eksenleri arasındaki mesafe, A_b kiriş kesit alanı, A_c kolon kesit alanı, I_c kolonun plaka düzlemine dik doğrultudaki atalet momenti, L kolon eksenleri arasındaki mesafe ve t çelik plaka kalınlığı olarak belirlenmiştir. Bu denkleme göre çelik plakanın basınç dayanımı göz ardı edilmiş ve çekme bölgesinin belirli sabit bir açıyla sabit bir şekilde kalacağı varsayılmıştır.

Çelik levhalı perde sistemine ait tek katlı bir göçme mekanizması şekilde (Şekil 3.9) görülmektedir. Bu mekanizma kullanılarak çelik levhalı perdenin nihai kesme dayanımına ait denklem oluşturulmuştur (Berman ve Bruneu 2003) (3.2).

$$V = \frac{1}{2} F_y t_w L \sin 2\alpha \quad (3.2)$$



Şekil 3.9 : Çelik levhalı perdenin göçme mekanizması.

Burada daha önce verilen ifadelerin yanı sıra V etkiyen kesme kuvveti, F_y çelik levhaya ait akma değeridir. İdeal olarak çelik levhalı perde üzerine gelecek deprem etkilerinin elastik ötesi davranışa sebep olacağı öngörülmektedir. Böylece verilen

ifade kullanılarak her kata ait kesme kuvveti bilindiğinde levha kalınlığı t_w 'ye ulaşılabilir.

$$t_{wi} = \frac{2V_i}{F_y L \sin(2\alpha_i)} \quad (3.3)$$

Bu ifadede yer alan i işlemin yapıldığı katı işaret etmektedir. Farklı katlarda farklı plaka kalınlıkları kullanılması gerekebilmektedir.

Çelik levhaların tamamen akma durumuna ulaşabilmesi için levhanın bağlantılı olduğu çerçeve elemanlarının da yeterli bir dayanıma ve rijitliğe sahip olması gerekmektedir. Yapılan çalışmalar sonunda çerçeve kolonlarının düzleme dik atalet momenti ile ilgili bir sınır değere oluşturulmuştur (Montgomery ve Medhekar 2001) (3.4).

$$I_c \geq \frac{0.00307 t_w h^4}{L} \quad (3.4)$$

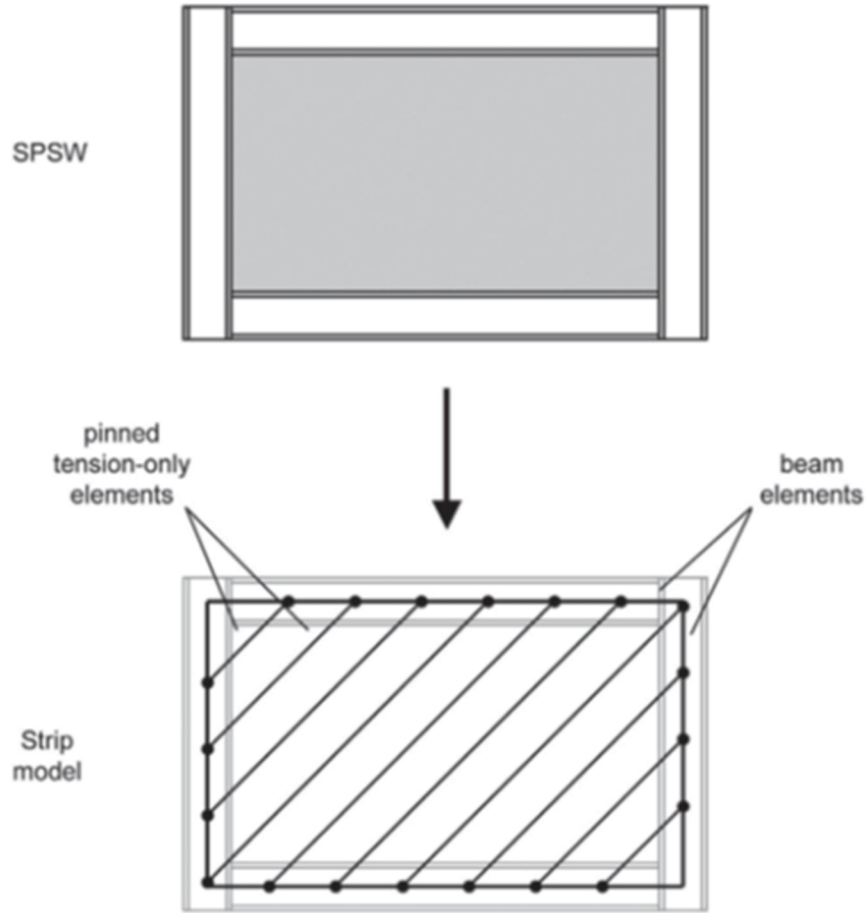
3.5 Analiz Yöntemleri

Çelik levhalı perde analizleri için bilgisayar modellerinin oluşturulması gerekmektedir. Yapılan bu modellemede amaçlanan iki temel neden vardır. Öncelikle, sistemi oluşturan elemanların tasarımını yapabilmek için elemanlara gelen iç kuvvetlerin belirlenebilmesi gerekmektedir. Buna göre bütün elemanlar üstüne gelen yükü karşılayabilecek yeterlilikte olmalıdır. Diğer amaçlanan ise sistemin yapacağı deplasman değerlerinin belirlenmesidir. Olası bir büyük yer değiştirme durumunda oluşacak problemlerin önüne geçilmelidir.

Daha önce yapılan çalışmalar sayesinde çeşitli tasarım metotları oluşturulup uygulanmaya başlanmıştır. Bunlar arasında günümüzde kullanılan bilgisayar programlarına uygun ve pratik yöntemlerden iki tanesi öne çıkmaktadır. Birincisi, çelik plakaların belirli bir sayıda iki ucu mafsallı çekme çubuğuyla ifade edildiği 'şerit-strip model'; diğeri ise çelik levhaların özelliklerini yansıtacak şekilde düzenlemiş ortotropik membran elemanların kullanıldığı modeldir. Bu bölümde bu iki modelleme yöntemi ve alternatif bir yöntem olan nonlinear analiz ile ilgili detaylar verilecektir.

3.5.1 Strip model

Bu yöntemde gelen yatay kuvvet karşısında burkulduğunda çelik levha üzerinde oluşan burkulma sonrası çekme alanı oluşturan kıvrımlar çekmeye çalışan çubuk elemanlarla ifade edilmektedir. Yapılan deneysel çalışmalarla bu metodun davranışı oldukça gerçekçi olarak yansıttığı görülmüştür.



Şekil 3.10 : Strip model.

Çelik levha; şekilde (Şekil 3.10) görüldüğü gibi birbirine paralel iki ucu mafsallı elamanlarla tanımlanmaktadır. Yapılan çalışmalar sonucunda; çerçeve elemanlarına yeterli yük dağılımını sağlayabilmek amacıyla en az 10 adet çubuğun kullanılması gerektiği Kanada (CSA) yönetmeliğince istenmektedir. Bilinen çelik levha kalınlığı t_w ve kullanılacak çubuk sayısı n kullanılarak, her bir çubuğun kesit alanı ifadesi verilmiştir (3.5).

$$A_s = \frac{(L \cos \alpha + h \sin \alpha) t_w}{n} \quad (3.5)$$

Denkleimde verilen, t_w kullanılan çelik levhaya ait et kalınlığı, n çekme çubuğu sayısı, kullanılan diğer ifadeler ise daha önce verilmiş notasyondur.

Bu metot kullanılırken dikkat edilmesi gereken nokta eğim açısı α 'nın çerçeve elemanları ve çelik levha boyutlarına bağlı olarak değişmesinden dolayı belirli sayıda iterasyon yapılarak gerekli boyutlara ulaşılabilir.

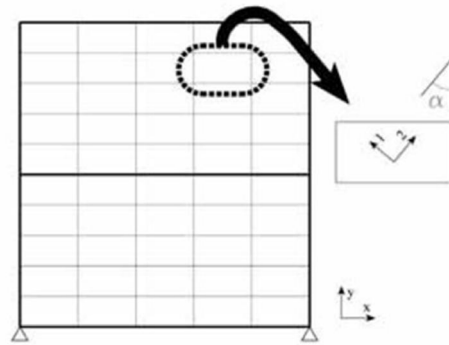
3.5.2 Ortotropik membran yöntemi

Çelik plakalı perde davranışı membran elemanlar kullanılarak da tanımlanabilir. Ancak basınç ve çekmeye karşı farklı davranışlar gösteren narin bir eleman olan levhalar için ortotropik membran elemanlar kullanılmalıdır. Eleman üzerinden geçecek olan çekme gerilmesi diyagonal bir doğrultuda olacağından membranın lokal ekseni belirlenmiş olan eğim açısı α 'ya göre ayarlanmalıdır. Çelik levhanın basınç almadığı göz önüne alınarak, ortogonal doğrultudaki eleman rijitliği sıfır veya önemsiz bir değer alınmalıdır.

Ayrıca membran elemanların kesme rijitliğinin de sıfır olarak kabul edilmesi gerektiği önerilmektedir (Bruneu ve Sabelli, 2005).

Ortotropik membran metot aslında çubuk modeli temel alan ve çelik levhanın çekmeye çalışan davranışını ifade eder. Bunun için levhaya gelen kuvvetlerin çerçeve elemanlarına düzgün aktarabilmesi için yeteri kadar mesh işlemi yapılmalıdır. Bu sayının en az 4x4 eleman üzerinden yapılması gerektiği öngörülmektedir (Astaneh-Asl 2001).

Membran modeli şematik olarak şekildeki (Şekil 3.11) gibi gösterilebilir. Buna göre, çerçeve elemanları arasında iki doğrultuda eşit sayıda meshlenmiş ve yerel ekseni eğim açısına uygun olarak döndürülmüş membran elemanlar görülebilmektedir.



Şekil 3.11 : Ortotropik membran model.

Membran modeli, şerit model ile aynı esaslara dayanmasının yanında kullanım kolaylıkları açısından şerit modele göre avantajlı bir yöntemdir. Bu yöntem kullanılarak iterasyonlarla bulunan eğim açısı α günümüzde kullanılan pek çok ortotropik membran eleman tanımlanabilen yapısal analiz programları kullanılarak kolaylıkla değiştirilip analiz yapılabilir.

3.5.3 Nonlineer analiz

Çelik levhalı perde tasarımında nonlineer analizden faydalanmak önemli faydalar sağlamaktadır. Levha davranışını oluşturabilmek için nonlineer çekme çubukları kullanılabildiği gibi yine nonlineer membran elemanlar da kullanılabilir. Ancak nonlineer analiz diğer metotlarda olduğu gibi yaygın kullanılan programlarda uygulanamamaktadır.

Pushover analiz kullanılan bu yöntem ile çerçeve elemanlarına gelecek etkiler çok daha gerçekçi olarak bulunabilir. Bu yöntem ile elde edilen eğilme momentleri ve eksenel kuvvetler genellikle kapasite tasarımıyla elde edilen iç kuvvetlere göre daha küçük çıkmaktadır.

3.6 Yönetmelikler

3.6.1 Kanada yönetmeliği (CAN/CSA S16)

Çelik levhalı perde tasarımı Kanada Çelik Yapılar Standart'ında (CSA, 2001) 1994 'ten itibaren yer bulmuştur. Bu yönetmelik Thornburn ve diğ. (1984) tarafından geliştirilen eşdeğer çubuk modelinin çelik levhalı perde tasarımında kullanılmasını önermektedir. Çelik levhalar belirli sayıda diyagonal çelik çekme çubuğuyla tanımlanmalı ve bu elemanlar öngörülen etkileri karşılamalı ve deplasman değerleri de sınırlar içinde kalmalıdır. Daha sonrasında ise çekme çubukları levhalara dönüştürülür. Bu yönetmelikte plaka kalınlığı (3.6);

$$t_{wi} = \frac{2A_i \sin \theta_i \sin 2\theta_i}{L \sin^2 2\alpha_i} \quad (3.6)$$

tanımlanmaktadır. Burada A ve θ , i katındaki çekme çubuğunun alanı ve düşeyle yapışığı açıdır. Bu yönetmelik süneklik düzeyi düşük çelik levhalı perdeler için deprem yükü azaltma katsayısını $R=2$ olarak tanımlamakta, süneklik düzeyi yüksek

çelik levhalı perdeler için $R=5$ 'e kadar bir katsayı tanımlamıştır. Sünek perde tasarımı kapasite tasarımı prensiplerine göre yapılmaktadır.

Sünek çelik levhalı perde tasarımında, çelik levhanın çerçeve elemanlarında plastik mafsall oluşmasından önce akmasını sağlayacak şekilde tasarlanması gerekmektedir. Böylece deprem sırasında enerji yutma kapasitesinden faydalanılmış olur. Bu kapasite tasarımında çerçeve elemanlarının boyutlandırılmasında kullanılacak iç kuvvetler de çubuk modelin pushover analiz sonunda veya yine bu yönetmelikte tanımlanan dolaylı yöntem ile elde edilebilir. Yine çelik levhaların bu davranışını sağlayabilmesi için de çerçeve kolonlarının belirli bir rijitlikte olması gerekmektedir.

3.6.2 Amerikan yönetmelikleri (FEMA 450, AISC)

Çelik levhalı perde tasarımına ait Kanada Yönetmeliklerinde ortaya konan pek çok uygulama ve sınırlama olduğu gibi Amerikan yönetmeliklerince de tanımlanmıştır. NEHRP (FEMA, 2004) ve AISC (AISC, 2005) bu sistemlerle ilgili bilgiler vermektedir. Buna göre çelik levhaların nominal kesme kuvveti tanımlanmıştır (3.7).

$$V_n = 0.42 F_y t_w L_{cf} \sin(2\alpha) \quad (3.7)$$

Burada L_{cf} iki kolon arası temiz açıklık olup diğerleri daha önce tanımlanmış bilgilerdir.

Bu ifade kullanılarak plaka kalınlığı ASD için;

$$t_w = \frac{\Omega V_a}{0.42 F_y L_{cf} \sin 2\alpha} \quad (3.8)$$

olarak ifade edilir (3.8). Burada V_a , ASD'ye göre gerekli kesme kuvveti ve Ω ise AISC 341'de 1.67 olarak verilen güvenlik faktörüdür.

Bunlara ek olarak levha boyutları ve çerçeve elemanlarının rijitlikleriyle ilgili sınırlamalar getirmektedir (3.9). Buna göre kolonlar;

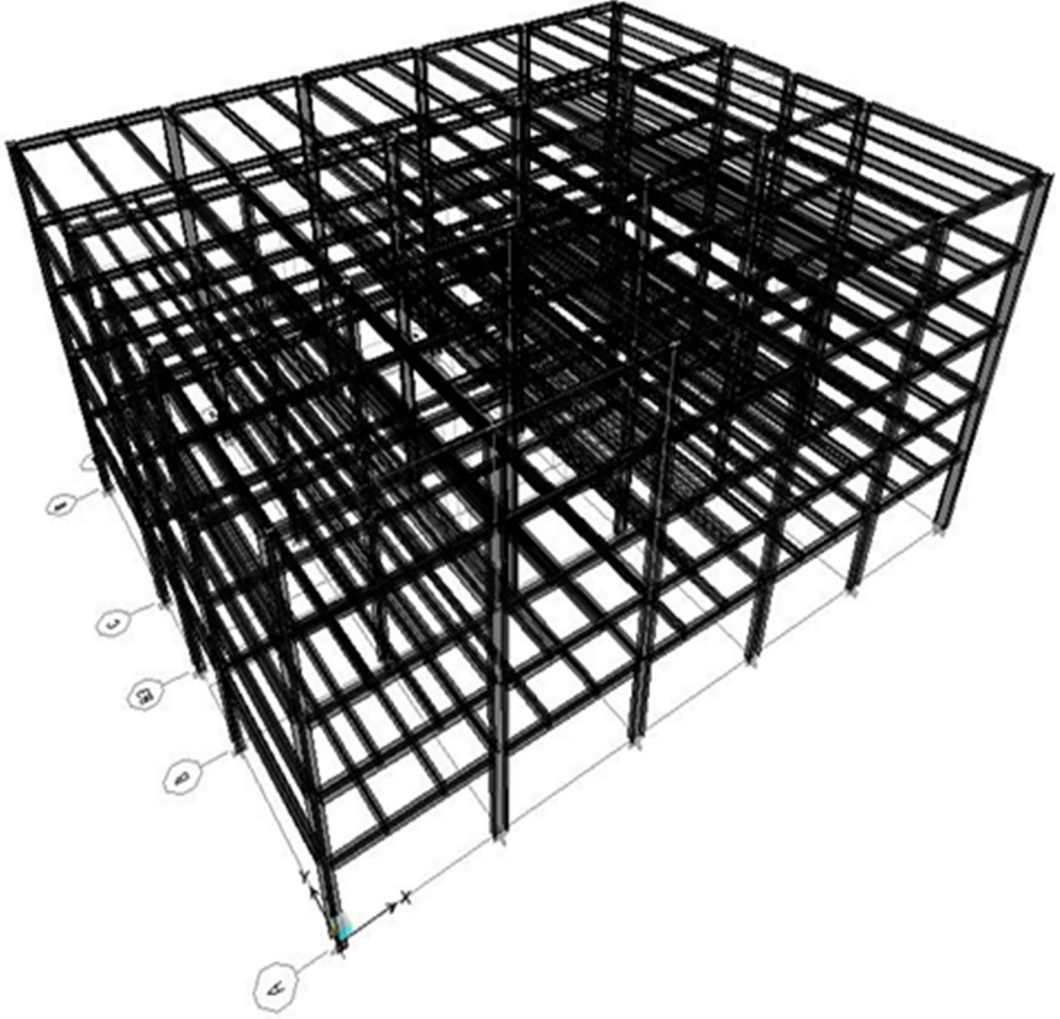
$$I_c \geq \frac{0.00307 t_w h^4}{L} \quad (3.9)$$

İfadesiyle sınırlanırken, $0.80 < L/h < 2.5$ ifadesinin de sağlanması gerekmektedir. Ayrıca kolon kiriş birleşimleriyle ilgili verilen detayların yanı sıra FEMA 450’de levha narinlikleriyle ilgili de bir sınırlama verilmiştir **(3.10)**. Bu ifade;

$$\frac{\min(L,h)}{t_w} \leq 25 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (3.10)$$

4. MODEL BİNA

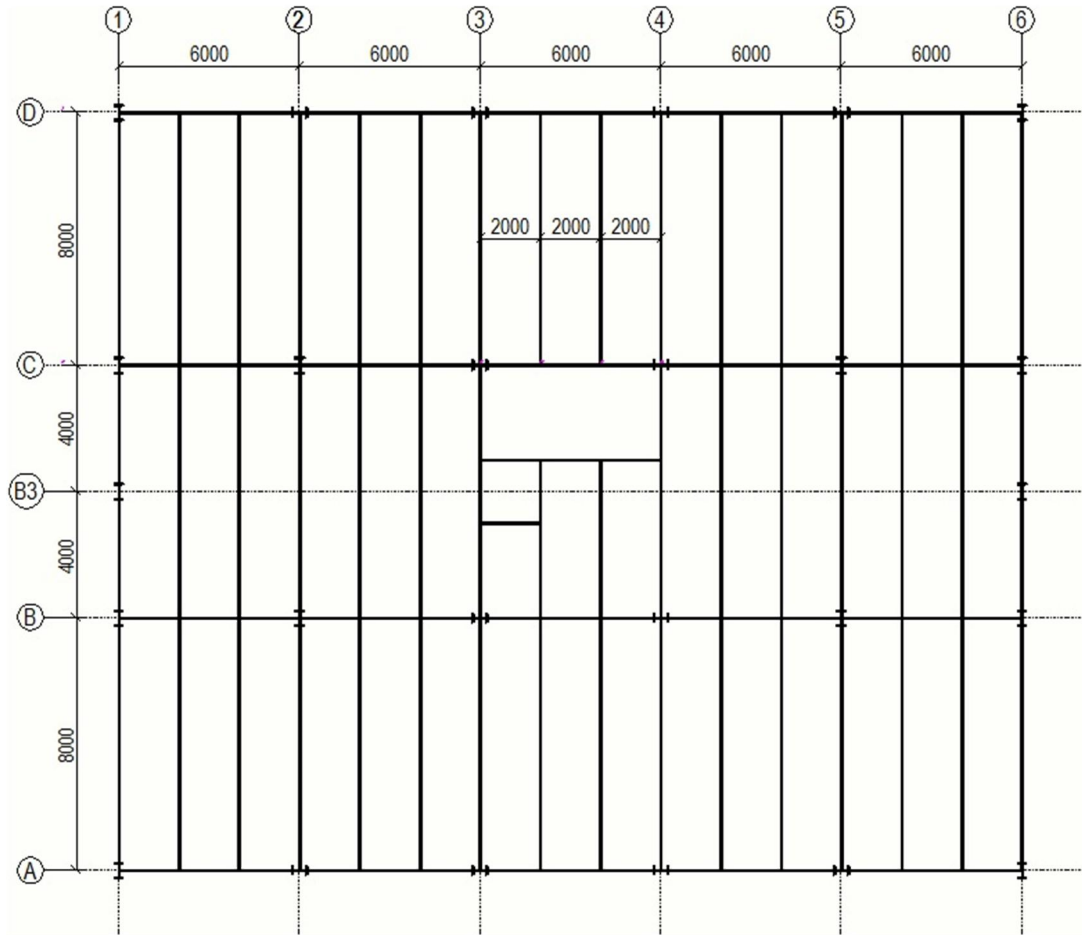
Model bina; Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik Açıklamaları ve Örnekler Kitabı'nda (Aydınoğlu ve diğ. 2009) da kullanılan örnek çelik karkas bina örneğinin değiştirilmiş bir halidir. Yapı, her iki doğrultuda da Afet Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik 1975'e göre tanımlanan; 'donatısız yığma duvarları olan moment aktaran düktil çelik çerçevelerden oluşan' beş katlı çelik bir karkas binadır. İlk kat yüksekliği 4m olup diğer katlar 3m yüksekliğe sahiptir.



Şekil 4.1 : Model Binanın 3 boyutlu genel görünüşü.

Döşeme sistemi; x doğrultusunda 2m aralıklarla oluşturulmuş ikincil ara kirişler üzerine mesnetlenmiş sac profil ve betonarme döşeme sistemden teşkil edilmiş, düzlem içinde rijit bir diyafram oluşturulmuştur.

Yatay taşıyıcı sistemi; x doğrultusunda 6m aralıkla birbirine paralel 6 adet moment aktaran çerçeve, y doğrultusunda da 8m aralıkla moment aktaran 3 adet çerçeveden oluşmaktadır. Taşıyıcı sistem elemanlarından kirişler için IPE ve HEA, kolonlar için HEA ve HEB profilleri kullanılmıştır. S235 sınıfı yapı çeliği kullanılmıştır. TSE 648 Çelik Yapılar Standardına göre S235 yapı çeliğinin akma gerilmesi $F_y=235 \text{ N/mm}^2$, elastisite modülü $E=206182 \text{ N/mm}^2$ 'dir. Binanın tipik kat planı (Şekil 4.2)'de görülmektedir.



Şekil 4.2 : Tipik kat planı.

Bu bölümde; bu model binanın, düşey yükleri, rüzgar yükleri ile ABYBHY 1975'e göre deprem yükleri belirlenip, göz önüne alınacak kombinasyonlara göre kesit kontrolleri yapılacaktır.

4.1 Yükler

4.1.1 Düşey yükler

a) Çatı döşemesi	: çatı kaplaması	: 1.0
kN/m ²		
	: izolasyon	: 0.2
	kN/m ²	
	: trapez sac + betonarme döşeme	: 2.1
	kN/m ²	
	: asma tavan + tesisat	: 0.5
	kN/m ²	
	: çelik konstrüksiyon	: 0.5
	kN/m ²	
		$g = 4.3 \text{ kN/m}^2$
	: hareketli yük	$q = 1.0 \text{ kN/m}^2$
b) Normal kat döşemesi: kaplama		: 0.5
kN/m ²		
	: trapez sac + betonarme döşeme	: 2.1
	kN/m ²	
	: asma tavan + tesisat	: 0.5
	kN/m ²	
	: çelik konstrüksiyon	: 0.8
	kN/m ²	
	: bölme duvarlar	: 1.0
	kN/m ²	
		$g = 4.9 \text{ kN/m}^2$
	: hareketli yük	$q = 2.0 \text{ kN/m}^2$
c) Dış duvar yükü	:	$g_d = 3.0$
kN/m ²		

4.1.2.2 Binanın doğal titreşim periyodu

Binanın her iki deprem doğrultusundaki birinci doğal titreşim periyotlarının hesabı için Rayleigh-Ritz metodundan yararlanılacaktır (4.1). Buna göre;

$$T_1 = 2\pi \left(\frac{\sum_{i=1}^N m_i d_{fi}^2}{\sum_{i=1}^N F_{fi} d_{fi}} \right)^{1/2} \quad (4.1)$$

Bu denklemde, m_i toplam kat kütlelerini göstermektedir ve w_i , g_i , q_i sırasıyla toplam kat ağırlıkları ile katların toplam sabit ve hareketli yükleri olmak üzere,

$$m_i = \frac{w_i}{g} = \frac{1}{g} (g_i + nq_i) \quad (4.2)$$

İfadesi kullanılarak bulunan kat kütlelerine ait değerler tablo (Çizelge 4.1) halinde aşağıda verilmiştir.

Çizelge 4.1 : Kat ağırlıkları ve kütleleri.

Kat	w_i	m_i
Çatı	3312	337.61
4	4284	436.7
3	4284	436.7
2	4284	436.7
1	4284	436.7
Toplam	20448	2084.4

Kat kütle merkezlerine etkitilecek ve kat ağırlıkları ile kat yüksekliklerine bağlı olan F_{fi} fiktif kuvvetlerine ait bağıntı (4.3)

$$F_{fi} = \frac{w_i H_i}{\sum_{j=1}^N w_j H_j} F_0 \quad (4.3)$$

Burada $F_0=1000$ kN luk bir fiktif yük seçilmiş ve bu yük sonucu yapılan analizde elde edilen kat ötelenme değerleri d_{fix} tabloda (Çizelge 4.2) gösterilmiştir. Bu tablodan elde edilen değerler binaya ait doğal titreşim periyodunu verilen denklemde yerine konulduğunda (x) doğrultusundaki birinci doğal titreşim periyoduna ulaşılır.

Çizelge 4.2 : Uygulanan fiktif yük ve kat ötelenmeleri.

Kat	F _i (kN)	d _{fix} (m)	m _i	m _i x d _{fi} ²	F _i x d _{fi}
Çatı	266.8	0.02	337.61	0.2	6.56
4	280.3	0.02	436.7	0.21	6.14
3	215.6	0.02	436.7	0.13	3.77
2	151	0.01	436.7	0.06	1.77
1	86.3	0.01	436.7	0.01	0.48

Buna göre (x) doğrultusundaki birinci doğal titreşim periyodu;

$$T_1 = 2\pi \left(\frac{\sum_{i=1}^N m_i d_{fi}^2}{\sum_{i=1}^N F_i d_{fi}} \right)^{1/2} = 1.15 \text{ s}$$

Olarak hesaplanır ve benzer işlemler (y) doğrultusunda yapıldığında T_{y1}=1.15 s değeri bulunur.

4.1.2.3 Toplam yatay deprem yükü hesabı

Yapı yönetmelikçe tanımlanmış taşıyıcı sistemi düzenli olan bir yapı olması ve yüksekliği 75 m'yi geçmeyen bir bina olmamasından dolayı statik eşdeğer deprem yükü hesabı kullanılacaktır.

Yönetmeliğe göre binaya etkiyecek toplam statik eşdeğer yatay yüklerin toplamı

$$F = C \times W \quad (4.4)$$

ile hesaplanacaktır. (4.4) ifadesindeki C deprem katsayısı aşağıdaki gibi verilmektedir.

$$C = C_o \times K \times S \times I \quad (4.5)$$

Spektrum katsayısı olarak tanımlanan S Denklem (4.6) ile hesaplanarak, deprem katsayısı elde edilir.

$$S = \frac{1}{|0.8 + T - T_o|} = \frac{1}{|0.8 + 1.18 - 0.42|} = 0.64 \quad (4.6)$$

$$C = 0.1 \times 0.8 \times 0.64 \times 1 = 0.0512$$

bulunur. Bulunan bu değerler yönetmelikte verilen formüllerde yerine konursa, toplam eşdeğer statik kuvvet (taban kesme kuvveti);

$$F_x = 0.0512 \times 20448 = 1083.7 \text{ kN}$$

elde edilir. Benzer şekilde yapılan hesaplama (y) doğrultusunda da toplam eşdeğer statik kuvvet;

$$F_y = 0.0512 \times 20448 = 1083.7 \text{ kN}$$

olarak hesap edilir.

4.1.2.4 Katlara etkiyen eşdeğer deprem yüklerinin belirlenmesi

Toplam eşdeğer deprem yükü, binanın kat hizalarından etkiyecek F yatay yükleri yönetmelikte tanımlanan;

$$F_i = (F - F_t) \frac{W_i h_i}{\sum W_i h_i} \quad (4.7)$$

denklemleriyle hesaplanıp uygulanacaktır. Bina yüksekliğinin enine oranı $\frac{H}{D} \leq 3$

olmasından dolayı, binanın en üst noktasına etkitilecek tekil kuvvet F_t ;

$$F_t = 0.004 F \left(\frac{H}{D} \right)^2 = 0 \quad (4.8)$$

alınabilir.

Çizelge 4.3 : Katlara etkiyen eşdeğer deprem yükleri.

Kat	h_i	W_i	$W_i h_i$	$W_i h_i / \sum W_i h_i$	F_{ix}	F_{iy}
Çatı	16	3312	52992	0.2668	289.1	289.1
4	13	4284	55692	0.2804	303.83	303.83
3	10	4284	42840	0.2157	233.71	233.71
2	7	4284	29988	0.151	163.6	163.6
1	4	4284	17136	0.0863	93.48	93.48
Toplam		20448	198648	1	1083.74	1083.74

4.1.3 Rüzgar yükleri

TS498 Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri Standardına göre belirlenmiştir. Buna göre, rüzgar doğrultusuna dik olan yüzeye yayılı olarak etkiyen yük, kat döşemelerine etkiyen statikçe eşdeğer yüklere çevrilecektir.

Bir kat döşemesine etkiyen W_i eşdeğer rüzgar kuvveti

$$W_i = c_f q A_i \quad (4.9)$$

Denklemleri ile hesaplanır. Burada c_f aerodinamik katsayı olup, yükseklik/genişlik oranı 5 i geçmeyen binalarda 1.2'dir. q ise nominal rüzgar basıncıdır ve bina yüksekliğine bağlı olarak;

$$0 < H < 8 \text{ m için} \quad q = 0.5 \text{ kN/m}^2$$

$$8 < H < 20 \text{ m için} \quad q = 0.8 \text{ kN/m}^2$$

Bağıntıları yardımıyla belirlenir.

A_i ise kat döşemesinin rüzgar etkisindeki alanıdır ve rüzgar doğrultusuna dik olan yüzeyin genişliği ile ardışık iki katın yüksekliklerinin ortalamasıdır. Buna göre; binaya x doğrultusunda etkiyen rüzgar kuvvetleri;

$$W_{1x} = 1.2 \times 0.5 \times 24.0 \times \frac{4.0 + 3.0}{2} = 50.4 \text{ kN}$$

$$W_{2x} = 48.96 \text{ kN} \quad W_{3x} = 67.68 \text{ kN} \quad W_{4x} = 69.12 \text{ kN} \quad W_{5x} = 34.56 \text{ kN}$$

Benzer şekilde y doğrultusundaki rüzgar kuvvetleri;

$$W_{1y} = \frac{30}{24} \times W_{1x} = 63 \text{ kN}$$

$$W_{2y} = 61.20 \text{ kN} \quad W_{3y} = 84.60 \text{ kN} \quad W_{4y} = 86.40 \text{ kN} \quad W_{5y} = 43.20 \text{ kN}$$

Olarak bulunmuştur.

4.2 Yük Birleşimleri

Yapı sisteminin düşey ve yatay deprem ile rüzgar kuvvetleri altında analizinde kullanmak amacıyla TS648 Çelik Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları Yönetmeliği ile DBYBHY 2007 göz önüne alınarak kombinasyonlar oluşturulmuştur.

Düşey yük birleşimleri	:	$G+Q$
Düşey yük + Deprem	:	$G+Q\pm EX_1\pm 0.3EY$
		$G+Q\pm EX_2\pm 0.3EY$
		$G+Q\pm EY_1\pm 0.3EX$
		$G+Q\pm EY_2\pm 0.3EX$
		$0.9G \pm EX_1\pm 0.3EY$
		$0.9G \pm EX_2\pm 0.3EY$
		$0.9G \pm EY_1\pm 0.3EX$
		$0.9G \pm EY_2\pm 0.3EX$
Düşey yük + Rüzgar	:	$G+Q\pm WX$
		$G+Q\pm WY$
		$0.9G\pm WX$
		$0.9G\pm WY$

Burada;

G : Sabit yüklerden oluşan iç kuvvetler

Q : Hareketli yüklerden oluşan iç kuvvetler

EX_1, EX_2 : x doğrultusunda kat kütle merkezine bu doğrultuya dik doğrultudaki bina genişliğinin $\pm 5\%$ 'lik kaydırılması ile bulunan noktalardan etkililen deprem yüklerinden oluşan iç kuvvet

EY_1, EY_2 : y doğrultusunda kat kütle merkezine bu doğrultuya dik doğrultudaki bina genişliğinin $\pm 5\%$ 'lik kaydırılması ile bulunan noktalardan etkililen deprem yüklerinden oluşan iç kuvvet

WX, WY : x ve y doğrultularında rüzgar yüklerinden oluşan iç kuvvetler

4.3 Sistem Analizleri

Daha önce tanımlanan ve enkesit profil bilgileri bilinen model binaya ait bilgiler ve yukarıda tanımlanan düşey, rüzgar ve deprem yükleri ile bu yüklerin birleşimleri kullanılarak iç kuvvetleri bulunmuştur.

Sistemin analizlerinde ETABS (ETABS, CSI) bilgisayar programından yararlanılmıştır. Bulunan iç kuvvetlerden yararlanarak kesit kontrolleri yapılacaktır.

4.4 Boyutlandırma Hesapları

4.4.1 Kolon boyut kontrolü

Kontrol hesapları AISC 360-10'a göre yapılacağı için; depremli durumlarda ortaya çıkan en olumsuz kesit kuvvetleri hesap edilirken, hareketli yük ve deprem yükü 0.75 (=1/1.33) katsayısıyla çarpılıp belirlenmiştir. (G+0.75(Q+E) AISC 07-10'da öngörüldüğü gibi G yükünde 0.75 katsayısı kullanılmamıştır.)

Kesitte en olumsuz etkileri oluşturan G+0.75(Q+E) durumu için;

$$\begin{aligned}
 \text{Kesit alt ucunda:} \quad M_{X(G+Q+EX+0.3EY)} &= -197.475 \text{ kNm} \\
 M_{Y(G+Q+EX+0.3EY)} &= -19.11 \text{ kNm} \\
 V_{G+Q+EX+0.3EY} &= -58.922 \text{ kN} \\
 N_{G+Q+EX+0.3EY} &= -1474 \text{ kN} \\
 \text{Kesit üst ucunda:} \quad M_{X(G+Q+EX+0.3EY)} &= 24.55 \text{ kNm} \\
 M_{Y(G+Q+EX+0.3EY)} &= 13.5 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Seçilen kolon (C16) kesiti HEB500 (S235);

$$\begin{aligned}
 I_x &= 107200 \text{ cm}^4 & I_y &= 12620 \text{ cm}^4 & r_x &= 21.17 \text{ cm} & r_y &= 7.266 \text{ cm} \\
 S_x &= 4288 \text{ cm}^3 & S_y &= 841 \text{ cm}^3 & A &= 239 \text{ cm}^2 \\
 b &= 300 \text{ mm} & h &= 500 \text{ mm} & t_w &= 14.5 \text{ mm} & t_f &= 28 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Eksenel basınç kuvvetinin etkisi göz önüne alınarak,

- Başlık için yerel burkulma kontrolü (AISC 360-10 Table B4.1a)

$$\frac{b_f}{t_f} \leq 0.56 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \Rightarrow \frac{300}{28} \leq 0.56 \sqrt{\frac{206200}{235}} \quad (4.10)$$

$$\frac{h}{t_w} \leq 1.49 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \Rightarrow \frac{500}{14.5} \leq 1.49 \sqrt{\frac{206200}{235}} \quad (4.11)$$

Başlık ve gövdenin narin olmadığı görülmektedir.

Eğilme etkisi dikkate alınarak,

- Başlık için yerel burkulma kontrolü (AISC 360-10 Table B4.1b)

$$\frac{b}{t_f} \leq 0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \Rightarrow \frac{300}{28} \leq 0.38 \sqrt{\frac{206200}{235}} \quad (4.12)$$

$$\frac{h}{t_w} \leq 3.76 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \Rightarrow \frac{500}{14.5} \leq 3.76 \sqrt{\frac{206200}{235}} \quad (4.13)$$

Başlık ve gövdenin kompakt olduğu görülmektedir.

Karakteristik eksenel basınç dayanımı (P_n),

Olası sınır durumlar

$$K = \sqrt{\frac{G_A (1.6G_B + 4) + (4G_B + 7.5)}{G_A + G_B + 7.5}} \quad (\text{Yatay ötelenmesi}) \quad (4.14)$$

önlenmemiş sistem)

$$G_{Ax} = \frac{\sum (I_X / L)_{\text{Kolon}}}{\sum (I_X / L)_{\text{Kiriş}}} = 8.81 \quad (4.15)$$

- Eğilmeli burkulma durumu,

$$G_{Bx} = 1.0 \quad \text{için} \quad K_x = 1.874$$

$$G_{Ay} = 1.38 \quad \text{ve} \quad K_y = 1.38 \quad \text{bulunur.}$$

x-x eksenine dik eğilmeli burkulma

$$\frac{K_x L_x}{r_x} \leq 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \Rightarrow \frac{1.874 \times 400}{21.79} \leq 4.71 \sqrt{\frac{206200}{235}} \quad \text{için,} \quad (4.16)$$

$$F_{e,x} = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{K_x L_x}{r_x} \right)^2} = \frac{\pi^2 206200}{(35.4)^2} = 1621 \text{ Nmm}^2 \quad (4.17)$$

$$F_{cr,x} = (0.656^{F_y/F_e}) F_y = (0.656^{235/1621}) 235 = 221 \text{ Nmm}^2 \quad (4.18)$$

$$P_{n,x} = F_{cr,x} A_g = 221 \times 23900 \times 10^{-3} = 5286 \text{ kN} \quad (4.19)$$

$$P_{d,x} = \frac{P_{n,x}}{\Omega} = \frac{5286}{1.67} = 3165 \text{ kN} \quad (4.20)$$

y-y eksenine dik eğilmeli burkulma aynı şekilde

$$\frac{1.39 \times 400}{7.26} \leq 4.71 \sqrt{\frac{206200}{235}} \quad \text{için,}$$

$$F_{e,y} = \frac{\pi^2 206200}{(76.87)^2} = 343 \text{ Nmm}^2$$

$$F_{cr,y} = (0.656^{235/343}) 235 = 176.5 \text{ Nmm}^2$$

$$P_{n,y} = 176.5 \times 23900 \times 10^{-3} = 4219 \text{ kN}$$

$$P_{d,y} = \frac{4219}{1.67} = 2526 \text{ kN}$$

bulunur ve

$$P_d = \min(P_{d,x}; P_{d,y}) = P_{d,y} = 2526 \text{ kN}$$

Karakteristik eğilme dayanımı (x-x etrafında $M_{n,x}$)

Olası sınır durumlar

- Akma sınır durumu

$$M_n = M_p = Z_x F_y = 4815 \times 235 \times 10^{-3} = 1131.53 \text{ kNm} \quad (4.21)$$

- Yanal burulmalı burkulma sınır durumu

$$M_n = C_b \left[M_p - (M_p - 0.75 S_x F_y) \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \leq M_p \quad (4.22)$$

$$L_b = 4000 \text{ mm}$$

$$L_p = 1.76 r_y \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1.76 \times 7.26 \times \sqrt{\frac{206200}{235}} = 3784 \text{ mm} \quad (4.23)$$

$L_b > L_p$ olur

$c=1$ (I profiller için) ve $h_o=h-t_f=500-28=472 \text{ mm}$

$$r_{ts} = \sqrt{\frac{I_y h_o}{2S_x}} = 833 \text{ mm için}$$

$$L_r = 1.95 r_{ts} \frac{E}{0.7F_y} \sqrt{\frac{J_c}{S_x h_o} + \sqrt{\left(\frac{J_c}{S_x h_o}\right)^2 + 6.76 \left(\frac{0.7F_y}{E}\right)^2}} = 15934 \text{ mm} \quad (4.24)$$

$L_r > L_b > L_p$ olduğu için,

$$C_b = \frac{12.5M_{\max}}{2.5M_{\max} + 3M_A + 4M_B + 3M_C} = 1.86 \quad (4.25)$$

$$M_n = 1.86 \left[1131 - (1131 - 0.75 \times 4288 \times 235) \left(\frac{4000 - 3784}{15934 - 3784} \right) \right] \times 10^{-6} = 5239 \text{ kNm} > M_p$$

Olduğu için $M_p = M_n = 1131 \text{ kNm}$

$$M_{d,x} = \frac{M_{n,x}}{\Omega} = \frac{1131}{1.67} = 677 \text{ kNm bulunur} \quad (4.26)$$

Karakteristik eğilme dayanımı (y-y etrafında $M_{n,y}$)

Olası sınır durumlar

- Akma sınır durumu

$$M_n = M_p = 1292 \times 235 \times 10^{-3} = 303.6 \text{ kNm}$$

- Yanal burulmalı burkulma sınır durumu

$$L_b = 4000 \text{ mm}$$

$$L_p = 1.76 \times 21.176 \sqrt{\frac{206200}{235}} = 11041 \text{ mm}$$

$L_p > L_b$ olduğundan yanal burulmalı burkulma oluşmaz ve $M_n = M_p$

$$M_{d,y} = \frac{303.62}{1.67} = 181.8 \text{ kNm} \quad \text{olur}$$

P_a ve M_a 'nın hesabı,

$$M_a = B_1 \times M_{nt} + B_2 \times M_{lt} \quad (4.27)$$

$$P_a = P_{nt} + B_2 \times P_{lt}$$

B_1 'in hesabı;

$$B_{1,x} = \frac{C_{mx}}{1 - \alpha \frac{P_{ax}}{P_{ex}}} \geq 1 \quad (4.28)$$

$$C_{mx} = 0,6 - 0,4 \left| \frac{M_{1,x}}{M_{2,x}} \right| = 0,6 - 0,4 \left| \frac{43,8}{431} \right| = 0,56 \quad (4.29)$$

$$P_{e,1,x} = \frac{\pi^2 EI_x}{(K_x L_x)^2} = \frac{\pi^2 206200 \times 1072000000}{(1,87 \times 4000)^2} = 38762 \text{ kN} \quad (4.30)$$

$$B_{1,x} = \frac{C_{mx}}{1 - \alpha \frac{P_{ax}}{P_{ex}}} = \frac{0,56}{1 - 1,6 \frac{1564}{38762}} = 0,59 \leq 1 \quad B_{1,x} = B_{1,y} = 1,0$$

B_2 'in hesabı;

$$B_{2,x} = \frac{1}{1 - \alpha \frac{P_{story,x}}{P_{e,story,x}}} \geq 1 \quad (4.31)$$

$$P_{story,x} = 74951 \text{ Kn}$$

$$P_{e,story,x} = R_{mx} \frac{H_x L}{\Delta H_x} = 0,85 \frac{1969 \times 4}{0,00706} = 948092 \text{ kN} \quad (4.32)$$

$$B_{2,x} = \frac{1}{1 - \alpha \frac{P_{story,x}}{P_{e,story,x}}} = \frac{1}{1 - 1,6 \frac{74951}{948092}} = 1,1 \geq 1 \quad B_{2,y} = 1,0 \quad (4.33)$$

$$M_{a,x} = 1,0 \times 6,1 + 1,1 \times 196 = 221 \text{ kNm}$$

$$P_a = 1468 + 1,1 \times 6 = 1474 \text{ kN}$$

Güvenli dayanım kontrolü;

$$\frac{P_a}{P_d} = \frac{1474}{2562} = 0.58 > 0.2 \text{ olduğu için,} \quad (4.34)$$

$$\frac{P_a}{P_d} + \frac{8}{9} \left[\frac{M_{a,x}}{M_{d,x}} + \frac{M_{a,y}}{M_{d,y}} \right] = 0.58 + \frac{8}{9} \left[\frac{221}{677.24} + \frac{19.11}{181.8} \right] = 0.93 \leq 1.00 \quad (4.35)$$

Kesit gelen etkiler karşısında yeterlidir.

4.4.2 Ana çerçeve kirişi boyut kontrolü

Kesitte en olumsuz etkileri oluşturan $G+0.75(Q+E)$ durumu için;

$$M_{G+Q+EX+0.3EY} = -129.100 \text{ kNm}$$

$$V_{G+Q+EX+0.3EY} = 106.448 \text{ kN}$$

$$N_{G+Q+EX+0.3EY} = 0 \text{ kN}$$

Mevcut kiriş kesiti (birinci kat-B31) HEA 300 (S235);

$$I_x = 18260 \text{ cm}^4 \quad I_y = 6310 \text{ cm}^4 \quad i_x = 12.7 \text{ cm} \quad i_y = 7.5 \text{ cm}$$

$$W_x = 1259 \text{ cm}^3 \quad W_y = 420 \text{ cm}^3 \quad A = 113 \text{ mm}^2$$

$$b = 300 \text{ mm} \quad h = 290 \text{ mm} \quad t_w = 8.5 \text{ mm} \quad t_f = 14 \text{ mm}$$

Eğilme etkisi dikkate alınarak,

- Başlık için yerel burkulma kontrolü (AISC 360-10 Table B4.1b)

$$\frac{b}{t_f} \leq 0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \Rightarrow \frac{300}{14} \leq 0.38 \sqrt{\frac{206200}{235}} \quad (4.36)$$

$$\frac{h}{t_w} \leq 3.76 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \Rightarrow \frac{290}{8.5} \leq 3.76 \sqrt{\frac{206200}{235}} \quad (4.37)$$

Başlık ve gövdenin kompakt olduğu görülmektedir

Karakteristik eğilme dayanımı (x-x etrafında $M_{n,x}$)

Olası sınır durumlar

- Akma sınır durumu

$$M_n = M_p = Z_x F_y = 6310 \times 235 \times 10^{-3} = 1482 \text{ kNm} \quad (4.38)$$

- Yanal burulmalı burkulma sınır durumu

$$L_b = 6000 \text{ mm}$$

$$L_p = 1.76 r_y \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1.76 \times 7.47 \times \sqrt{\frac{206200}{235}} = 3894 \text{ mm} \quad (4.39)$$

$L_b > L_p$ olur

$$C_b = \frac{12.5 M_{\max}}{2.5 M_{\max} + 3 M_A + 4 M_B + 3 M_C} = 1.658 \quad (4.40)$$

$$M_n = 1.658 \left[1482 - (1482 - 0.75 \times 1259 \times 235) \left(\frac{6000 - 3894}{21304 - 3894} \right) \right] \times 10^{-6} = 2045.46 \text{ kNm} > M_p$$

Olduğu için $M_p = M_n = 1482 \text{ kNm}$

$$M_{d,x} = \frac{M_{n,x}}{\Omega} = \frac{1482}{1.67} = 887.9 \text{ kNm} \text{ bulunur} \quad (4.41)$$

$M_{d,x} = 887.9 \text{ kNm} > M_{a,x} = 129.100 \text{ kNm}$ olduğundan dolayı kesit yeterlidir.

Kesme kontrolü

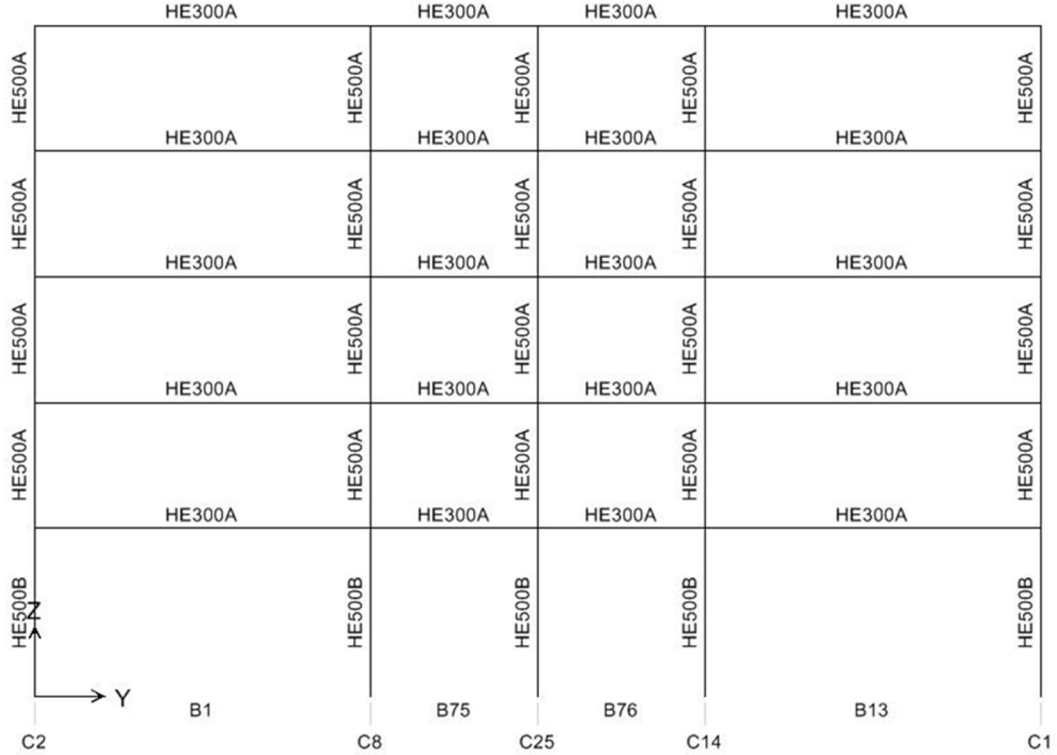
$$V_n = 0.6 F_y A_w = 0.6 \times 235 \times 8.5 \times 290 = 347 \text{ kN} \quad (4.42)$$

$V_n / \Omega > V_a$ olduğundan kesit kesme yönünden yeterlidir.

5. MODEL BİNANIN DBYBHY 2007'YE GÖRE KONTROLÜ

Bu bölümde 1975 Afet Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik'e göre kontrolleri yapılan ve yönetmeliğin koşullarını sağladığı görülen model binanın, günümüzde kullanılan Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmeliğe göre belirlenen koşullar ve etkiler karşısında kontrolü yapılacaktır.

Model bina üzerinde herhangi bir değişiklik yapılmadan kontroller yapılacaktır. Ancak, 1975 ABYBHY'e göre tanımlanan yatay taşıyıcı sistemleri moment aktaran düktıl çerçevelerden oluşan sistem ve birleşim detayları, DBYBHY 2007'ye göre tanımlanan moment aktaran sünekliği yüksek çerçeve gereksinimlerini sağlayamamaktadır. Bu sebeple binanın iki doğrultuda da yatay taşıyıcı sistemi bu yönetmeliğe göre, süneklik düzeyi normal moment aktaran çerçeve olarak kabul edilmiştir.



Şekil 5.1 : Model binanın (y) doğrultusundaki görünüşü.

5.1 Yükler

5.1.1 Düşey yükler

Model binanın DBYBHY 2007'ye göre yapılacak kontrollerinde alınacak düşey yükler önce hesaplanan düşey yüklere eşit değerler alınacaktır.

5.1.2 Deprem yükleri

Model binanın DBYBHY 2007'ye göre yapılacak kontrollerinde ve hesaplamalarda bu yönetmelikte tanımlanan deprem karakteristiklerinden faydalanılacaktır.

Buna göre, model bina yönetmelikte tanımlı birinci deprem bölgesinde ve yerel zemin sınıfı Z2 olan bir binadır. Konut veya işyeri olarak kullanılacaktır. Yatay taşıyıcı sisteminin her iki doğrultuda süneklik düzeyi normal moment aktaran çerçeve sistemi ile teşkil edildiği kabul edilmiştir. Bu bilgilere dayanarak binanın deprem karakteristikleri;

- Etkin yer ivmesi katsayısı (1.derece deprem bölgesi) : $A_0 = 0.40$
- Bina önem katsayısı (konut veya işyeri) : $I = 1.0$
- Spektrum karakteristik periyotları: $T_A=0.15$ s $T_B=0.40$ s (Z2 yerel zemin sınıfı)
- Taşıyıcı sistem davranış katsayısı (deprem yüklerinin tamamının süneklik düzeyi normal çerçevelerle taşındığı çelik binalar) : $R = 5$
- Hareketli yük katılım katsayısı (konut veya işyeri) : $n = 0.30$

5.1.2.1 Düzensizlik kontrolleri

DBYBHY 2007'ye göre düzensizlik kontrolleri yapılacaktır.

Buna göre, binanın tipik kat planında çıkıntılarının bulunmaması, döşeme süreksizliklerinin ve döşeme üzerinde büyük boşlukların olmaması, yatay taşıyıcı sistemin planda düzenli olarak dağılması nedeniyle planda düzensizlik durumu mevcut değildir.

Benzer şekilde, sistemin düşey elemanlarında süreksizliklerin ve ani rijitlik değişimlerinin olmaması ve kat kütlelerinin yapı yüksekliğince değişiklik göstermemesi nedeniyle düşey doğrultuda da düzensizlik durumu mevcut değildir.

5.1.2.2 Binaın doğal titreşim periyodu

Binaın her iki deprem doğrultusundaki birinci doğal titreşim periyotlarının hesabı için DBYBHY 2007’de tanımlanan Rayleigh-Ritz denkleminde (4.1) yararlanılacaktır.

Kat kütlelerine ait değerler (Çizelge 4.1)’de verilen değerlere eşittir.

Kat kütle merkezlerine etkitilecek ve kat ağırlıkları ile kat yüksekliklerine bağlı olan F_{fi} fiktif kuvvetlerine ait bağıntı (4.3) kullanılarak her iki doğrultudaki doğal titreşim periyotlarına ulaşılır.

Buna göre (x) doğrultusundaki birinci doğal titreşim periyodu;

$$T_1 = 2\pi \left(\frac{\sum_{i=1}^N m_i d_{fi}^2}{\sum_{i=1}^N F_{fi} d_{fi}} \right)^{1/2} = 1.15 \text{ s}$$

Olarak hesaplanır ve benzer işlemler (y) doğrultusunda yapıldığında $T_{y1}=1.15 \text{ s}$ değeri bulunur.

5.1.2.3 Toplam eşdeğer deprem yükü hesabı

Yapı DBYBHY 2007’de sınırlandırılan yapı yüksekliği $H_N=16 \text{ m} < 40 \text{ m}$

olması ve taşıyıcı sisteminde burulma ve yumuşak kat düzensizlikleri bulunmaması nedeniyle Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi kullanılacaktır.

Yönetmeliğe göre binaya etkiyecek toplam eşdeğer deprem yükü (5.1) (taban kesme kuvveti);

$$V_t = \frac{WA(T_1)}{R_a(T_1)} \geq 0.10A_0IW \quad (5.1)$$

ile hesaplanacaktır. Burada $A(T_1)$, spektral ivme katsayısı olup ifadesi verilmiştir (5.2).

$$A(T) = A_0IS(T) \quad (5.2)$$

Spektrum katsayısı $S(T)$ doğal zemin koşullarına ve binaın doğal periyodu T ’ye bağlı olarak ifadesi verilmiştir. (5.3)

$T_{lx}=1.15 \text{ s} > 0.4 T_B$ için,

$$S(T) = 2.5 \left(\frac{T_B}{T} \right)^{0.8} = 1.07 \quad (5.3)$$

$$R_a(T) = R = 5$$

bulunur. Bulunan bu değerler yönetmelikte verilen formüllerde yerine konursa, x doğrultusunda toplam taban kesme kuvveti;

$$V_{tx} = 20448 \frac{0.4 \times 1 \times 1.07}{5} = 1757 \text{ kN}$$

elde edilir. Benzer şekilde yapılan hesapla (y) doğrultusunda da toplam eşdeğer statik kuvvet;

$$V_{ty} = 20448 \frac{0.4 \times 1 \times 1.07}{5} = 1757 \text{ kN}$$

olarak hesap edilir.

5.1.2.4 Katlara etkiyen eşdeğer deprem yüklerinin belirlenmesi

Toplam eşdeğer deprem yükü, binanın kat hizalarından etkiyecek F yatay yükleri yönetmelikçe tanımlanan;

$$F_i = (V_t - \Delta F_N) \frac{w_i \times H_i}{\sum_{j=1}^N w_j \times H_j} \quad (5.4)$$

denklemiyle hesaplanıp uygulanacaktır. Binanın tepesine etkiyen eşdeğer deprem yük ΔF_N x ve y doğrultuları için;

$$\Delta F_N = 0.0075 N V_t = 13 \text{ kN} \quad (5.5)$$

alınacaktır. Her iki doğrultuda da bulunan katlara etkiyen kuvvetler F_{ix} ve F_{iy} tabloda verilmiştir. (Çizelge 5.1)

Çizelge 5.1 : Katlara etkiyen eşdeğer deprem yükleri.

Kat	H _i	w _i	w _i H _i	w _i H _i /∑w _i H _i	F _{ix}	F _{iy}
Çatı	16	3312	52992	0.27	510.11	510.11
4	13	4284	55692	0.28	492.58	492.58
3	10	4284	42840	0.22	378.91	378.91
2	7	4284	29988	0.15	265.24	265.24
1	4	4284	17136	0.09	151.56	151.56

5.2 Rüzgar Yükleri

TS498 Yük Standardına göre yapılan hesaplamalar daha önceki bölümde belirlenmiş olan rüzgar yükleri ile aynıdır.

5.3 Yük Birleşimleri

Yapı sisteminin düşey ve yatay deprem ile rüzgar kuvvetleri altında analizinde kullanmak amacıyla TS648 Çelik Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları Yönetmeliği ile DBYBHY 2007 göz önüne alınarak daha önceki bölümde oluşturulan yük kombinasyonları sistemde kullanılmıştır.

5.4 Sistem Analizleri

Daha önce tanımlanan ve enkesit profil bilgileri bilinen model binaya ait bilgiler ve yukarıda tanımlanan düşey, rüzgar ve deprem yükleri ile bu yüklerin birleşimleri kullanılarak iç kuvvetleri bulunmuştur.

Sistemin analizlerinde ETABS (ETABS, CSI) bilgisayar programından yararlanılmıştır. Bulunan iç kuvvetlerden yararlanarak kesit kontrolleri yapılacaktır.

5.4.1 Göreli kat ötelenmelerinin kontrolü

DBYBHY 2007'ye göre herhangi bir kolon için ardışık iki kat arasındaki yatay yer değiştirme farkını ifade eden azaltılmış göreli kat ötelenmesi Δ_i ,

$$\Delta_i = d_i - d_{i-1} \quad (5.6)$$

denklemleri ile hesaplanır. Bu denklemde d_i ve d_{i-1} , her bir deprem doğrultusunda binanın ardışık iki katında herhangi bir kolonun uçlarında meydana gelen en büyük yatay yer değiştirmelerdir. Model binaya ait her bir deprem yüklemesine bulunmuştur. Buna göre yer değiştirmelerin en büyük değeri iki doğrultuda da %5 dışmerkezlilik uygulanan deprem yüklemesinde meydana gelmiştir.

Her bir deprem doğrultusunda binanın i'inci katındaki kolonlar için etkin görelî kat ötelenmesi δ_i ,

$$\delta_i = R\Delta_i \quad (5.7)$$

denklemleri ile hesaplanır.

X ve y doğrultularında %5 dışmerkezlik ile uygulanan deprem yüklemelerine ait analiz sonunda elde edilen yatay deplasman değerleri d_{ix} ve d_{iy} 'e bağılı görelî kat ötelenmesi Δ ile etkin görelî kat ötelenmesi δ değerleri iki doğrultu için de (Çizelge 5.2 ve 5.3)'de verilmiştir. Çizelgelerin (5.2 ve 5.3) son sütununda ise bu değerlerin kat yüksekliğine oranı verilmiştir.

Çizelge 5.2 : (y) doğrultusunda görelî kat ötelenmeleri.

Kat	Yükleme	h	Δ (m)	δ_y	Drift(y)
Çatı	EYNEN	3	0.00623	0.03117	0.01039
4	EYNEN	3	0.00935	0.04673	0.01558
3	EYNEN	3	0.01196	0.05981	0.01994
2	EYNEN	3	0.01275	0.06374	0.02125
1	EYNEN	4	0.01074	0.0537	0.01343

Çizelge 5.3 : (x) doğrultusunda görelî kat ötelenmeleri.

Kat	Yükleme	h	Δ (m)	δ_x	Drift (x)
Çatı	EXNEN	3	0.00549	0.02745	0.00915
4	EXNEN	3	0.00858	0.04289	0.0143
3	EXNEN	3	0.0112	0.056	0.01867
2	EXNEN	3	0.01221	0.06105	0.02035
1	EXNEN	4	0.01072	0.05358	0.0134

Çizelgelerden de görüldüğü gibi δ_i/h oranlarının en büyüğü x ve y doğrultularında

$$(\delta_{ix}/h)_{\max}=0.02035 \quad \text{ve} \quad (\delta_{iy}/h)_{\max}=0.02124$$

olmakta ve DBYBHY 2007'de öngörülen

$$(\delta_i/h_i)_{\max} < 0.02$$

koşulu binanın her iki doğrultusunda da ikinci katta aşılmaktadır. Bu sebeple yönetmelikte de belirtildiği gibi model binanın iki doğrultuda da yanal rijitliği artırılması ve deprem hesabı tekrar yapılması gerekmektedir.

5.5 Boyutlandırma Hesapları

5.5.1 Kolon boyut kontrolü

Kontrol hesapları AISC 360-10'a göre yapılacağı için; depremli durumlarda ortaya çıkan en olumsuz kesit kuvvetleri hesap edilirken, hareketli yük ve deprem yükü 0.75 (=1/1.33) katsayısıyla çarpılıp belirlenmiştir. (G+0.75(Q+E) AISC 07-10'da öngörüldüğü gibi G yükünde 0.75 katsayısı kullanılmamıştır.)

Kesitte en olumsuz etkileri oluşturan G+0.75(Q+E) durumu için;

$$\begin{aligned} \text{Kesit üst ucunda:} \quad M_{X(G+Q+EX+0.3EY)} &= -324.9 \text{ kNm} \\ M_{Y(G+Q+EX+0.3EY)} &= -21.375 \text{ kNm} \\ V_{G+Q+EX+0.3EY} &= -96.132 \text{ kN} \\ N_{G+Q+EX+0.3EY} &= -1453 \text{ kN} \\ \text{Kesit alt ucunda:} \quad M_{X(G+Q+EX+0.3EY)} &= 32.25 \text{ kNm} \\ M_{Y(G+Q+EX+0.3EY)} &= 17.23 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Seçilen kolon (C16) kesiti HEB500 (S235);

$$\begin{aligned} I_x &= 107200 \text{ cm}^4 & I_y &= 12620 \text{ cm}^4 & r_x &= 21.17 \text{ cm} & r_y &= 7.266 \text{ cm} \\ S_x &= 4288 \text{ cm}^3 & S_y &= 841 \text{ cm}^3 & A &= 239 \text{ cm}^2 \\ b &= 300 \text{ mm} & h &= 500 \text{ mm} & t_w &= 14.5 \text{ mm} & t_f &= 28 \text{ mm} \end{aligned}$$

Eksenel basınç kuvvetinin etkisi göz önüne alınarak,

- Başlık için yerel burkulma kontrolü (4.10 ve 4.11)'e göre yapılmıştır ve (AISC 360-10 Table B4.1a) başlık ve gövdenin narin olmadığı görülmektedir.

Eğilme etkisi dikkate alınarak,

- Başlık için yerel burkulma kontrolü (4.12 ve 4.13)'e göre yapılmıştır ve (AISC 360-10 Table B4.1b) başlık ve gövdenin kompakt olduğu görülmektedir.

Süneklik düzeyi normal çerçeve kolonları için Deprem Yönetmeliği Madde 4.4.1 deki enkesit koşulları gereğince; kolonun yerel burkulmasının önlenmesi amacıyla enkesit özelliklerinin Tablo 4.3 teki koşullara uyması gerekmektedir.

$$\frac{b}{2t} < 0.5 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \Rightarrow \frac{300}{2 \times 28} < 0.5 \sqrt{\frac{206200}{235}} \quad (5.8)$$

$$\frac{N_d}{F_y \cdot A_s} > 0.1 \Rightarrow \frac{1564000}{235 \times 23900} > 0.1 \quad (5.9)$$

olduğu için,

$$\frac{h}{t_w} < 2.08 \sqrt{E / F_y} \left[2.1 - \left| \frac{N_d}{F_y A} \right| \right] \Rightarrow \frac{500}{14.5} < 2.08 \sqrt{\frac{206200}{235}} \left[2.1 - \left| \frac{1564000}{235 \times 23900} \right| \right] \quad (5.10)$$

Koşulları sağlanmıştır.

Karakteristik eksenel basınç dayanımı (P_n),

Olası sınır durumlar

- Eğilmeli burkulma durumu,

$$K = \sqrt{\frac{G_A(1.6G_B + 4) + (4G_B + 7.5)}{G_A + G_B + 7.5}} \quad (\text{Yatay ötelenmesi önlenmemiş}) \quad (5.11)$$

sistem)

$$G_{Ax} = \frac{\sum (I_x / L)_{\text{Kolon}}}{\sum (I_x / L)_{\text{Kiriş}}} = 8.81 \quad (5.12)$$

$$G_{Bx} = 1.0 \quad \text{için} \quad K_x = 1.874$$

$$G_{Ay} = 1.38 \quad \text{ve} \quad K_y = 1.38 \quad \text{bulunur.}$$

x-x eksenine dik eğilmeli burkulma

$$\frac{K_x L_x}{r_x} \leq 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \Rightarrow \frac{1.874 \times 400}{21.79} \leq 4.71 \sqrt{\frac{206200}{235}} \quad (5.13)$$

için,

$$F_{e,x} = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{K_x L_x}{r_x} \right)^2} = \frac{\pi^2 206200}{(35.4)^2} = 1621 \text{ Nmm}^2 \quad (5.14)$$

$$F_{cr,x} = \left(0.656^{F_y / F_e} \right) = \left(0.656^{235 / 1621} \right) = 221 \text{ Nmm}^2 \quad (5.15)$$

$$P_{n,x} = F_{cr,x} A_g = 221 \times 23900 \times 10^{-3} = 5286 \text{ kN} \quad (5.16)$$

$$P_{d,x} = \frac{P_{n,x}}{\Omega} = \frac{5286}{1.67} = 3165 \text{ kN} \quad (5.17)$$

y-y eksenine dik eğilmeli burkulma aynı şekilde

$$\frac{1.39 \times 400}{7.26} \leq 4.71 \sqrt{\frac{206200}{235}} \quad \text{için,}$$

$$F_{e,y} = \frac{\pi^2 206200}{(76.87)^2} = 343 \text{ Nmm}^2 \quad F_{cr,y} = (0.656^{235/343}) = 176.5 \text{ Nmm}^2$$

$$P_{n,y} = 176.5 \times 23900 \times 10^{-3} = 4219 \text{ kN} \quad P_{d,y} = \frac{4219}{1.67} = 2526 \text{ kN}$$

bulunur ve

$$P_d = \min(P_{d,x}; P_{d,y}) = P_{d,y} = 2526 \text{ kN}$$

Karakteristik eğilme dayanımı (x-x etrafında $M_{n,x}$)

Olası sınır durumlar

- Akma sınır durumu

$$M_n = M_p = Z_x F_y = 4815 \times 235 \times 10^{-3} = 1131.53 \text{ kNm} \quad (5.18)$$

- Yanal burulmalı burkulma sınır durumu

$$M_n = C_b \left[M_p - (M_p - 0.75 S_x F_y) \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \leq M_p \quad (5.19)$$

$$L_b = 4000 \text{ mm}$$

$$L_p = 1.76 r_y \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1.76 \times 7.26 \times \sqrt{\frac{206200}{235}} = 3784 \text{ mm} \quad (5.20)$$

$$L_b > L_p \text{ olur}$$

$$c=1 \text{ (I profiller için) ve } h_o = h - t_f = 500 - 28 = 472 \text{ mm}$$

$$r_{ts} = \sqrt{\frac{I_y h_o}{2S_x}} = 833 \text{ mm için}$$

$$L_r = 1.95 r_{ts} \frac{E}{0.7F_y} \sqrt{\frac{J_c}{S_x h_o} + \sqrt{\left(\frac{J_c}{S_x h_o}\right)^2 + 6.76 \left(\frac{0.7F_y}{E}\right)^2}} = 15934 \text{ mm} \quad (5.21)$$

$L_r > L_b > L_p$ olduğu için,

$$C_b = \frac{12.5 M_{\max}}{2.5 M_{\max} + 3 M_A + 4 M_B + 3 M_C} = 1.86 \quad (5.22)$$

$$M_n = 1.86 \left[1131 - (1131 - 0.75 \times 4288 \times 235) \left(\frac{4000 - 3784}{15934 - 3784} \right) \right] \times 10^{-6} = 5239 \text{ kNm} > M_p$$

Olduğu için $M_p = M_n = 1131 \text{ kNm}$

$$M_{d,x} = \frac{M_{n,x}}{\Omega} = \frac{1131}{1.67} = 677 \text{ kNm bulunur} \quad (5.23)$$

Karakteristik eğilme dayanımı (y-y etrafında $M_{n,y}$)

Olası sınır durumlar

- Akma sınır durumu

$$M_n = M_p = 1292 \times 235 \times 10^{-3} = 303.6 \text{ kNm}$$

- Yanal burulmalı burkulma sınır durumu

$$L_b = 4000 \text{ mm}$$

$$L_p = 1.76 \times 21.176 \sqrt{\frac{206200}{235}} = 11041 \text{ mm}$$

$L_p > L_b$ olduğundan yanal burulmalı burkulma oluşmaz ve $M_n = M_p$

$$M_{d,y} = \frac{303.62}{1.67} = 181.8 \text{ kNm olur}$$

P_a ve M_a 'nın hesabı,

$$M_a = B_1 \times M_{nt} + B_2 \times M_{lt} \quad (5.24)$$

$$P_a = P_{nt} + B_2 \times P_{lt}$$

B₁'in hesabı;

$$B_{1,x} = \frac{C_{mx}}{1 - \alpha \frac{P_{ax}}{P_{ex}}} \geq 1 \quad (5.25)$$

$$C_{mx} = 0,6 - 0,4 \left| \frac{M_{1,x}}{M_{2,x}} \right| = 0,6 - 0,4 \left| \frac{43,8}{431} \right| = 0,56 \quad (5.26)$$

$$P_{e,1,x} = \frac{\pi^2 EI_x}{(K_x L_x)^2} = \frac{\pi^2 206200 \times 1072000000}{(1,87 \times 4000)^2} = 38762 \text{ kN} \quad (5.27)$$

$$B_{1,x} = \frac{C_{mx}}{1 - \alpha \frac{P_{ax}}{P_{ex}}} = \frac{0,56}{1 - 1,6 \frac{1564}{38762}} = 0,59 \leq 1 \quad B_{1,x} = B_{1,y} = 1,0$$

B₂'in hesabı;

$$B_{2,x} = \frac{1}{1 - \alpha \frac{P_{story,x}}{P_{e,story,x}}} \geq 1 \quad (5.28)$$

$$P_{story,x} = 74951 \text{ Kn}$$

$$P_{e,story,x} = R_{mx} \frac{H_x L}{\Delta H_x} = 0,85 \frac{3000 \times 4}{0,01} = 1020234 \text{ kN} \quad (5.29)$$

$$B_{2,x} = \frac{1}{1 - \alpha \frac{P_{story,x}}{P_{e,story,x}}} = \frac{1}{1 - 1,6 \frac{74951}{1020234}} = 1,1 \geq 1 \quad B_{2,y} = 1,0 \quad (5.30)$$

$$M_{a,x} = 1,0 \times 6,1 + 1,1 \times 318 = 355,9 \text{ kNm}$$

$$P_a = 1446 + 1,1 \times 6 = 1453 \text{ kN}$$

Güvenli dayanım kontrolü;

$$\frac{P_a}{P_d} = \frac{1453}{2562} = 0.57 > 0.2 \text{ olduğu için,} \quad (5.31)$$

$$\frac{P_a}{P_d} + \frac{8}{9} \left[\frac{M_{a,x}}{M_{d,x}} + \frac{M_{a,y}}{M_{d,y}} \right] = 0.57 + \frac{8}{9} \left[\frac{324}{677.24} + \frac{21.75}{181.8} \right] = 1.1 > 1 \quad (5.32)$$

Kesit gelen etkiler karşısında yetersizdir.

5.5.2 Ana çerçeve kirişi boyut kontrolü

Kesitte en olumsuz etkileri oluşturan $G+0.75(Q+E)$ durumu için;

$$M_{G+Q+EX+0.3EY} = -161.130 \text{ kNm}$$

$$V_{G+Q+EX+0.3EY} = 122.053 \text{ kN}$$

$$N_{G+Q+EX+0.3EY} = 0 \text{ kN}$$

Mevcut kiriş kesiti (birinci kat-B31) HEA 300 (S235);

$$I_x = 18260 \text{ cm}^4 \quad I_y = 6310 \text{ cm}^4 \quad i_x = 12.7 \text{ cm} \quad i_y = 7.5 \text{ cm}$$

$$W_x = 1259 \text{ cm}^3 \quad W_y = 420 \text{ cm}^3 \quad A = 113 \text{ mm}^2$$

$$b = 300 \text{ mm} \quad h = 290 \text{ mm} \quad t_w = 8.5 \text{ mm} \quad t_f = 14 \text{ mm}$$

Eğilme etkisi dikkate alınarak,

- Başlık için yerel burkulma kontrolü (AISC 360-10 Table B4.1b)

$$\frac{b}{t_f} \leq 0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \Rightarrow \frac{300}{14} \leq 0.38 \sqrt{\frac{206200}{235}} \quad (5.33)$$

$$\frac{h}{t_w} \leq 3.76 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \Rightarrow \frac{290}{8.5} \leq 3.76 \sqrt{\frac{206200}{235}} \quad (5.34)$$

Başlık ve gövdenin kompakt olduğu görülmektedir

Süneklik düzeyi normal çerçeve kirişleri için Deprem Yönetmeliği Madde 4.4.1 deki enkesit koşulları gereğince; kiriş ve kolonun yerel burkulmasının önlenmesi amacıyla enkesit özelliklerinin Tablo 4.3 teki koşullara uyması gerekmektedir.

$$\frac{b}{2t} < 0.5 \sqrt{E_s / F_y} \Rightarrow \frac{300}{2 \times 14} < 0.5 \sqrt{206200 / 235} \quad (5.35)$$

$$\frac{h}{t_w} < 5.0 \sqrt{E_s / F_y} \Rightarrow \frac{290}{8.5} < 5.0 \sqrt{\frac{206200}{235}} \quad (5.36)$$

Koşulları sağlanır.

Karakteristik eğilme dayanımı (x-x etrafında $M_{n,x}$)

Olası sınır durumlar

- Akma sınır durumu

$$M_n = M_p = Z_x F_y = 6310 \times 235 \times 10^{-3} = 1482 \text{ kNm} \quad (5.37)$$

- Yanal burulmalı burkulma sınır durumu

$$L_b = 6000 \text{ mm}$$

$$L_p = 1.76 r_y \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1.76 \times 7.47 \times \sqrt{\frac{206200}{235}} = 3894 \text{ mm} \quad (5.38)$$

$$L_b > L_p \text{ olur}$$

$$C_b = \frac{12.5 M_{\max}}{2.5 M_{\max} + 3 M_A + 4 M_B + 3 M_C} = 1.658 \quad (5.39)$$

$$M_n = 1.658 \left[1482 - (1482 - 0.75 \times 1259 \times 235) \left(\frac{6000 - 3894}{21304 - 3894} \right) \right] \times 10^{-6} = 2045.46 \text{ kNm} > M_p$$

Olduğu için $M_p = M_n = 1482 \text{ kNm}$

$$M_{d,x} = \frac{M_{n,x}}{\Omega} = \frac{1482}{1.67} = 887.9 \text{ kNm} \text{ bulunur} \quad (5.40)$$

$M_{d,x} = 887.9 \text{ kNm} > M_{a,x} = 161 \text{ kNm}$ olduğundan dolayı kesit yeterlidir.

Kesme kontrolü

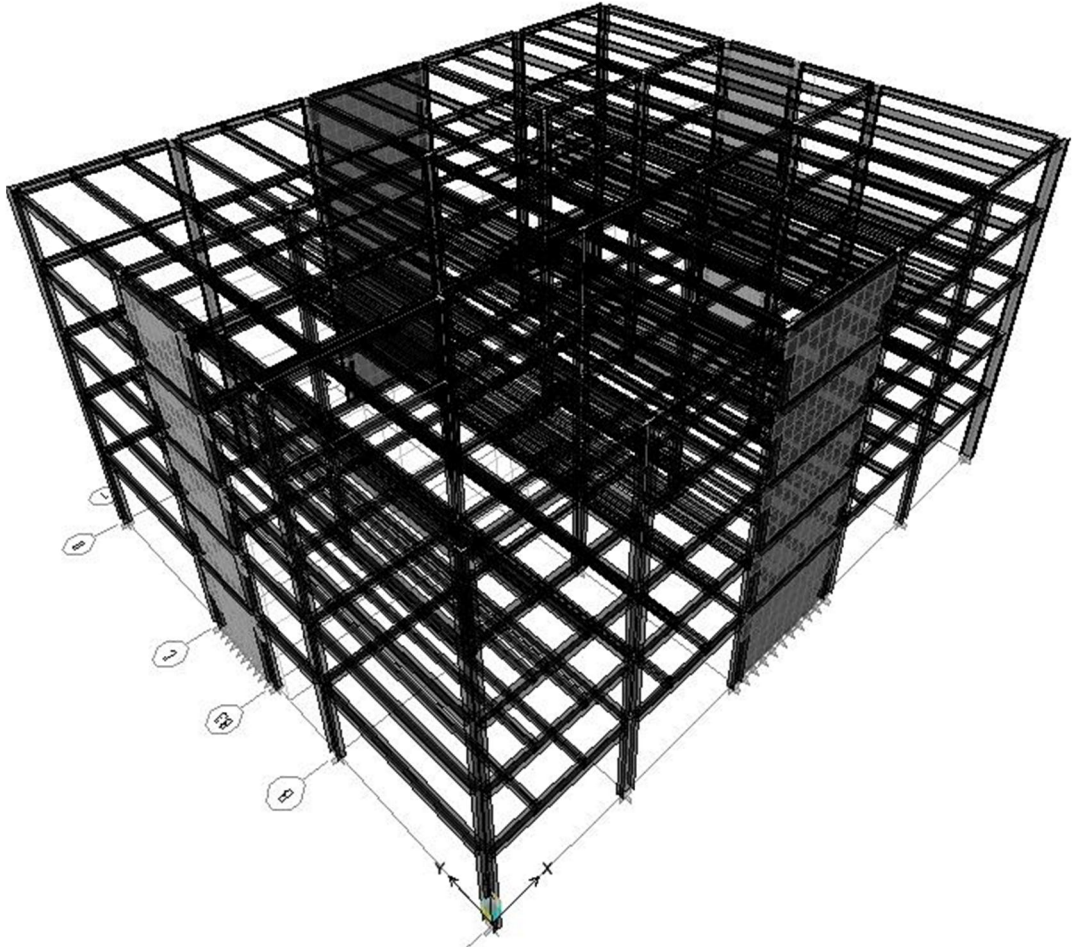
$$V_n = 0.6 F_y A_w = 0.6 \times 235 \times 8.5 \times 290 = 347 \text{ kN} \quad (5.41)$$

$V_n / \Omega > V_a$ olduğundan kesit kesme yönünden yeterlidir.

6. ÇELİK LEVHALI PERDELİ MODEL BİNA

DBYBHY 2007'ye göre kontrolleri sonucunda, her iki deprem doğrultusunda görelî kat ötelenmeleri ile belirli akslardaki alt kat kolonlarının taşıma kapasitelerini aştığı görülmüştür. Bu sebeple binanın her iki doğrultuda güçlendirilmesi gerekmektedir. Bu amaçlarla binanın belirli akslarında yapı yüksekliği boyunca çelik levhalı perde kullanılması karar verilmiştir.

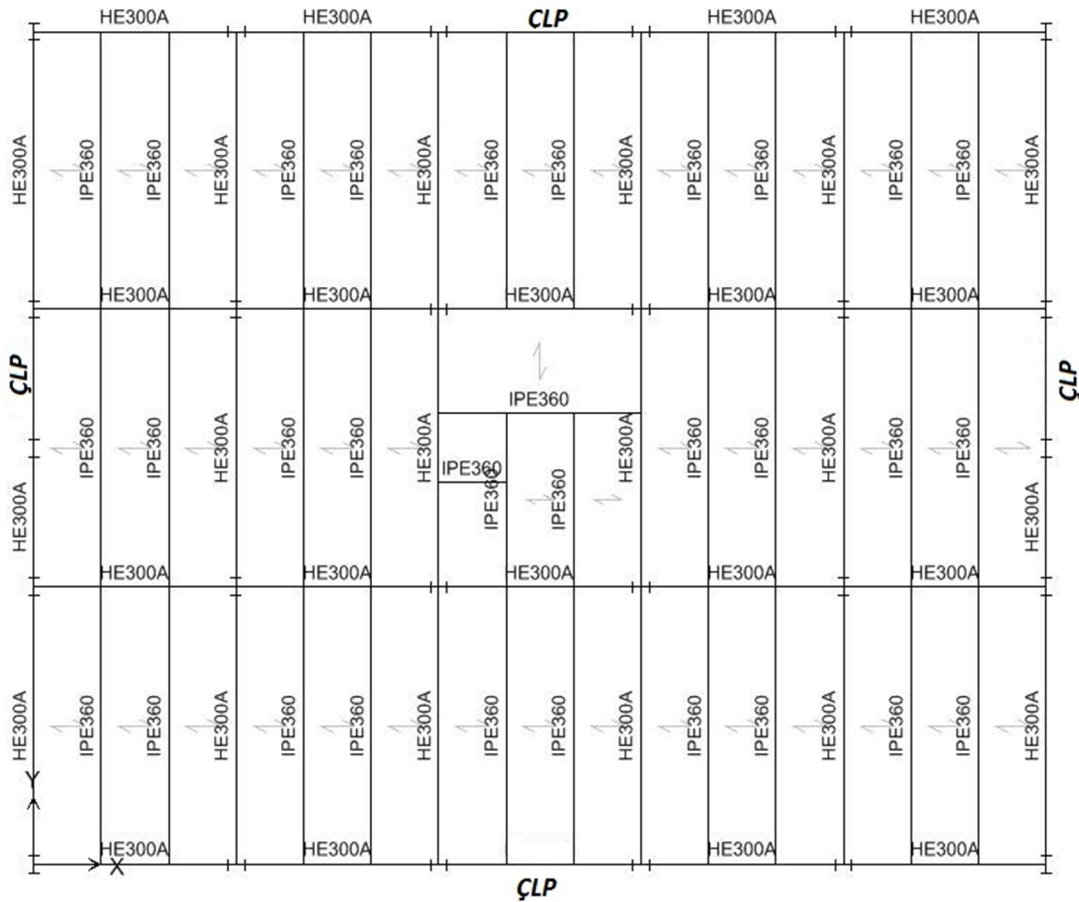
Bu bölümde binanın değişen davranışına uygun deprem yüklerinin bulunup binaya uygulanması ve AISC Steel Design Guide 20'den (Bruneu ve Sabelli, 2005) yararlanarak çelik levhalı perdelerin boyutlandırılması yapılacaktır.



Şekil 6.1 : Plakalar eklenmiş binanın genel görünüşü.

Model binanın dış akslarına 4 açıklıkta simetrik olarak çelik levhaların eklenmesine karar verilmiştir. Tipik kat planı verilen model binanın, A ve D aksı üzerinde 3-4 aksları arasında, 1 ve 6 aksları üzerinde ise C-B3 akslar arasına bina yüksekliğince levhalar eklenecektir. (Levhalar kat planında ÇLP olarak gösterilmiştir)

Binada çelik levhalı perdelerin kullanımından sonra taşıyıcı sistemin davranışı DBYBHY 2007’de tanımlanan süneklik düzeyi normal ve deprem yüklerinin çerçevelerle birlikte merkezi çelik çaprazlı sistem davranışına benzer olacağı varsayımı ile R katsayısı 5 olarak kabul edilmiştir.



Şekil 6.2 : Çelik levhaların planda yerleşimi.

6.1 Yükler

6.1.1 Düşey yükler

Model binanın DBYBHY 2007’ye göre yapılacak kontrollerinde alınacak düşey yükler önce hesaplanan düşey yüklere eşit değerler alınacaktır.

6.1.2 Deprem yükleri

Model binanın DBYBHY 2007'ye göre yapılacak kontrollerinde ve hesaplamalarda bu yönetmelikte tanımlanan deprem karakteristiklerinden faydalanılacaktır.

Buna göre, model bina yönetmelikte tanımlı birinci deprem bölgesine ve yerel zemin sınıfı Z2 olan bir binadır. Konut veya işyeri olarak kullanılacaktır. Yatay taşıyıcı sisteminin her iki doğrultuda süneklik düzeyi normal moment aktaran çerçeveler ve merkezi çelik çaprazlı sisteme eşdeğer kabul edilen çelik levhalı perdelerden teşkil edilmiştir.. Bu bilgilere dayanarak binanın deprem karakteristikleri;

- Etkin yer ivmesi katsayısı (1.derece deprem bölgesi) : $A_0 = 0.40$
- Bina önem katsayısı (konut veya işyeri) : $I = 1.0$
- Spektrum karakteristik periyotları: $T_A=0.15$ s $T_B=0.40$ s (Z2 yerel zemin sınıfı)
- Taşıyıcı sistem davranış katsayısı (deprem yüklerinin tamamının süneklik düzeyi normal çerçeveler ve merkezi çelik çaprazlarla taşındığı çelik binalar) : $R = 5$
- Hareketli yük katılım katsayısı (konut veya işyeri) : $n = 0.30$

6.1.2.1 Düzensizlik kontrolleri

Bölüm 5.2.2.1'de kontrol edildiği gibi binada düzensizlikler mevcut değildir.

6.1.2.2 Binanın doğal titreşim periyodu

Binanın her iki deprem doğrultusundaki birinci doğal titreşim periyotlarının hesabı için DBYBHY 2007'de de tanımlanan Rayleigh-Ritz denkleminde (4.1) yararlanılacaktır.

Kat kütlelerine ait değerler (Çizelge 2.1)'de verilen değerlere eşittir.

Kat kütle merkezlerine etkitilecek ve kat ağırlıkları ile kat yüksekliklerine bağlı olan F_{fi} fiktif kuvvetlerine ait bağıntı kullanılacaktır. (4.3)

Burada $F_0=1000$ kN luk bir fiktif yük seçilmiş ve bu yük sonucu önboyutlandırma yapılarak oluşturulan modelde yapılan analizde elde edilen kat ötelenme değerleri d_{fix} tabloda (Çizelge 4.1) gösterilmiştir. Bu tablodan elde edilen değerler binaya ait doğal

titreşim periyodunu verilen denklemde yerine konulduğunda (x) doğrultusundaki birinci doğal titreşim periyoduna ulaşılır.

Çizelge 6.1 : Uygulanan fiktif yük ve kat ötelenmeleri.

Kat	F_i (kN)	d_{fix} (m)	m_i	$m_i \times d_{fi}^2$	$F_i \times d_{fi}$
Çatı	266.8	0.0078	337.61	0.02	2.08
4	280.3	0.0067	436.7	0.02	1.88
3	215.6	0.0052	436.7	0.01	1.12
2	151	0.0036	436.7	0.01	0.54
1	86.3	0.0018	436.7	0	0.16

Buna göre (x) doğrultusundaki birinci doğal titreşim periyodu;

$$T_{x1} = 2\pi \left(\frac{\sum_{i=1}^N m_i d_{fi}^2}{\sum_{i=1}^N F_i d_{fi}} \right)^{1/2} = 0.63 \text{ s}$$

olarak hesaplanır ve benzer işlemler (y) doğrultusunda yapıldığında $T_{y1}=0.66 \text{ s}$ değeri bulunur.

6.1.2.3 Toplam eşdeğer deprem yükü hesabı

Yapı DBYBHY 2007’de sınırlandırılan yapı yüksekliği $H_N=16 \text{ m} < 40 \text{ m}$

olması ve taşıyıcı sisteminde burulma ve yumuşak kat düzensizlikleri bulunmaması nedeniyle Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi kullanılacaktır.

Yönetmeliğe göre binaya etkiyecek toplam eşdeğer deprem yükü için (taban kesme kuvveti) **(5.1)** denklemi kullanılarak hesaplanacaktır.

Spektrum katsayısı $S(T)$ **(5.3)** doğal zemin koşullarına ve binanın doğal periyodu T ’ye bağlı olarak;

$T_{1x}=0.63 \text{ s} > 0.4 T_B$ için,

$$S(T) = 2.5 \left(\frac{T_B}{T} \right)^{0.8} = 1.81 \text{ ve } R_a(T) = R = 5$$

bulunur. Bulunan bu değerler yönetmelikte verilen formüllerde yerine konursa, x doğrultusunda toplam taban kesme kuvveti;

$$V_{tx} = 20448 \frac{0.4 \times 1 \times 1.81}{5} = 2956.7 \text{ kN}$$

elde edilir. Benzer şekilde yapılan hesapla (y) doğrultusunda da toplam eşdeğer statik kuvvet;

$$V_{ty} = 20448 \frac{0.4 \times 1 \times 1.81}{5} = 2956.7 \text{ kN}$$

olarak hesap edilir.

6.1.2.4 Katlara etkiyen eşdeğer deprem yüklerinin belirlenmesi

Toplam eşdeğer deprem yükü, binanın kat hizalarından etkiyecek F yatay yükleri yönetmelikçe tanımlanan (5.4) denklemiyle belirlenmiştir.

Binanın tepesine etkiyen eşdeğer deprem yük ΔF_N x ve y doğrultuları için

$$\Delta F_N = 0.0075 N V_t = 22 \text{ kN}$$

hesaplanmıştır. Her iki doğrultuda da bulunan katlara etkiyen kuvvetler çizelgede verilmiştir. (Çizelge 6.2)

Çizelge 6.2 : Katlara etkiyen eşdeğer deprem kuvvetleri.

Kat	H _i	w _i	w _i H _i	w _i H _i /Σw _i H _i	F _{ix}	F _{iy}
Çatı	16	3312	52992	0.27	830.15	830.15
4	13	4284	55692	0.28	828.93	828.93
3	10	4284	42840	0.22	637.64	637.64
2	7	4284	29988	0.15	446.35	446.35
1	4	4284	17136	0.09	255.05	255.05

6.2 Çelik Levha Boyutlandırması

Her iki doğrultuda da katlara gelen kesme kuvvetlerinin belirlenmesiyle birlikte çelik levhaların boyutlandırılması yapılabilir. Başlangıçta bütün yatay deprem kuvvetlerinin levhalarca karşılanacağı kabul edilmiştir. Her bir çelik levha üzerine gelen kesme kuvvetleri çizelgede verilmiştir. (Çizelge 6.3)

Çizelge 6.3 : Her bir levha üzerine gelen kat kesme kuvvetleri.

Kat	Kat Yüğü (kN)	Kat Kesme (kN)
1	127.53	1499.06
2	223.17	1371.53
3	318.82	1148.36
4	414.46	829.54
5	415.08	415.08

Buna göre plaka kalınlıkları ve çekme alanının eğim açısı AISC 341’de verilen denklemlerle bulunabilir. (6.1 ve 6.2)

$$t_w \geq \frac{\Omega V_a}{0.42 F_y L_{cf} \sin(2\alpha)} \quad (6.1)$$

$$\tan \alpha = \sqrt[4]{\frac{1 + \frac{tL}{2A_c}}{1 + \frac{1}{A_b} + \frac{h^3}{360I_c L}}} \quad (6.2)$$

Başlangıçta çekme eğim açısı bilinmediğinden dolayı daha önce yapılmış çalışmalar temel alınarak $\alpha=45^0$ kabulü yapıp önboyutlandırma yapılabilir. Her bir açıklık için L_{cf} değerleri kullanılarak plaka kalınlıklarının önboyutları x doğrultusundaki perdeler için çizelgede verilmiştir. (Çizelge 6.4)

Çizelge 6.4 : (x) doğrultusundaki levhaların önboyutlandırılması.

Kat	V(kN)	F_y	$L_{cf}(m)$	α	$t_w(mm)$
1	1499.06	312.55	5.5	45	3.47
2	1371.53	312.55	5.5	45	3.17
3	1148.36	312.55	5.5	45	2.66
4	829.54	312.55	5.5	45	1.92
5	415.08	312.55	5.5	45	0.96

Eğim açısını veren ifade ile plaka kalınlığını veren ifadelerin birbirleriyle olan ilişkisinden dolayı nihai plaka kalınlığı ve eğim açısını bulabilmek için belirli sayıda iterasyon yapılması gerekmektedir.

Her bir iterasyon adımı aşağıdaki gibi özetlenebilir;

- Çelik plaka kalınlığının dayanımını, plaka üzerine gelen yüke karşı kontrol et
- Plaka boyutlarındaki değişikliklere göre eğim açısı α 'yı tekrar hesapla

Yapılan iterasyonlar sonunda elde edilen nihai plaka boyutları her iki doğrultudaki plakalar için; gerekli yük, dizayn yükü, eğim açısı ile talep-kapasite oranları çizelgelerde verilmiştir. (Çizelge 6.5 ve 6.6)

Çizelge 6.5 : (x) doğrultusundaki levha boyutlandırması.

Kat	Plaka Kalınlığı (m)	Gerekli Kesme Dayanımı V_u (kN)	Tasarım Kesme Dayanımı V_n (kN)	Talep-Kapasite Oranı	Çekme Açısı
1	0.004	1499.06	1715.01	0.87	41.33
2	0.004	1371.53	1723.44	0.8	42.66
3	0.003	1148.36	1293.8	0.89	43.01
4	0.002	829.54	863.4	0.96	43.48
5	0.002	415.08	863.4	0.48	43.48

Çizelge 6.6 : (y) doğrultusundaki levha boyutlandırması.

Kat	Plaka Kalınlığı (m)	Gerekli Kesme Dayanımı V_u (kN)	Tasarım Kesme Dayanımı V_n (kN)	Talep-Kapasite Oranı	Çekme Açısı
1	0.005	1499.06	1349.78	1.11	39.46
2	0.004	1371.53	1091.85	1.26	41.43
3	0.004	1148.36	1091.85	1.05	41.43
4	0.003	829.54	820.75	1.01	41.99
5	0.002	415.08	548.45	0.76	42.71

Plaka boyutlarının belirlenmesinin ardından çelik levhalı perdeyi oluşturan çerçeve kolonlarında rijitlik kontrollerinin yapılması gerekmektedir. Çelik levhaların yeterli çekme alanını oluşturabilmesi için çerçeve elemanlarının AISC 341’de belirtilen sınırlamayı aşmayacak bir eğilme rijitliğine sahip olmalıdır. Bu ifade aşağıda verilmiştir. **(6.3)**

$$I_c \geq \frac{0.00307 t_w h^4}{L} \quad (6.3)$$

Bu ifadeye göre, açıklık ve levha boyutları kullanılarak her iki doğrultuda bina yüksekliğince yapılan kontroller aşağıdaki çizelgelerde verilmiştir. (Çizelge 6.7 ve 6.8)

Çizelge 6.7 : (x) doğrultusunda çerçeve kolon atalet momenti kontrolü.

Kat	Plaka Kalınlığı (m)	Panel Boyutları		Gerekli Kolon Atalet Momenti (m ⁴)	Kolon Atalet Momenti (m ⁴)
		h (m)	L (m)		
1. Kat	0.004	4	6	0.000523947	0.00172
2. Kat	0.004	3	6	0.00016578	0.0008697
3. Kat	0.003	3	6	0.000124335	0.0008697
4. Kat	0.002	3	6	0.00008289	0.0008697
5. Kat	0.002	3	6	0.00008289	0.0008697

Çizelge 6.8 : (y) doğrultusunda çerçeve kolon atalet momenti kontrolü.

Kat	Plaka Kalınlığı (m)	Panel Boyutları		Gerekli Kolon Atalet Momenti (m ⁴)	Kolon Atalet Momenti (m ⁴)
		h (m)	L (m)		
1. Kat	0.005	4	4	0.0009824	0.00172
2. Kat	0.004	3	4	0.00024867	0.0008697
3. Kat	0.004	3	4	0.00024867	0.0008697
4. Kat	0.003	3	4	0.000186503	0.0008697
5. Kat	0.002	3	4	0.000124335	0.0008697

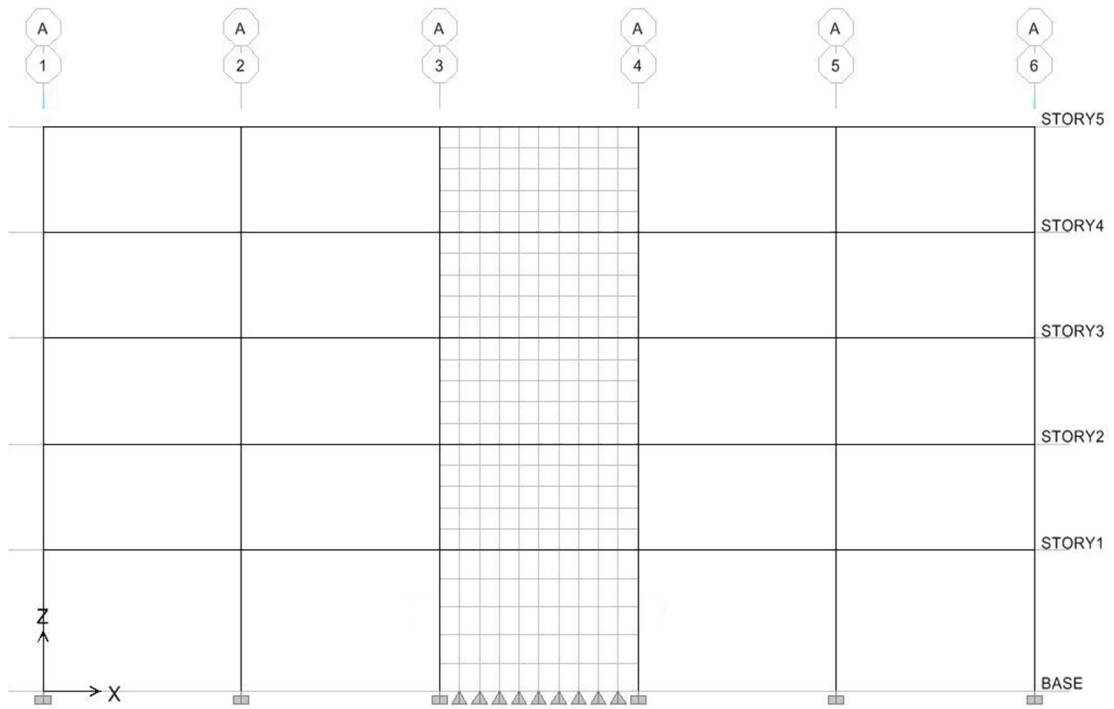
Tablolardan görüldüğü gibi her iki doğrultuda ve her bir katta mevcut kolonlar (HEA500-HEB500) gerekli rijitliği sağlamaktadır.

6.3 Rüzgar Yükleri

TS498 Yük Standardına göre yapılan hesaplamalarda daha önceki bölümde belirlenmiş olan rüzgar yükleri aynen etkilmiştir.

6.4 Yük Birleşimleri

Yapı sisteminin düşey ve yatay deprem ile rüzgar kuvvetleri altında analizinde kullanmak amacıyla TS648 Çelik Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları Yönetmeliği ile DBYBHY 2007 göz önüne alınarak daha önceki bölümde oluşturulan yük kombinasyonları sistemde kullanılmıştır.



Şekil 6.3 : (x) doğrultusunda levhalar eklenmiş modelin görünüşü.

6.5 Sistem Analizleri

6.5.1 Analitik model

Daha önceki bölümlerde ETABS programından faydalanılarak oluşturulan analitik modele çelik levhali perdeler uygun şekilde eklenerek analizler tekrarlanacaktır. Çelik levhali perdeler model binaya AISC Steel Design Guide 20'den (Bruneu ve Sabelli, 2005) yararlanılarak ve membran elemanlar kullanılarak uygulanacaktır.

Buna göre, öncelikle ortotropik membran elemanlar ETABS'da 'Define:Wall/Slab/Deck Sections' menüsünden tanımlanmıştır. Oluşturulan Wall Section'ın malzemesi S235 sınıfı çelik, tipi ise 'Membrane' olarak seçilmiştir. Belirlenmiş plaka kalınlıkları girildikten sonra levhanın davranışını yansıtabilmek için çelik levhanın basınç almadığı göz önüne alınarak, ortogonal doğrultudaki eleman rijitliği sıfır veya önemsiz bir değer alınmalıdır. Ayrıca membran elemanların kesme rijitliğinin de sıfır olarak kabul edilmesi gerektiği önerilmektedir (Bruneu ve Sabelli, 2005). Bu sebeplerle 'Set Modifiers' menüsü kullanılarak şekilde (Şekil 6.4) verilen katsayılar girilmiştir.

Analysis Stiffness Modification Factors	
Stiffness Modifiers	
Membrane f11 Modifier	1
Membrane f22 Modifier	0
Membrane f12 Modifier	0.0000001
Bending m11 Modifier	0.0000001
Bending m22 Modifier	0.0000001
Bending m12 Modifier	0.0000001
Shear v13 Modifier	1
Shear v23 Modifier	1
Mass Modifier	1
Weight Modifier	1
OK Cancel	

Şekil 6.4 : Çelik levha tanımında kullanılan katsayılar.

Belirlenen farklı levha kalınlıkları için de benzer tanımlamalar yapıldıktan sonra, levhalar yerlerine eklenmiştir. Levha davranışın gerçekçi şekilde yansıtılabilmesi ve levhaya gelen kuvvetlerin çerçeve elemanlarına düzgün aktarabilmesi için yeteri kadar mesh işlemi yapılmalıdır. Bu sayı en az 4x4 eleman üzerinden yapılması gerektiği öngörülmektedir (Astaneh-Asl 2001). Modelde boyutları birbirine yakın olabilecek şekilde bütün levhalarda yeterli ‘Mesh’ işlemi yapılmıştır. Her bir elemanın için belirlenen çekme alanlarının eğim açısı α 'ya uygun yerel eksenleri döndürülmüştür.

Oluşturulan analitik model daha önce hesaplanan düşey yükler, deprem ve rüzgar yükleri kullanılarak analiz edilmiş ve kesitlere ilişkin iç kuvvetler ve deplasmanlar elde edilmiştir. Bulunan bu değerlere göre gerekli kontroller yapılacaktır.

6.5.2 Göreli kat ötelenmelerinin kontrolü

DBYBHY 2007'ye göre herhangi bir kolon için ardışık iki kat arasındaki yatay yer değiştirme farkı kullanılarak göreli kat ötelenmesi kontrolü yapılacaktır.

Model binaya ait her bir deprem yüklemesine karşılık kat deplasman değerleri bulunmuştur. Buna göre yer değiştirmelerin en büyük değeri iki doğrultuda da %5 dışmerkezlik uygulanan deprem yüklemesinde meydana gelmiştir.

X ve y doğrultularında %5 dışmerkezlik ile uygulanan deprem yüklemelerine ait analiz sonunda elde edilen yatay deplasman değerleri d_{ix} ve d_{iy} 'e bağlı görelî kat ötelenmesi Δ ile etkin görelî kat ötelenmesi δ değerleri iki doğrultu için de çizelgelerde (Çizelge 4.9 ve Çizelge 4.10) verilmiştir. Çizelgenin son sütununda ise bu değerlerin kat yüksekliğine oranı verilmiştir.

Çizelge 6.9 : (y) doğrultusunda etkin görelî kat ötelenmeleri.

Kat	Yükleme	h	Δ (m)	δ_y	Drift(y)
5	EYNEN ¹	3	0.00614	0.03068	0.01023
4	EYNEN	3	0.00679	0.03395	0.01132
3	EYNEN	3	0.0067	0.0335	0.01117
2	EYNEN	3	0.00673	0.03366	0.01122
1	EYNEN	4	0.0061	0.03048	0.00762

Çizelge 6.10 : (x) doğrultusunda etkin görelî kat ötelenmeleri.

Kat	Yükleme	h	Δ (m)	δ_x	Drift (x)
5	EXNEN ²	3	0.00505	0.02526	0.00842
4	EXNEN	3	0.00549	0.02747	0.00916
3	EXNEN	3	0.00539	0.02697	0.00899
2	EXNEN	3	0.00524	0.02621	0.00874
1	EXNEN	4	0.0051	0.02552	0.00638

Tablolardan da görüldüğü gibi δ_i/h oranlarının en büyüğü x ve y doğrultularında

$$(\delta_{ix}/h)_{\text{maks}}=0.00916 \quad \text{ve} \quad (\delta_{iy}/h)_{\text{maks}}=0.01132$$

olmakta ve DBYBHY 2007'de öngörülen

$$(\delta_i/h_i)_{\text{maks}} < 0.02$$

koşulu binanın her iki doğrultusunda sağlamaktadır.

6.5.3 Boyutlandırma hesapları

6.5.3.1 Kolon boyut kontrolü

Kontrol hesapları AISC 360-10'a göre yapılacağı için; depremli durumlarda ortaya çıkan en olumsuz kesit kuvvetleri hesap edilirken, hareketli yük ve deprem yükü 0.75 (=1/1.33) katsayısıyla çarpılıp belirlenmiştir. (G+0.75(Q+E)) AISC 07-10'da öngörüldüğü gibi G yükünde 0.75 katsayısı kullanılmamıştır.)

¹ EYNEN : Negatif (y) yönünde %5 negatif eksantrik deprem yüklemesi

² EXNEN : Negatif (x) yönünde %5 negatif eksantrik deprem yüklemesi

Kesitte en olumsuz etkileri oluşturan $G+0.75(Q+E)$ durumu için;

$$\text{Kesit üst ucunda: } M_{X(G+Q+EX+0.3EY)} = -140.222 \text{ kNm}$$

$$M_{Y(G+Q+EX+0.3EY)} = -22.346 \text{ kNm}$$

$$V_{G+Q+EX+0.3EY} = -36.310 \text{ kN}$$

$$N_{G+Q+EX+0.3EY} = -2288.98 \text{ kN}$$

$$\text{Kesit alt ucunda: } M_{X(G+Q+EX+0.3EY)} = 96.49 \text{ kNm}$$

$$M_{Y(G+Q+EX+0.3EY)} = 22.37 \text{ kNm}$$

Seçilen kolon (C22-çelik levhalı perde eklenen kolon) kesiti HEB500 (S235);

$$I_x=107200 \text{ cm}^4 \quad I_y=12620 \text{ cm}^4 \quad r_x=21.17 \text{ cm} \quad r_y=7.266 \text{ cm}$$

$$S_x=4288 \text{ cm}^3 \quad S_y=841 \text{ cm}^3 \quad A=239 \text{ cm}^2$$

$$b=300 \text{ mm} \quad h=500 \text{ mm} \quad t_w=14.5 \text{ mm} \quad t_f=28 \text{ mm}$$

Eksenel basınç kuvvetinin etkisi göz önüne alınarak,

- Başlık için yerel burkulma kontrolü **(4.10 ve 4.11)**'e göre yapılmıştır ve (AISC 360-10 Table B4.1a) başlık ve gövdenin narin olmadığı görülmektedir.

Eğilme etkisi dikkate alınarak,

- Başlık için yerel burkulma kontrolü **(4.12 ve 4.13)**'e göre yapılmıştır ve (AISC 360-10 Table B4.1b) başlık ve gövdenin kompakt olduğu görülmektedir.

Süneklik düzeyi normal çerçeve kolonları için Deprem Yönetmeliği Madde 4.4.1 deki enkesit koşulları gereğince; kolonun yerel burkulmasının önlenmesi amacıyla enkesit özelliklerinin Tablo 4.3 teki koşullara uymaktadır **(5.8 ve 5.9)**

Karakteristik eksenel basınç dayanımı (P_n),

Olası sınır durumlar

- Eğilmeli burkulma durumu,

$$K = \frac{3G_A G_B + 1.4(G_A + G_B) + 0.64}{3G_A G_B + 2(G_A + G_B) + 1.28} \quad (\text{Yanal ötelenmesi önlenmiş}) \quad (6.4)$$

$K_x = 0.86$ $K_y = 0.79$ bulunur.

y-y eksenine dik eğilmeli burkulma,

$$\frac{0.79 \times 400}{7.26} \leq 4.71 \sqrt{\frac{206200}{235}} \quad \text{için,}$$

$$F_{e,y} = \frac{\pi^2 206200}{(43.9)^2} = 1054 \text{ Nmm}^2 \quad F_{cr,y} = (0.656^{235/1054}) = 214 \text{ Nmm}^2$$

$$P_{n,y} = 214 \times 23900 \times 10^{-3} = 5116 \text{ kN} \quad P_{d,y} = \frac{5116}{1.67} = 3063 \text{ kN}$$

bulunur ve

$$P_d = \min(P_{d,x}, P_{d,y}) = P_{d,y} = 3063 \text{ kN}$$

Karakteristik eğilme dayanımı (x-x etrafında $M_{n,x}$)

Olası sınır durumlar

- Akma sınır durumu

$$M_n = M_p = Z_x F_y = 4815 \times 235 \times 10^{-3} = 1131.53 \text{ kNm} \quad (6.5)$$

- Yanal burulmalı burkulma sınır durumu

$$L_b = 4000 \text{ mm}$$

$$L_p = 1.76 r_y \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1.76 \times 7.26 \times \sqrt{\frac{206200}{235}} = 3784 \text{ mm} \quad (6.6)$$

$$L_b > L_p \text{ olur}$$

$$c=1 \text{ (I profiller için) ve } h_o = h - t_f = 500 - 28 = 472 \text{ mm}$$

$$r_{ts} = \sqrt{\frac{I_y h_o}{2S_x}} = 833 \text{ mm için}$$

$$L_r = 1.95 r_{ts} \frac{E}{0.7F_y} \sqrt{\frac{Jc}{S_x h_o} + \sqrt{\left(\frac{Jc}{S_x h_o}\right)^2 + 6.76 \left(\frac{0.7F_y}{E}\right)^2}} = 15934 \text{ mm} \quad (6.7)$$

$L_r > L_b > L_p$ olduğu için,

$$C_b = \frac{12.5M_{\max}}{2.5M_{\max} + 3M_A + 4M_B + 3M_C} = 2.30 \quad (6.8)$$

$$M_n = 1.86 \left[1131 - (1131 - 0.75 \times 4288 \times 235) \left(\frac{4000 - 3784}{15934 - 3784} \right) \right] \times 10^{-6} = 6478.54 \text{ kNm} > M_p$$

Olduğu için $M_p = M_n = 1131 \text{ kNm}$

$$M_{d,x} = \frac{M_{n,x}}{\Omega} = \frac{1131}{1.67} = 677 \text{ kNm} \quad \text{bulunur} \quad (6.9)$$

Karakteristik eğilme dayanımı (y-y etrafında $M_{n,y}$)

Olası sınır durumlar

- Akma sınır durumu

$$M_n = M_p = 1292 \times 235 \times 10^{-3} = 303.6 \text{ kNm}$$

- Yanal burulmalı burkulma sınır durumu

$$L_b = 4000 \text{ mm}$$

$$L_p = 1.76 \times 21.176 \sqrt{\frac{206200}{235}} = 11041 \text{ mm}$$

$L_p > L_b$ olduğundan yanal burulmalı burkulma oluşmaz ve $M_n = M_p$

$$M_{d,y} = \frac{303.62}{1.67} = 181.8 \text{ kNm} \quad \text{olur}$$

Güvenli dayanım kontrolü;

$$\frac{P_a}{P_d} = \frac{2288}{3063} = 0.75 > 0.2 \quad \text{olduğu için,} \quad (6.10)$$

$$\frac{P_a}{P_d} + \frac{8}{9} \left[\frac{M_{a,x}}{M_{d,x}} + \frac{M_{a,y}}{M_{d,y}} \right] = 0.75 + \frac{8}{9} \left[\frac{140}{677.24} + \frac{22}{181.8} \right] = 1.05 > 1 \quad (6.11)$$

Kesit gelen etkiler karşısında (artan eksenel yük) yetersizdir.

6.5.3.2 Ana çerçeve kirişi boyut kontrolü

Kesitte en olumsuz etkileri oluşturan $G+0.75(Q+E)$ durumu için;

$$M_{G+Q+EX-0.3EY} = -77.726 \text{ kNm}$$

$$V_{G+Q+EX-0.3EY} = 127.456 \text{ kN}$$

$$N_{G+Q+EX-0.3EY} = 0 \text{ kN}$$

Mevcut kiriş kesiti (birinci kat çelik levha eklenen kiriş-B36) HEA 300 (S235);

$$I_x=18260 \text{ cm}^4 \quad I_y=6310 \text{ cm}^4 \quad i_x=12.7 \text{ cm} \quad i_y=7.5 \text{ cm}$$

$$W_x=1259 \text{ cm}^3 \quad W_y=420 \text{ cm}^3 \quad A=113 \text{ mm}^2$$

$$b=300 \text{ mm} \quad h=290 \text{ mm} \quad t_w=8.5 \text{ mm} \quad t_f=14 \text{ mm}$$

Eğilme etkisi dikkate alınarak,

- Başlık için yerel burkulma kontrolü (AISC 360-10 Table B4.1b)

$$\frac{b}{t_f} \leq 0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \Rightarrow \frac{300}{14} \leq 0.38 \sqrt{\frac{206200}{235}} \quad (6.12)$$

$$\frac{h}{t_w} \leq 3.76 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \Rightarrow \frac{290}{8.5} \leq 3.76 \sqrt{\frac{206200}{235}} \quad (6.13)$$

Başlık ve gövdenin kompakt olduğu görülmektedir

Süneklik düzeyi normal çerçeve kirişleri için Deprem Yönetmeliği Madde 4.4.1 deki enkesit koşulları gereğince; kiriş ve kolonun yerel burkulmasının önlenmesi amacıyla enkesit özelliklerinin Tablo 4.3 teki koşullara uyması gerekmektedir.

$$\frac{b}{2t} < 0.5 \sqrt{E_s / F_y} \Rightarrow \frac{300}{2 \times 14} < 0.5 \sqrt{206200 / 235} \quad (6.14)$$

$$\frac{h}{t_w} < 5.0 \sqrt{E_s / F_y} \Rightarrow \frac{290}{8.5} < 5.0 \sqrt{\frac{206200}{235}} \quad (6.15)$$

Koşulları sağlanır.

Karakterik eğilme dayanımı (x-x etrafında $M_{n,x}$)

Olası sınır durumlar

- Akma sınır durumu

$$M_n = M_p = Z_x F_y = 6310 \times 235 \times 10^{-3} = 1482 \text{ kNm} \quad (6.16)$$

- Yanal burulmalı burkulma sınır durumu

$$L_b = 6000 \text{ mm}$$

$$L_p = 1.76 r_y \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1.76 \times 7.47 \times \sqrt{\frac{206200}{235}} = 3894 \text{ mm} \quad (6.17)$$

$$L_b > L_p \text{ olur}$$

$$C_b = \frac{12.5 M_{\max}}{2.5 M_{\max} + 3 M_A + 4 M_B + 3 M_C} = 1.00 \quad (6.18)$$

$$M_n = 1.00 \left[1482 - (1482 - 0.75 \times 1259 \times 235) \left(\frac{6000 - 3894}{21304 - 3894} \right) \right] \times 10^{-6} = 1233 \text{ kNm} < M_p$$

Olduğu için $M_p = M_n = 1233 \text{ Nm}$

$$M_{d,x} = \frac{M_{n,x}}{\Omega} = \frac{1233}{1.67} = 738.7 \text{ kNm} \text{ bulunur} \quad (6.19)$$

$M_{d,x} = 738.7 \text{ kNm} > M_{a,x} = 77 \text{ kNm}$ olduğundan dolayı kesit yeterlidir.

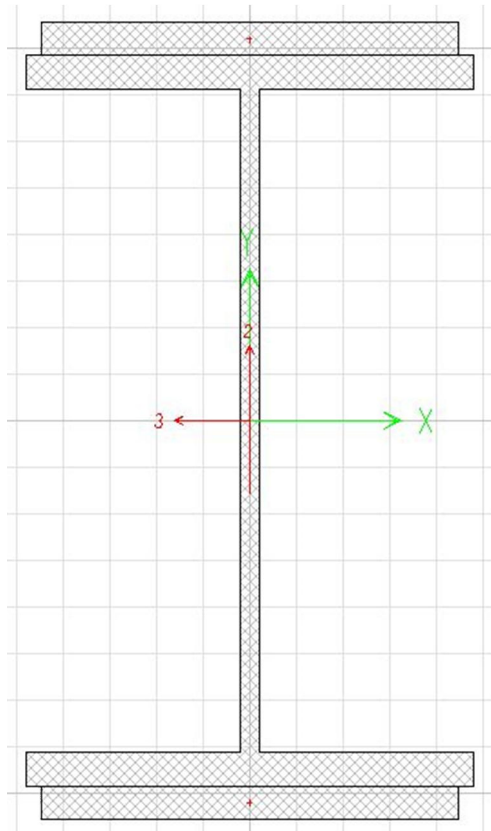
Kesme kontrolü;

$$V_n = 0.6 F_y A_w = 0.6 \times 235 \times 8.5 \times 290 = 347 \text{ kN} \quad (6.20)$$

$V_n / \Omega > V_a$ olduğundan kesit kesme yönünden yeterlidir.

7. KOLONLARI TAKVİYE EDİLMİŞ MODEL

Çelik levhaların eklendiği modele ait yapılan analizler ve kesit kontrolleri sonucunda kat ötelenmelerinin ve pek çok elemanın iç etkilerindeki azalmalar görülmektedir. Ancak levhaların eklendiği akslarda bulunan kolonların özellikle alt katlarda kapasitelerini aştıkları görülmektedir. Bu kesitlere gelen iç kuvvetler incelendiğinde en etkin olan iç kuvvetin depremli kombinasyonda oluşan eksenel yük artışı olduğu görülmektedir. Çelik levhaların doğası gereği yaptığı bu yük aktarımı kolonlar üzerinde zorlanmalara sebep olmaktadır. Bu sebeple levha eklenen kolonların özellikle eksenel yük kapasitelerini artırmak amacıyla kesit alanlarının artırılmasına karar verilmiştir ve kolon başlıklarına 22 mm kalınlığa sahip takviye plakaları eklenerek aynı yüklemeler altında 3D model üzerinde analizler tekrarlanmıştır. Alt kat kolonu olan HEB500 kesitinin takviyeli hali (Şekil 7.1)'de görülmektedir.



Şekil 7.1 : Takviye edilmiş HEB500 kesit görünüşü.

7.1 Boyutlandırma Hesapları

7.1.1 Kolon boyut kontrolü

Kesitte en olumsuz etkileri oluşturan durum;

$$\begin{aligned}\text{Kesit üst ucunda: } M_{X(G+Q+EX+0.3EY)} &= -196.4 \text{ kNm} \\ M_{Y(G+Q+EX+0.3EY)} &= -23.691 \text{ kNm} \\ V_{G+Q+EX+0.3EY} &= -30.442 \text{ kN} \\ N_{G+Q+EX+0.3EY} &= -2343 \text{ kN}\end{aligned}$$

Seçilen kolon (C22) kesiti iki başlığına 22 mm'lik plakalar takviye edilmiş HEB500 (S235);

$$\begin{aligned}I_x &= 191174 \text{ cm}^4 & I_y &= 20669 \text{ cm}^4 & r_x &= 22.974 \text{ cm} & r_y &= 7.54 \text{ cm} \\ S_x &= 7028 \text{ cm}^3 & S_y &= 1377 \text{ cm}^3 & A &= 362 \text{ cm}^2\end{aligned}$$

- Eğilmeli burkulma durumu,

$$K_x = 0.87 \quad K_y = 0.82 \quad (6.4) \text{ kullanılarak bulunur}$$

y-y eksenine dik eğilmeli burkulma aynı şekilde

$$\frac{0.82 \times 400}{7.54} \leq 4.71 \sqrt{\frac{206200}{235}} \quad \text{için,}$$

$$F_{e,y} = \frac{\pi^2 206200}{(43.6)^2} = 1069 \text{ Nmm}^2 \quad F_{cr,y} = (0.656^{235/1069}) 235 = 214 \text{ Nmm}^2$$

$$P_{n,y} = 214 \times 36200 \times 10^{-3} = 7759 \text{ kN} \quad P_{d,y} = \frac{7759}{1.67} = 4646 \text{ kN}$$

bulunur ve

$$P_d = \min(P_{d,x}; P_{d,y}) = P_{d,y} = 3442 \text{ kN}$$

Karakteristik eğilme dayanımı (x-x etrafında $M_{n,x}$)

Olası sınır durumlar

- Akma sınır durumu

$$M_n = M_p = Z_x F_y = 7191 \times 235 \times 10^{-3} = 1690 \text{ kNm}$$

- Yanal burulmalı burkulma sınır durumu $M_n > M_p$ olduğu için oluşmaz.

Olduğu için $M_p = M_n = 1690 \text{ kNm}$

$$M_{d,x} = \frac{M_{n,x}}{\Omega} = \frac{1690}{1.67} = 1012 \text{ kNm} \text{ bulunur}$$

Karakteristik eğilme dayanımı (y-y etrafında $M_{n,y}$)

Olası sınır durumlar

- Akma sınır durumu

$$M_n = M_p = 1292 \times 235 \times 10^{-3} = 303.6 \text{ kNm}$$

- Yanal burulmalı burkulma sınır durumu

$L_p > L_b$ olduğundan yanall burulmalı burkulma oluşmaz ve $M_n = M_p$

$$M_{d,y} = \frac{303.62}{1.67} = 181.8 \text{ kNm} \text{ olur}$$

Güvenli dayanım kontrolü;

$$\frac{P_a}{P_d} = \frac{2343}{4646} = 0.51 > 0.2 \text{ olduğu için,}$$

$$\frac{P_a}{P_d} + \frac{8}{9} \left[\frac{M_{a,x}}{M_{d,x}} + \frac{M_{a,y}}{M_{d,y}} \right] = 0.51 + \frac{8}{9} \left[\frac{196.4}{1012} + \frac{23}{181.8} \right] = 0.82 < 1.00$$

Olduğundan dolayı takviye edilmiş kolon kesiti yeterlidir.

7.1.2 Ana çerçeve kirişi boyut kontrolü

Kesitte en olumsuz etkileri oluşturan durum;

$$M_{G+Q+EX-0.3EY} = -66.931 \text{ kNm}$$

$$V_{G+Q+EX-0.3EY} = 109.055 \text{ kN}$$

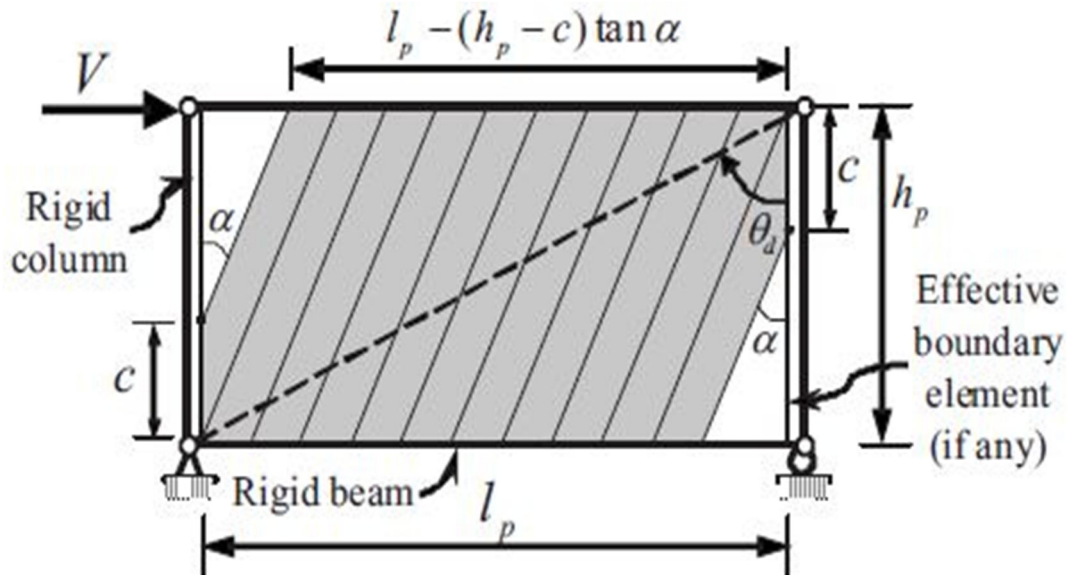
$$N_{G+Q+EX-0.3EY} = 0 \text{ kN}$$

Kiriş üzerine gelen etkiler azalmaktadır. Bu sebeple kiriş kesiti kolonları takviye edilmiş bu uygulamada da yeterlidir.

8. LEVHALARIN SADECE KİRİŞLERDEN TUTULU OLDUĞU MODEL

Çelik levhaların hem kirişlerden hem de kolonlardan tamamen tutulu olan model binada çerçeve kolonlarında iç kuvvetlerin özellikle eksenel kuvvetin arttığı ve kesitin yetersiz geldiği görülmektedir. Bu sorunu ortadan kaldırmak amacıyla alternatif bir model olarak çelik levhaların sadece kirişlerden tutulu olduğu bir model oluşturulup analizler yapılacaktır.

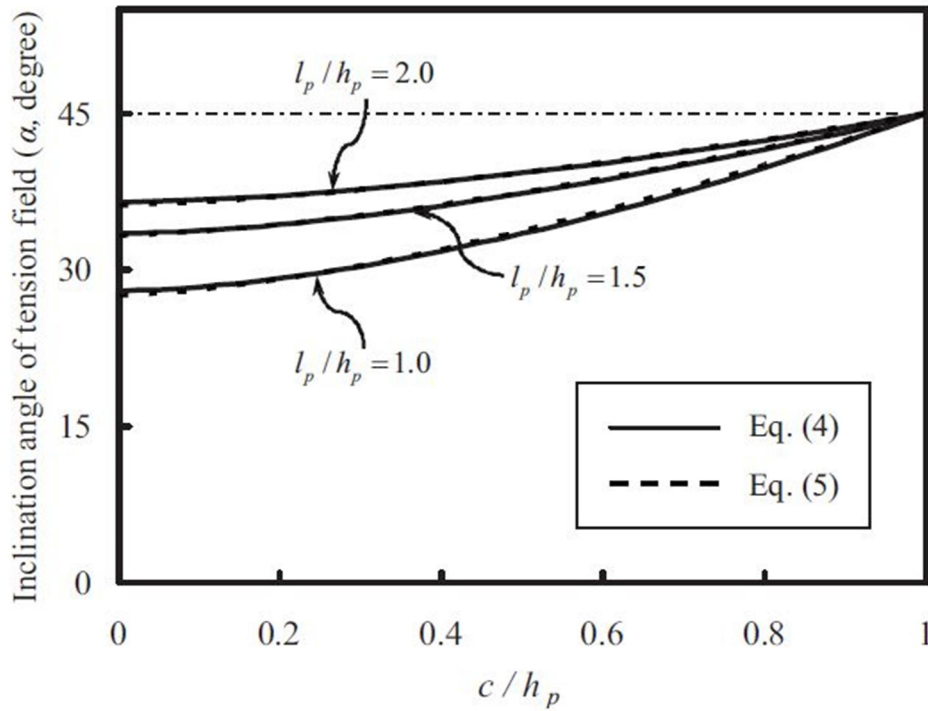
Choi ve Park (2009) tarafından farklı bağlantılı çelik levhali perde şekillerinin hem analitik hem de deneysel olarak karşılaştırıldığı çalışma sonunda; sadece kirişlerden tutulu örneğin oldukça iyi bir performans gösterdiği, tamamen tutulu örneğe eşit deformasyon kapasitesine sahip olduğu ancak yük taşıma ve enerji yutma kapasitesinin bir miktar azaldığı görülmüştür. Şekil 8.1’de bu çalışmada oluşturulan şerit modele ait görsel görülmektedir. Buna göre; levhaların sadece kirişlerden bağlı olduğu durumda ($c=0$) çekme çubuklarının eğim açısının belirlenmesi gerekmektedir.



Şekil 8.1 : Kolonlardan kısmi tutulu çelik levhalı perde şematik görünüşü (Choi ve Park, 2009).

Eğim açısının belirlenebilmesi için levha geometrisine bağlı olarak bir diyagram oluşturulmuştur (Choi ve Park, 2009). Buna göre sadece kirişlerden bağlı çelik levhali oluşturulacak model için $c=0$, l_p çerçeve kolonları arası mesafe ve h_p kirişler

arası mesafe kullanılarak, çekme elamanlarının eğim açısı α Şekil 8.2 kullanılarak bulunabilir.



Şekil 8.2 : Eğim açısını veren diyagram (Choi ve Park, 2009).

Daha önce hesaplamalarda kullanılan çelik levhalar eklenmiş modele etkitilen düşey ve yatay yükler, çelik levha kalınlıkları değiştirilmeden, sadece kirişlerden tutulu olacak şekilde modellenenecektir. Bunun için çelik levhaları ifade eden membran elemanlar kolonlardan 5 mm uzakta bağlantısız kalacak şekilde tekrar oluşturulmuş ve mesh işlemi yapılmıştır. Çekme açıları da açıklık/yükseklik oranına göre her iki doğrultudaki levhalarda Şekil 8.2'den yararlanarak tekrar belirlenmiştir. Membran elemanların daha önce belirlenen rijitlik katsayılarında herhangi bir değişiklik yapılmamıştır. Yapılan bu değişikliklerin ardından analiz yapılmış ve kesitlerde oluşan iç kuvvetler bulunmuştur.

8.1 Boyutlandırma Hesapları

8.1.1 Kolon boyut kontrolü

Kontrol hesapları AISC 360-10'a göre yapılacağı için; depremlili durumlarda ortaya çıkan en olumsuz kesit kuvvetleri hesap edilirken, hareketli yük ve deprem yükü 0.75 ($=1/1.33$) katsayısıyla çarpılıp belirlenmiştir. ($G+0.75(Q+E)$ AISC 07-10'da öngörüldüğü gibi G yükünde 0.75 katsayısı kullanılmamıştır.)

Kesitte en olumsuz etkileri oluşturan G+0.75(Q+E) durumu için;

$$\begin{aligned}\text{Kesit üst ucunda: } MX_{G+Q+EX+0.3EY} &= -326.3 \text{ kNm} \\ MY_{G+Q+EX+0.3EY} &= -28.2 \text{ kNm} \\ V_{G+Q+EX+0.3EY} &= -30.442 \text{ kN} \\ N_{G+Q+EX+0.3EY} &= -1877 \text{ kN}\end{aligned}$$

Seçilen kolon (C22-çelik levhalı perde eklenen kolon) kesiti HEB500 (S235);

$$I_x=107200 \text{ cm}^4 \quad I_y=12620 \text{ cm}^4 \quad r_x=21.17 \text{ cm} \quad r_y=7.266 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned}S_x &= 4288 \text{ cm}^3 & S_y &= 841 \text{ cm}^3 & A &= 239 \text{ cm}^2 \\ b &= 300 \text{ mm} & h &= 500 \text{ mm} & t_w &= 14.5 \text{ mm} & t_f &= 28 \text{ mm}\end{aligned}$$

Karakteristik eksenel basınç dayanımı (P_n),

Olası sınır durumlar

- Eğilmeli burkulma durumu,

$$K_x = 0.86 \quad K_y = 0.79 \text{ (6.4) kullanılarak bulunur.}$$

y-y eksenine dik eğilmeli burkulma aynı şekilde

$$\frac{0.79 \times 400}{7.26} \leq 4.71 \sqrt{\frac{206200}{235}} \quad \text{için,}$$

$$F_{e,y} = \frac{\pi^2 206200}{(43.9)^2} = 1054 \text{ Nmm}^2 \quad F_{cr,y} = (0.656^{235/1054}) = 214 \text{ Nmm}^2$$

$$P_{n,y} = 214 \times 23900 \times 10^{-3} = 5116 \text{ kN} \quad P_{d,y} = \frac{5116}{1.67} = 3063 \text{ kN}$$

bulunur ve

$$P_d = \min(P_{d,x}; P_{d,y}) = P_{d,y} = 3063 \text{ kN}$$

Karakteristik eğilme dayanımı (x-x etrafında $M_{n,x}$)

Olası sınır durumlar

- Akma sınır durumu

$$M_n = M_p = Z_x F_y = 4815 \times 235 \times 10^{-3} = 1131.53 \text{ kNm}$$

- Yanal burulmalı burkulma sınır durumu

$$L_b = 4000 \text{ mm}$$

$$L_p = 1.76 r_y \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1.76 \times 7.26 \times \sqrt{\frac{206200}{235}} = 3784 \text{ mm}$$

$$L_b > L_p \text{ olur}$$

$$c=1 \text{ (I profiller için) ve } h_o = h - t_f = 500 - 28 = 472 \text{ mm}$$

$$r_{ts} = \sqrt{\frac{I_y h_o}{2 S_x}} = 833 \text{ mm için}$$

$$L_r = 1.95 r_{ts} \frac{E}{0.7 F_y} \sqrt{\frac{J_c}{S_x h_o} + \sqrt{\left(\frac{J_c}{S_x h_o}\right)^2 + 6.76 \left(\frac{0.7 F_y}{E}\right)^2}} = 15934 \text{ mm}$$

$$L_r > L_b > L_p \text{ olduğu için,}$$

$$C_b = \frac{12.5 M_{\max}}{2.5 M_{\max} + 3 M_A + 4 M_B + 3 M_C} = 2.30$$

$$M_n = 1.86 \left[1131 - (1131 - 0.75 \times 4288 \times 235) \left(\frac{4000 - 3784}{15934 - 3784} \right) \right] \times 10^{-6} = 6478.54 \text{ kNm} > M_p$$

$$\text{Olduğu için } M_p = M_n = 1131 \text{ kNm}$$

$$M_{d,x} = \frac{M_{n,x}}{\Omega} = \frac{1131}{1.67} = 677 \text{ kNm bulunur}$$

Karakteristik eğilme dayanımı (y-y etrafında $M_{n,y}$)

Olası sınır durumlar

- Akma sınır durumu

$$M_n = M_p = 1292 \times 235 \times 10^{-3} = 303.6 \text{ kNm}$$

- Yanal burulmalı burkulma sınır durumu

$$L_b = 4000 \text{ mm}$$

$$L_p = 1.76 \times 21.176 \sqrt{\frac{206200}{235}} = 11041 \text{ mm}$$

$L_p > L_b$ olduğundan yanal burulmalı burkulma oluşmaz ve $M_n = M_p$

$$M_{d,y} = \frac{303.62}{1.67} = 181.8 \text{ kNm} \text{ olur}$$

Güvenli dayanım kontrolü;

$$\frac{P_a}{P_d} = \frac{1877}{3063} = 0.61 > 0.2 \text{ olduğu için,}$$

$$\frac{P_a}{P_d} + \frac{8}{9} \left[\frac{M_{a,x}}{M_{d,x}} + \frac{M_{a,y}}{M_{d,y}} \right] = 0.61 + \frac{8}{9} \left[\frac{326}{677.24} + \frac{28}{181.8} \right] = 1.17 > 1$$

Kesit gelen etkiler karşısında yetersizdir.

8.1.2 Ana çerçeve kirişi boyut kontrolü

Kesitte en olumsuz etkileri oluşturan durum;

$$M_{G+Q+EX-0.3EY} = -267.2 \text{ kNm}$$

$$V_{G+Q+EX-0.3EY} = 565.4 \text{ kN}$$

$$N_{G+Q+EX-0.3EY} = -24.1 \text{ kN}$$

Karakteristik eğilme dayanımı (x-x etrafında $M_{n,x}$)

Olası sınır durumlar

- Akma sınır durumu

$$M_n = M_p = Z_x F_y = 6310 \times 235 \times 10^{-3} = 1482 \text{ kNm}$$

- Yanal burulmalı burkulma sınır durumu

$$L_b = 6000 \text{ mm}$$

$$L_p = 1.76 r_y \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1.76 \times 7.47 \times \sqrt{\frac{206200}{235}} = 3894 \text{ mm}$$

$L_b > L_p$ olur

$$C_b = \frac{12.5M_{\max}}{2.5M_{\max} + 3M_A + 4M_B + 3M_C} = 1.42$$

$$M_n = 1.42 \left[1482 - (1482 - 0.75 \times 1259 \times 235) \left(\frac{6000 - 3894}{21304 - 3894} \right) \right] \times 10^{-6} = 1751 \text{ kNm} > M_p$$

Olduğu için $M_p = M_n = 1482 \text{ Nm}$

$$M_{d,x} = \frac{M_{n,x}}{\Omega} = \frac{1482}{1.67} = 887.4 \text{ kNm} \text{ bulunur}$$

$M_{d,x} = 887. \text{ kNm} > M_{a,x} = 267 \text{ kNm}$ olduğundan dolayı kesit eğilme için yeterlidir.

Kesme kontrolü

$$V_n = 0.6F_y A_w = 0.6 \times 235 \times 8.5 \times 290 = 347 \text{ kN}$$

$V_n / \Omega < V_a$ olduğundan kesit kesme yönünden yetersizdir.

9. DOĞRUSAL OLMAYAN ANALİZ

Bu bölümde strip model kullanılarak oluşturulan model binaya ait x doğrultusundaki çerçevenin sonlu eleman modellerinin artan yük karşısında nonlinear analiz ile yük-deplasman davranış zarfı belirlenmeye çalışılmıştır. Elde edilen sonuçların karşılaştırmaları yapılacaktır.

Bu amaçlarla öncelikle oluşturulacak modelin çelik levhalı perde davranışını gerçekçi olarak yansıttığını onaylamak amacıyla daha önce Driver ve diğ. (1997) tarafından hem deneysel hem de analitik olarak oluşturulmuş model, yine bu çalışmadan alınan verilere göre tanımlanacaktır. ABAQUS bilgisayar programı kullanılarak yapılacak çok-adımlı nonlinear analiz sonunda elde edilen veriler karşılaştırılarak birbirini sağladığı gösterilecektir.

Bu karşılaştırmadan sonra benzer modelleme adımları kullanılarak model binaya ait çerçeve, çelik levhalı perdeler eklenmiş - kolonları güçlendirilmiş modele ve çelik levhaların sadece kirişlerden tutulu olduğu modellere ait x doğrultudaki çerçeve alınarak ABAQUS programında analiz edilip yük-deplasman eğrisi elde edilecektir.

9.1 Sonlu Eleman Modeli (Driver ve diğ. (1997) Modeli'nin Onaylanması)

Driver ve diğ. (1997) tarafından oluşturulan deney düzeneğine ait geometri ve strip model şekilde (Şekil 9.1) görülmektedir. Yapı yüksekliğince ek yapılmadan kullanılan kolon profili W310x118, birinci, ikinci ve üçüncü katta kullanılan kiriş kesiti W310x60 ve en üstte kullanılan kiriş ise W530x82'dir. Bütün kolon kiriş birleşimleri tam penetrasyonlu kaynakla yapılmıştır.

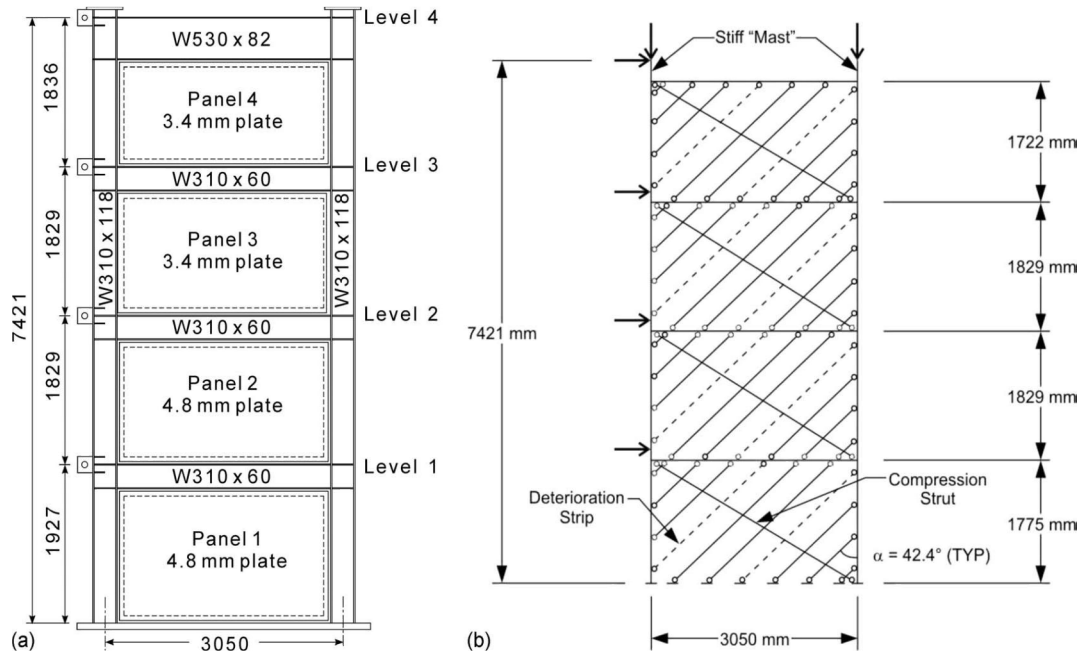
Kullanılan levha kalınlıkları ise, birinci ve ikinci katta 4.8 mm üçüncü ve dördüncü katta ise 3.4 mm'dir. Levhaların yükseklik genişlik oranı ise alttan üste doğru 0.59, 0.56, 0.56 ve 0.48'dir.

9.1.1 Eleman tipi

Driver ve diğ. (1997) çalışmasında kullanılan tek açıklıklı dört katlı deney düzeneğinin sonlu eleman modelinin oluşturulabilmek için ABAQUS CAE sonlu

eleman analiz programından yararlanılmıştır. Çerçeve elemanlarını oluşturan kiriş ve kolonlar kiriş tipi (beam-type) eleman olarak tanımlanmıştır. Çelik levhalar ise şerit model uyarınca çekme elemanlarını yansıtacak şekilde truss eleman olarak tanımlanmıştır.

Modelde kolon ve kirişler iki nod'lu lineer kiriş elemanları (ABAQUS B31 elemanı) olarak tanımlanmıştır. Bu eleman kullanılarak eğilme etkileri, aksenal uzama gibi etkilere izin vermekte, ayrıca lineer elastik kesme deformasyonlarını Timoshenko kiriş teorisine göre yapabilmektedir.

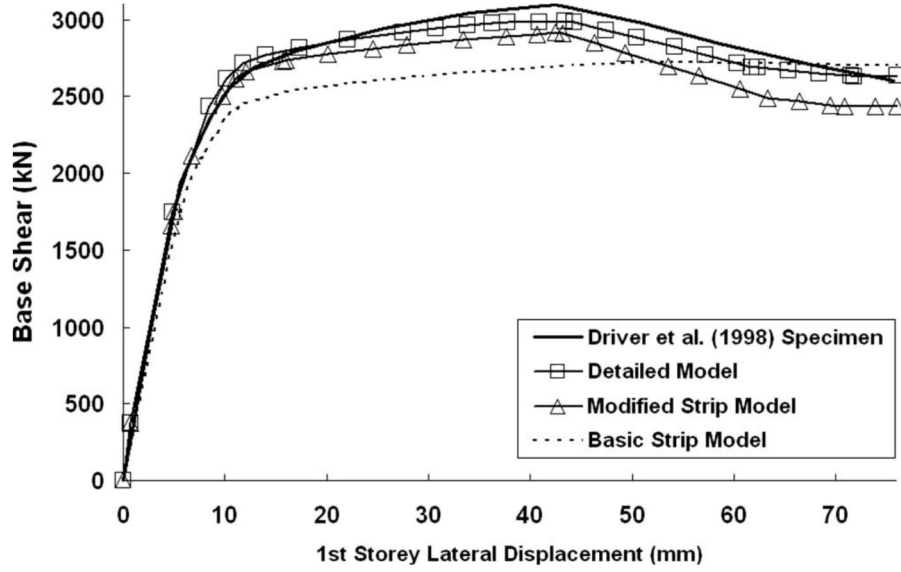


Şekil 9.1 : Driver ve diğ. (1997) a) deney modeli b) detaylı strip modeli.

Kullanılan farklı kolon kiriş kesitleri Driver ve diğ. (1997) modelinin boyutlarına uygun olarak 'Profiles' sekmesinde 'I-Shaped' profiller oluşturularak kesitlere eklenmiştir.

Çelik levhalar analizde kullanılacak çubuk model uyarınca çekme alanlarını yansıtacak şekilde iki ucu mafsallı çekme elemanlarınca yansıtılacaktır. Bu amaçla çekme elemanları 2 nod'lu lineer 3D truss elemanlarca (ABAQUS T3D2 elemanı) tanımlanmıştır.

Modellemede kullanılan bu truss elemanlar sadece çekme ve basınç taşıyabilecek elemanlardır ve eğilme dayanımı yoktur. Bu sebeplerle iki ucu mafsallı çekme çubukları bu şekilde tanımlanabilmektedir.



Şekil 9.2 : Driver ve diğ. (1997) deney sonuçları ile analitik model karşılaştırmaları.

9.1.2 Malzeme özellikleri

Analitik modelde kullanılacak bütün kesitlere ait malzemeler izotropik, pekleşme de göz önünde olacak şekilde elastik-plastik davranışı yansıtacak çelik şekilde modellenmiştir. Malzeme özellikleri basınç ve çekme yönlerinde birbirinin aynısı olarak tanımlanmıştır.

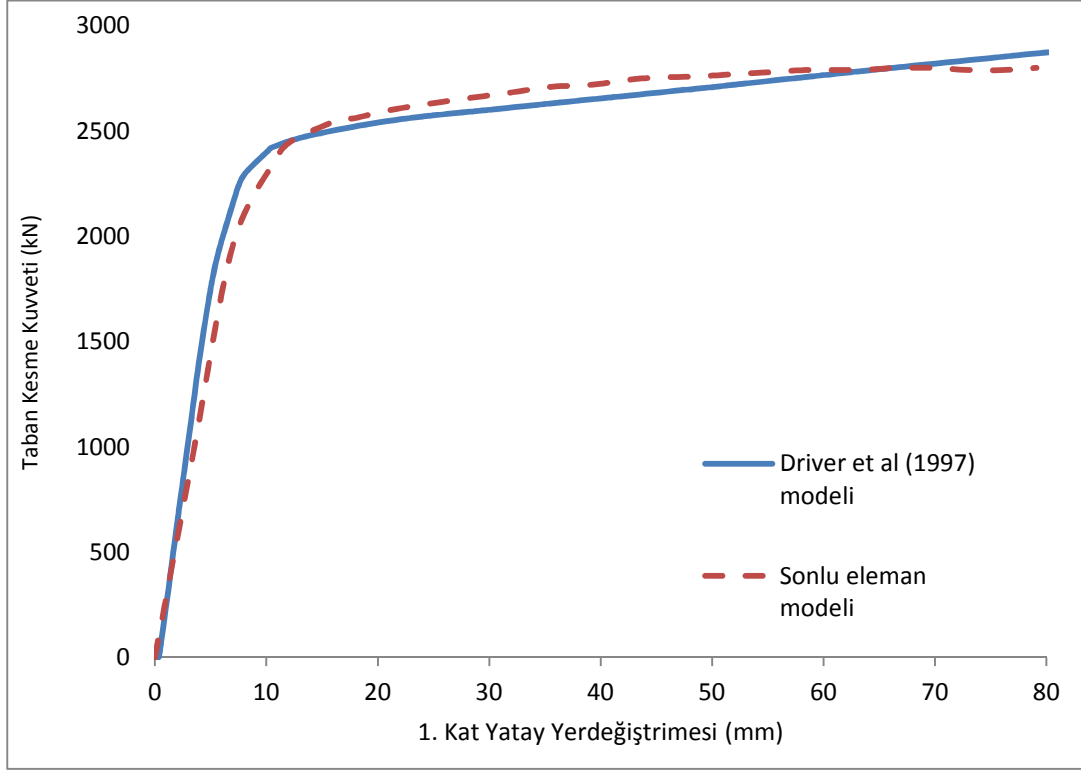
Driver ve diğ. (1997) tarafından yapılan çalışmada oluşturulacak deney düzeneğine ait malzeme deneyleri detaylı bir şekilde yapılmıştır. Kolon kiriş ve çelik levhaların her birinin ayrı ayrı elastik davranışını tanımlarken elastisite modülü ve poisson oranı değerleri bu çalışmadan alınarak kullanılmıştır. Elastik ötesi davranış için de, malzemenin akma ve kopma değerleri ile bu değerler arasında yaptığı şekil değiştirme oranları kullanılmış ve her bir kesitte tanımlanmıştır.

9.1.3 Monotonik yükleme ve sonuçlar

Geometrisi, kesit ve malzeme özellikleri oluşturulan modelin analizi için başlangıç koşullarını içeren 'Initial' adımına ek olarak yatay ve düşey yüklerin etkitileceği iki adım daha 'Steps' sekmesinden oluşturulmuştur. Yapılacak işlem 'Statik, General' tipinde seçilmiştir. Çözüm tekniği olarak her iki adımda da 'Full Newton' belirlenmiştir.

İlk adımda deney düzeneğine uygun şekilde iki kolonun üst noktalarından 720 kN'luk düşey yük tanımlanmıştır. Diğer adımda ise deneye uygun olarak düşey yüke ek her kat seviyesinde eşit olmak üzere artan yatay yükleme yapılmıştır.

Analiz sonunda artan yükler karşısında ilk katın yatay yer değiştirme eğrisi elde edilmiştir. Elde edilen bu eğrinin Driver ve diğ. (1997) çalışmasında deney düzeneği ve analitik modelleri karşılaştırmasının yapıldığı diyagramda ‘Basic Strip Model’ eğrisine oldukça yakın olduğu ve iyi bir sonuç verdiği görülmektedir (Şekil 9.2). Bu diyagram incelendiğinde strip model yönteminin deney düzeneğine göre daha güvenli tarafta kalan sonuçlar verdiği görülmektedir.



Şekil 9.3 : Driver ve diğ. (1997) modeli ile oluşturulan modelin karşılaştırılması.

9.2 Sonlu Eleman Modeli (Model Bina)

Driver ve diğ. (1997) tarafından yapılan çalışmaya ait bir önceki bölümde oluşturulan sonlu eleman modelinden gerçekçi sonuçlar alınması sonucunda model binaya ait bir çerçevenin de sonlu eleman modeli benzer şekilde ABAQUS programı kullanılarak oluşturulup, yük deplasman eğrisi elde edilecektir.

Bu amaçla model binaya ait x doğrultusunda çalışan dış akstaki önce sadece çerçeve daha sonrada çelik levhalı perdeli-kolonları güçlendirilmiş hali ve levhaların sadece kirişlerden tutulu olduğu üç ayrı model oluşturulacaktır. Driver ve diğ. (1997)'ye ait modelde kullanılan modelleme adımları benzer şekilde bu örneklerde de oluşturulacaktır. Buna göre çerçeveye ait açıklıklar olduğu gibi tanımlanacak,

kullanılan HEA500 HEB500 VE HEA300 kolon kiriş kesitleri ile değişen plaka kalınlıklarına uygun çekme çubuk kesitleri oluşturulacaktır.

Çelik levhalar çekme çubuklarıyla ifade edilecektir. Levhalara ait kalınlıklar ve çekme eğim açıları daha önceki bölümlerde gelen yatay yükler karşısında belirlenmiştir. Bu değerler kullanılarak tamamı çerçeveye birleştirilen levhalar için; ilk katta 13, diğer katlarda ise 12 adet çekme çubuğu uygun açılar ayarlanarak modele eklenmiştir. Her bir kattaki çubuklara ait kesit alanları sırayla 2048, 1992, 1494, 996 mm² olarak hesap edilmiştir.

Sadece kirişlerden bağlı levhalardan oluşan çerçevede ise levhalar belirlenen eğimlere uygun olarak 6 çekme çubuğuyla oluşturulmuştur. Çubukların alanları ise alttan yukarı doğru, 1960 1948, 1461, 974 mm² olarak belirlenmiştir.

9.2.1 Eleman tipi

Çerçeve elemanlarını oluşturan kiriş ve kolonlar daha önceki örneğe uygun olacak şekilde kiriş tipi (beam-type B31) eleman olarak tanımlanmıştır. Çelik levhalar ise çubuk model uyarınca çekme elemanlarını yansıtacak şekilde truss eleman (T3D2) olarak tanımlanmıştır.

Model binaya uygun olarak ilk kat kolonları HEB500, diğer kat kolonları HEA500 ve kat kirişleri HEA300 olacak şekilde ‘Profiles’ sekmesinde ‘I-Shaped’ profiller oluşturularak kesitlere eklenmiştir.

9.2.2 Malzeme özellikleri

Analitik modelde kullanılacak bütün kesitlere ait malzemeler izotropik, pekleşme de göz önünde olacak şekilde elastik-plastik davranışı yansıtacak şekilde modellenmiştir. Malzeme özellikleri basınç ve çekme yönlerinde birbirinin aynısı olarak tanımlanmıştır.

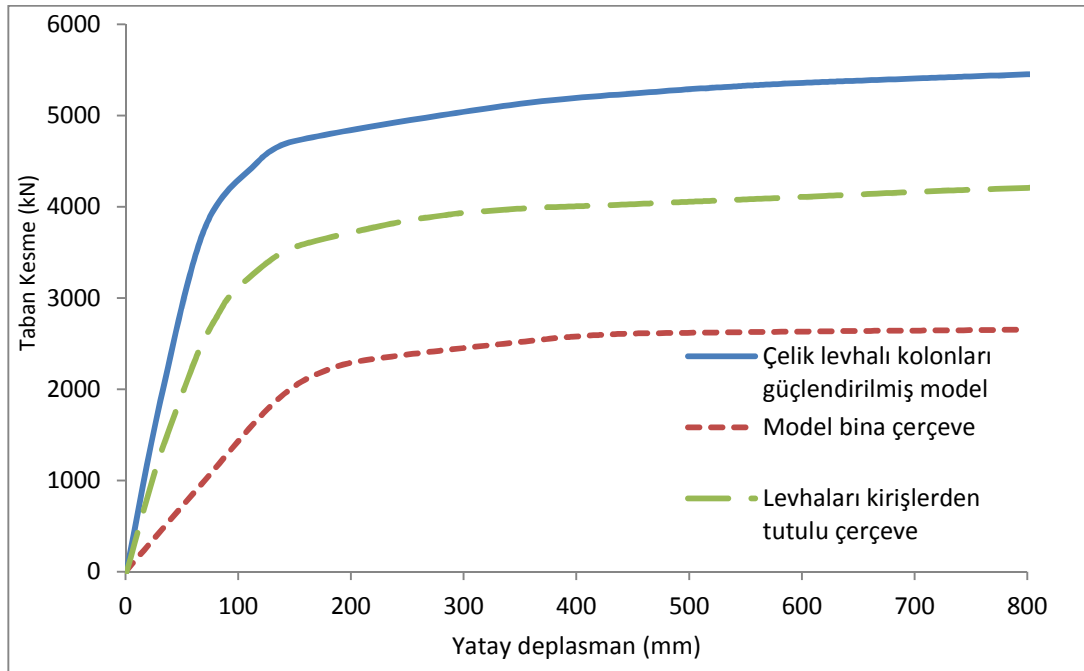
Malzemeye ait deneysel veriler olmadığından dolayı St-37 sınıfı çelik malzemeye ait standart değerler kesitlere tanımlanmıştır. Buna göre elastisite modülü $E=206200$ N/mm², poisson oranı $\nu=0.3$, akma değeri $F_y=235$ N/mm² ve çekme değeri $F_u=363$ N/mm² olarak kabul edilmiştir.

9.2.3 Monotonik yükleme ve sonuçlar

Yapılacak çok adımlı monotonik yükleme ve analiz için öncelikle model binanın x doğrultusundaki dış aks geometrisine uygun olarak oluşturulan çerçeve ve çelik levhali modeller kullanılacaktır. Analiz için öncelikle oluşturulmuş başlangıç koşullarını içeren ‘Initial’ adımına ek olarak önce düşey yüklemenin yapılacağı adım tanımlanmış ardından da zamanla artan yatay yükleme adımı tanımlanmıştır. Yapılacak prosedürün tipi ‘Statik, General’ olarak seçilip, her iki adımda da çözüm tekniği olarak ‘Full Newton’ belirlenmiştir.

Düşey yüklerin tanımlandığı ilk adımda, daha önce belirlenmiş kat döşeme yükünün dış çerçeveye aktarılan kısmı düğüm noktalarına kütleleri oranında tanımlanmıştır. Düşey yük adımının ardından yine düğüm noktalarına kütleleriyle doğru orantılı olarak adım adım artan yanal yükleme yapılmıştır.

Analizler sonucunda her bir modelden istenen deplasman ve mesnet reaksiyonları belirlenmiştir. Bu değerler kullanılarak her bir modele ait taban kesme kuvveti-tepe noktasının deplasman eğrileri elde edilmiştir. (Şekil 9.3)

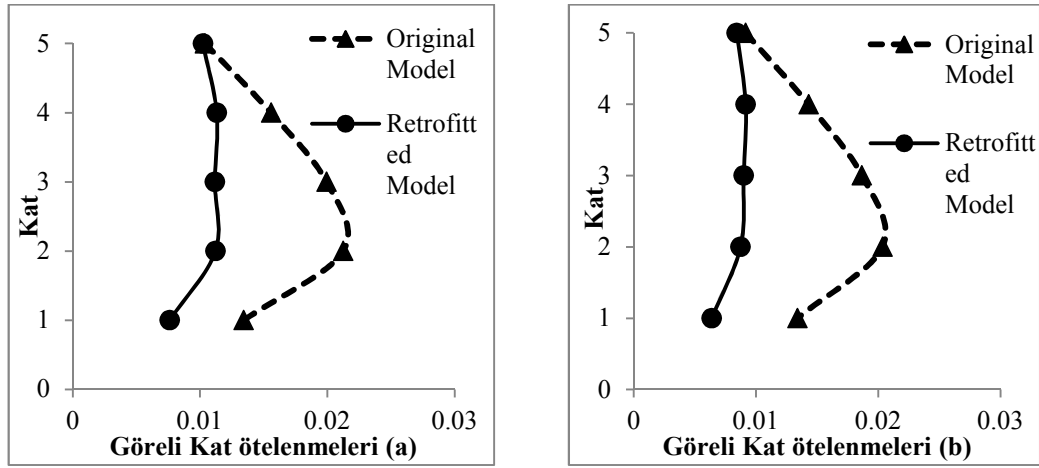


Şekil 9.4 : Oluşturulan üç çerçevenin yatay yük-deplasman karşılaştırılması.

10. DEĞERLENDİRME VE KARŞILAŞTIRMALAR

10.1 Göreli Kat Ötelenmeleri

Görelî kat ötelenmeleri binanın kullanılabilirliği ve kolonların stabilitesi açısından önem arz etmekte ve yönetmeliklerce sınırlanmaktadır. DBYBHY 2007’de Madde 2.10 bu konu ile ilgili hesaplama adımları ve sınırlamalar verilmektedir. Buna göre bir katta hesaplanan etkin göreli kat ötelenmesi kat yüksekliğinin %2’sini geçemez.



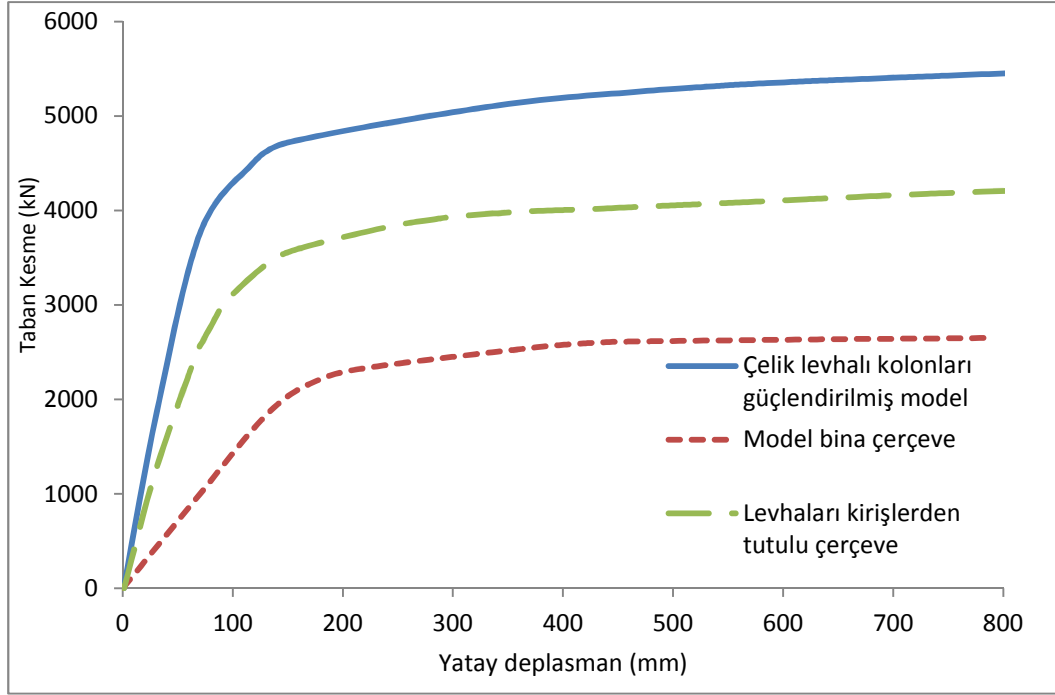
Şekil 10.1 : Göreli Kat Ötelenmelerinin karşılaştırılması.

Model binanın DBYBHY 2007’ye göre yapılan kontrollerinde; her iki doğrultuda da 2. katta limit değerin üzerinde olduğu görülmüştür. Bu durumun önüne geçmek amacıyla binanın çelik levhalar eklenen modeliyle yapılan analizler sonunda elde edilen veriler göre, göreli kat ötelenmeleri oldukça sınırlandığı belirlenmiştir. Binanın x doğrultusundaki (Şekil 10.1.a) ve y doğrultusundaki (Şekil 10.1.b) ilk hali ile çelik levhalı modelin göreli kat ötelenmelerinin karşılaştırması görülmektedir. Bu sonuçlar değerlendirildiğinde çelik levhalı perde sisteminin kat ötelenmelerinin sınırlandırılmasında kullanmanın bir alternatif olabileceği söylenebilir.

10.2 Yük -Yer Değiştirme Eğrileri

Nonlineer analiz sonucunda; model binaya ait x doğrultusundaki dış aksındaki çerçeve kullanılarak yapılan yüklemeler sonucunda üç modele ait yük yer değiştirme eğrileri elde edilmiştir (Şekil 10.2). Bu değerlere göre model binanın ilk haline göre

elik levha eklenmiş ve kolonları güçlendirilmiş modelin aynı deplasman değerine göre yük taşıma kapasitesinin önemli ölçüde arttığı görülmektedir. Yine aynı şekilde, elik levha eklenen modelin başlangıç rijitliğinin ilk hale göre önemli bir artış gösterdiği görülmektedir.



şekil 10.2 : Model binalara ait taban kesme kuvveti-yer değiştirme eğrileri.

Daha az işçilik gerektiren, uygulanması daha kolay bir alternatif yöntem olan; elik levhaların sadece kirişlere bağlı olduğu modele ait sonuçlar, tamamı bağlı levhalı modele göre kıyaslandığında hem kapasitesinde hem de başlangıç rijitliğinde bir miktar azalma görülürken, yine de önemli bir performans gösterdiği görülmektedir

Çizelge 10.1 : Model bina iç akslardaki bazı kolonlara ait talep/kapasite oranları.

Eleman Bilgileri			Çerçeve				Çelik Levha Eklenmiş Model			
Kat	Kolon	Kombinasyon	PMM/Oranı	P/Oranı	Mmaj/Oranı	Mmin/Oranı	PMM/Oranı	P/Oranı	Mmaj/Oranı	Mmin/Oranı
1	C15	COMB6(C)	1.033	0.458	0.135	0.44	0.75	0.367	0.289	0.094
1	C16	COMB6(C)	1.045	0.451	0.436	0.159	0.732	0.35	0.269	0.113
1	C17	COMB10(C)	1.045	0.45	0.435	0.159	0.719	0.361	0.252	0.106
1	C18	COMB10(C)	1.031	0.457	0.135	0.439	0.715	0.366	0.288	0.06
Eleman Bilgileri			Kolonları Güçlendirilmiş				Sadece Kirişlerden Tutulu			
Kat	Kolon	Kombinasyon	PMM/Oranı	P/Oranı	Mmaj/Oranı	Mmin/Oranı	PMM/Oranı	P/Oranı	Mmaj/Oranı	Mmin/Oranı
1	C15	COMB20(C)	0.686	0.362	0.248	0.076	1.143	0.366	0.637	0.141
1	C16	COMB6(C)	0.687	0.35	0.234	0.103	1.027	0.351	0.168	0.508
1	C17	COMB2(C)	0.674	0.359	0.217	0.098	0.997	0.356	0.153	0.488
1	C18	COMB18(C)	0.663	0.36	0.248	0.054	1.079	0.359	0.606	0.114

Çizelge 10.2 : Çelik levhaların eklendiği akstaki kolonlara ait talep/kapasite oranları .

Eleman Bilgileri			Çerçeve				Çelik Levha Eklenmiş Model			
Kat	Kolon	Kombinasyon	PMM/Oranı	P/Oranı	Mmaj/Oranı	Mmin/Oranı	PMM/Oranı	P/Oranı	Mmaj/Oranı	Mmin/Oranı
1	C21	COMB10(C)	0.85	0.262	0.437	0.15	1.214	0.528	0.572	0.114
1	C22	COMB6(C)	0.85	0.262	0.437	0.15	0.959	0.64	0.205	0.113
1	C14	COMB20(C)	0.925	0.292	0.429	0.204	0.968	0.741	0.182	0.045
1	C25	COMB24(C)	0.644	0.058	0.512	0.074	1.228	0.469	0.707	0.052
Eleman Bilgileri			Kolonları Güçlendirilmiş				Sadece Kirişlerden Tutulu			
Kat	Kolon	Kombinasyon	PMM/Oranı	P/Oranı	Mmaj/Oranı	Mmin/Oranı	PMM/Oranı	P/Oranı	Mmaj/Oranı	Mmin/Oranı
1	C21	COMB10(C)	0.951	0.459	0.409	0.132	1.069	0.412	0.487	0.17
1	C22	COMB6(C)	0.947	0.622	0.177	0.148	1.177	0.518	0.489	0.17
1	C14	COMB20(C)	0.954	0.614	0.177	0.163	0.593	0.467	0.004	0.122
1	C25	COMB24(C)	0.943	0.333	0.555	0.055	1.024	0.244	0.703	0.077

10.3 Kolon Talep-Kapasite Oranları

Model binada yapılan analizler sonucunda, binanın alt katlarında kesitlerin yetersiz olduğu bu sebeple güçlendirme yapılmasının gerektiği görülmüştür.

Tablolarda model binanın birinci katında iç akslarda bulunan kolonlar (Çizelge 10.2) ile çelik levhaların eklendiği x ve y doğrultusundaki birer aksta bulunan kolonların (Çizelge 10.3) farklı modellerde oluşan talep /kapasite oranları görülmektedir. Tablolarda, kolonların isimleri, iç kuvvetlerin en olumsuz halinin görüldüğü yükleme kombinasyonu, eksenel kuvvet ($P/\text{Oranı}$), güçlü doğrultusundaki, zayıf doğrultusundaki moment ($M_{\text{maj}}-M_{\text{min}}/\text{Oranı}$) ve bu etkilerin toplamının görüldüğü talep kapasite oranları ($\text{PMM}/\text{Oranı}$) bulunmaktadır.

Tablolar incelendiğinde, model binanın DBYBHY 2007'ye göre hesabında iç akslardaki elemanların beklendiği gibi depremli kombinasyonlar ile eğilme etkilerinin etkin olduğu ve kapasitelerini aştığı görülmektedir. Bu sebeplerle güçlendirme ile çelik levhaların dış akslara eklenmesiyle birlikte, deprem etkilerinin dış akslarda daha etkin roller oynadığı ve iç aks kolonlarının kesit etkilerinin azaldığı görülmektedir. Ancak levhaların sadece kirişlerden tutulu olduğu modele ait sonuçlar incelendiğinde, kesitte oluşan etkilerin zayıf doğrultudaki momentten kaynaklandığı ve kesitin yeterli olmadığı görülmektedir.

Çelik levhaların eklendiği akslardaki kolonlara ait sonuçlar incelendiğinde; levhaların henüz eklenmediği modelde kesitler yeterli ve etkin olan iç kuvvet eğilme olduğu görülmektedir. Çelik levhalar eklendiğinde ise, çelik levhalı perdenin doğası gereği oluşan çekme bölgeleri sebebiyle kolonlarda basınç yönünde eksenel kuvvet beklendiği gibi önemli ölçüde artmaktadır. Artan bu iç etkiler sebebiyle kesitlerin kapasitelerini aştığı görülmektedir.

Levhaların eklenmesiyle artan eksenel kuvvetlerin karşılanabilmesi amacıyla, kolon başlıklarına 22mm kalınlığa sahip çelik plakalar eklenmiştir. Böylece kesit alanı artırılarak hem eksenel yük kapasitesi hem de belirli ölçüde eğilme kapasitesi artırılmış olmuştur. Bu modelden alınan sonuçlar incelendiğinde talep kapasite oranlarının azaldığı ve kesitlerin yeterli olduğu görülmektedir.

Kolonlar üzerindeki eksenel yük etkisini azaltmak amacıyla, daha önce deneysel ve analitik olarak üzerinde çalışılmış (Choi ve Park, 2009) alternatif bir yöntem olan levhaların sadece kirişlerden tutulu olduğu modelden alınan sonuçlara bakıldığında,

kolon kesitindeki eksenel yük etkisinin önemli ölçüde azaldığı ancak güçlü doğrultudaki eğilme etkisinin arttığı görülmektedir. Bu etkideki artış sonucunda kesitlerin yetersiz olduğu görülmektedir.

Bütün bu iç kuvvet değerleri incelendiğinde, kullanılan her bir yöntemin kendine ait olumlu ve olumsuz yönlerini olduğu görülmektedir. Ancak sonuç olarak; işçilik açısından daha masraflı olabileceği öngörülebilen bir yöntem olan kolonları takviye edilmiş çelik levhali modelin en olumlu sonuçları verdiği, kesitlerin kapasitelerini aşmadığı görülmektedir.

10.4 Kat Kesme Oranları

Çelik levhalar eklenmiş modele her iki doğrultuda ayrı ayrı yapılan deprem yüklemeleri sonucunda oluşan kat kesme kuvvetlerinin çelik levhalarca karşılanma oranları her katta belirlenmiş ve tabloda (Çizelge 10.1) verilmiştir. Belirlenen bu oranlara göre ilk katlar dışında çelik levhaların eklendiği akslarda levhaların kat kesme kuvvetini önemli ölçüde karşıladığı görülmektedir. X doğrultusunda minimum oran %54 ile ilk katta olurken ortalama %77, y doğrultusundaki aksta ise minimum %27’u yine ilk katta ortalama %62 çelik levhalarca karşılanmıştır.

Çizelge 10.3 : Levhalar tarafından karşılanan kat kesme kuvvetleri oranı.

Kat	X(%)	Y(%)
1	54.54	27.06
2	80.94	69.08
3	84.58	78.64
4	79.8	72.97
5	83.24	66.99
Ortalama	76.62	62.95

Çelik levhalar boyutlandırılırken yapılan kabulde, levhaların bütün yatay yüklemeyi karşılayacağı düşünülüp hesaplama yapılmıştı. Bu bölümden elde edilen sonuçlar göz önüne alındığında levhaların deprem yükünün tamamını almadığı görülmektedir. Böylece çelik levha boyutlarının hesaplanan değerlerinden küçülmesi söz konusu olmaktadır. Ayrıca sonuçlar değerlendirildiğinde; çelik levhaların kat kesme kuvvetlerinin karşılanmasında önemli bir rol oynamakta olduğu söylenebilir.

11. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında; DBYBHY 2007'ye göre görece kat ötelenmeleri sınır değerlerini aşan ve kolon kesitleri de yetersiz olan bir binanın güçlendirmesinde çelik levhali perde sistemi kullanılarak güçlendirilmesi amaçlanmıştır. Yapılan analizler ve değerlendirmeler sonunda şu sonuçlara ulaşılmıştır:

- Çelik levhali perdeler oluşturdukları yatay rijitlik sayesinde binanın yatay ötelenmelerinin sınırlandırılmasını sağlamıştır.
- Çelik levhaların eklendiği çerçevedeki kolonlar üzerinde özellikle eksenel yük artışı olmuş ve kolon kesitleri yetersiz kalmıştır. Bu sorunu çözme amacıyla iki farklı alternatif yöntemden yararlanılmıştır.
- Kolonları çelik plakalarla güçlendirmek işçilik açısından daha maliyetli gibi görünse de, takviye edilen kesitler yeterli dayanımı göstermiştir.
- Kolonlar üzerindeki eksenel yük etkisini azaltmak amacıyla oluşturulan levhaların sadece kirişlerden bağlandığı güçlendirme çözümü alternatif olarak düşünülmüştür. Ancak bu modelde de kesitler üzerindeki eksenel etkiler azalmasına karşın, kolon kesit kapasitesi yeterli olmamaktadır. Kirişler ise eğilme açısından yeterli olsa da mesnet noktalarında kesme açısından kapasitesi aşılmaktadır. Bu sorun kiriş birleşim detayının değiştirilmesiyle çözülebilir.
- Çelik levhaların, moment aktaran çerçeveye oranla ortalama %76 ve %63 oranlarında kat kesme kuvvetlerini karşıladığı ve binanın yatay yük karşılamasında etkin rol oynadığı görülmektedir.
- Nonlineer analiz sonunda oluşturulan yatay yük-deplasman eğrisi incelendiğinde çelik levhaların eklenmesiyle çerçevenin yatay yük taşıma kapasitesindeki büyük artış görülmektedir.

Sonuç olarak, çelik çerçevelerin dayanım ve rijitliğinin çelik levhalar kullanılarak artırılacağı görülmektedir ancak levhaların eklendiği elemanlarda oluşan iç kuvvet artışlarına karşı önlemler alınması gerekmektedir. Bununla beraber çelik

levhalı perde sistemi elik binaların güçlendirilmesinde bir alternatif yöntem olabileceği görülmüştür.

KAYNAKLAR

- ABAQUS 6.9 Student Version** (2004) Hibbit, Karlsson, and Sorenson, Inc, Pawtucket, RI
- ABYBHY** (1975), *Afet Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik*, T.C İmar ve İskan Bakanlığı Deprem Araştırma Enstitüsü, Ankara.
- AISC** (2010), ANSI/AISC 341-10, *Seismic Provisions for Structural Steel Buildings*, American Institute of Steel Construction Inc., Chicago, IL.
- AISC** (2010), ANSI/AISC 360-10, *Specification for Structural Steel Buildings*, American Institute of Steel Construction Inc., Chicago, IL.
- Alinia, M.M., and Habashi, H.R.** (2009), Characteristics of the Wall-Frame Interaction in Steel Plate Shear Walls,” *ELSEVIER Journal of Constructional Steel Research*, Vol. 66, pp. 150-158.
- ASCE** (2010), SEI/ASCE 7-10, *Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures* (including Supplement No. 1), American Society of Civil Engineers, Reston, VA.
- Astaneh-Asl, A.** (2001), ‘‘Seismic Behavior and Design of Steel Shear Walls,’’ *Steel Technical Information and Product Services Report*, Structural Steel Educational Council, Moraga, CA.
- Aydınoğlu, M.N., Celep, Z., Özer, E. And Sucuoğlu, H.** (2009), *Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik Açıklamalar ve Örnekler Kitabı*, T.C Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara.
- Basler, K.** (1961), ‘‘Strength of Plate Girders in Shear’’ *ASCE Journal of Structural Engineering*, Vol. 87, No. 7, pp. 150-180.
- Berman, J.W. and Bruneau, M.** (2003), ‘‘Plastic Analysis and Design of Steel Plate Shear Walls,’’ *ASCE Journal of Structural Engineering*, Vol. 129, No. 11, pp. 1448-1456.
- Bhowmick, A.K., Driver, R.G. and Grondin, G.Y.** (2011), ‘‘Application of Indirect Capacity Design Principles for Seismic Design of Steel-Plate Shear Walls,’’ *ASCE Journal of Structural Engineering*, Vol. 137, No. 4, pp. 521-530.
- Bruneau, M., Sabelli, R.** (2006), AISC Design Guide No. 20, *Steel Plate Shear Walls*, AISC, Chicago, IL.
- Bruneau, M., and Qu, B.** (2009), ‘‘Design of Steel Plate Shear Walls Considering Boundary Frame Moment Resisting Action,’’ *ASCE Journal of Structural Engineering*, Vol. 135, No. 12, pp. 1511-1521.
- Choi, I.R., and Park, H.G.** (2009), ‘‘Steel Plate Shear Walls with Various Infill Plate Designs,’’ *ASCE Journal of Structural Engineering*, Vol. 135, No. 7, pp. 785-796.

- CSA (2001), CAN/CSA S16-01, *Limit States Design of Steel Structures*, Canadian Standards Association, Willowdale, Ontario, Canada.
- Dean, R.G., Cannon, T.J., and Poland, C.D. (1977), "Unusual Structural Aspects of the H.C. Moffitt Hospitals," Steel Plate Shear Walls," *Proceedings of the Structural Engineers Association of California 46th Convention*, Coronado, CA, PP. 32-73.
- DBYBHY (2007), *Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik*, T.C Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara.
- Driver R.G., Kulak, G.L., Elwi, A.E., and Kennedy, D.J.L. (1998), "Cyclic Tests of Four-Story Steel Plate Shear Wall," Steel Plate Shear Walls," *ASCE Journal of Structural Engineering*, Vol. 124, No. 2, pp. 112-120.
- Driver R.G., Kulak, G.L., Elwi, A.E., and Kennedy, D.J.L. (1997), "Seismic Behaviour of Steel Plate Shear Walls," *Structural Engineering Report* No. 215, Department of Civil Engineering, University of Alberta, Edmonton, Alberta, Canada.
- Elgaaly, M., Caccese, V., and Du C. (1993), "Post-Buckling Behavior of Steel Plate Shear Walls Under Cyclic Loads," *ASCE Journal of Structural Engineering*, Vol. 119, No. 2, pp. 588-605.
- ETABS, Structural Analysis Program, Computer and Structures Inc., Berkeley, California.
- FEMA (2000), FEMA 356, *Prestandard and Commentary for Seismic Rehabilitation of Buildings*, Building Seismic Safety Council for Federal Emergency Management Agency, Washington, DC.
- Gloman, M. (2005), Structural Engineer, Gloman Simpson, Vancouver, Canada, personal communication.
- Montgomery, C.J., Medhekar, M. (2001), Discussion on "Unstiffed Steel Plate Shear Wall Performance Under Cyclic Load," *ASCE Journal of Structural Engineering*, Vol. 127, No. 8, pp. 973-973.
- Rezai, M. (1999), "Seismic Behaviour of Steel Plate Shear Walls by Shaking Table Testing," PhD Dissertation, Department of Civil Engineering, University of Columbia, Vancouver, Canada.
- Shiskin, J.J., Driver, R.G., and Grondin, G.Y. (2005), "Analysis of Steel Plate Shear Walls Using the Modified Strip Model," *Structural Engineering Report* No. 261, Department of Civil Engineering, University of Alberta, Edmonton, Alberta, Canada.
- Thornburn, L.J., Kulak, G.L., and Montgomery, C.J. (1983), "Analysis of Steel Plate Shear Walls," *Structural Engineering Report* No. 107, Department of Civil Engineering, University of Alberta, Edmonton, Alberta, Canada.
- Timler, P.A. and Kulak, G.I. (1983), "Experimental Study of Steel Plate Shear Walls," *Structural Engineering Report* No. 114, Department of Civil Engineering, University of Alberta, Edmonton, Alberta, Canada.

- Timler, P.A., Ventura, C.E., Prion, H., and Anjam R.** (1998), “Experimental and Analytical Studies of Steel Plate Shear Walls as Applied to the Design of Tall Buildings,” *The Structural Design of Tall Buildings*, Vol. 7, No. 3, pp. 233-249.
- TSE 648** (1980), *Çelik Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları*, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TSE 498** (1997), *Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri*, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Tromposch, E.W., and Kulak, G.L.** (1987), “Cyclic and Static Behaviour of Thin Panel Steel Plate Shear Walls,” *Structural Engineering Report No. 145*, Department of Civil Engineering, University of Alberta, Edmonton, Alberta, Canada.
- Wagner, H.** (1931), “Flat Sheet Metal Girders with Very Thin Metal Webs, Part I—General Theories and Assumptions,” *Technical Memo. No. 604*, National Advisory Committee for Aeronautics.
- Xue, M., and Lu, L.W.** (1994), “Interaction of Infilled Steel Shear Wall Panel with Surrounding Frame Members,” *Proceedings of the Structural Stability Research Council Annual Technical Sessions*, Bethlehem, PA, pp. 339-354.

EKLER

EK A : Kolon iç kuvvetleri

EK A**Çizelge A.1 : Modelin ABYBHY1975'e göre C16 Kolonu iç kuvvetleri.**

Story	Column	Load	Loc	P	V2	M2	M3
STORY1	C16	COMB1	0.0	-1600.2	-5.3	-6.4	-6.1
STORY1	C16	COMB1	1.9	-1600.2	-5.3	2.7	3.7
STORY1	C16	COMB1	3.7	-1600.2	-5.3	11.8	13.5
STORY1	C16	COMB2	0.0	-1580.0	-77.7	-18.5	-255.8
STORY1	C16	COMB2	1.9	-1580.0	-77.7	-0.4	-111.7
STORY1	C16	COMB2	3.7	-1580.0	-77.7	17.6	32.4
STORY1	C16	COMB3	0.0	-1583.1	-77.7	5.8	-255.8
STORY1	C16	COMB3	1.9	-1583.1	-77.7	5.8	-111.7
STORY1	C16	COMB3	3.7	-1583.1	-77.7	5.9	32.4
STORY1	C16	COMB4	0.0	-1617.4	67.1	-18.5	243.6
STORY1	C16	COMB4	1.9	-1617.4	67.1	-0.4	119.1
STORY1	C16	COMB4	3.7	-1617.4	67.1	17.7	-5.3
STORY1	C16	COMB5	0.0	-1620.4	67.1	5.8	243.6
STORY1	C16	COMB5	1.9	-1620.4	67.1	5.8	119.1
STORY1	C16	COMB5	3.7	-1620.4	67.1	5.9	-5.3
STORY1	C16	COMB6	0.0	-1579.6	-79.0	-19.1	-260.5
STORY1	C16	COMB6	1.9	-1579.6	-79.0	-0.6	-114.0
STORY1	C16	COMB6	3.7	-1579.6	-79.0	17.9	32.5
STORY1	C16	COMB7	0.0	-1582.6	-79.0	5.2	-260.5
STORY1	C16	COMB7	1.9	-1582.6	-79.0	5.7	-114.0
STORY1	C16	COMB7	3.7	-1582.6	-79.0	6.2	32.5
STORY1	C16	COMB8	0.0	-1580.5	-76.4	-17.9	-251.1
STORY1	C16	COMB8	1.9	-1580.5	-76.4	-0.3	-109.4
STORY1	C16	COMB8	3.7	-1580.5	-76.4	17.3	32.3
STORY1	C16	COMB9	0.0	-1583.5	-76.4	6.4	-251.1
STORY1	C16	COMB9	1.9	-1583.5	-76.4	6.0	-109.4
STORY1	C16	COMB9	3.7	-1583.5	-76.4	5.6	32.3
STORY1	C16	COMB10	0.0	-1617.8	68.4	-17.9	248.3
STORY1	C16	COMB10	1.9	-1617.8	68.4	-0.3	121.4
STORY1	C16	COMB10	3.7	-1617.8	68.4	17.4	-5.5
STORY1	C16	COMB11	0.0	-1620.9	68.4	6.4	248.3
STORY1	C16	COMB11	1.9	-1620.9	68.4	6.0	121.4
STORY1	C16	COMB11	3.7	-1620.9	68.4	5.6	-5.5
STORY1	C16	COMB12	0.0	-1616.9	65.8	-19.1	238.9
STORY1	C16	COMB12	1.9	-1616.9	65.8	-0.6	116.9
STORY1	C16	COMB12	3.7	-1616.9	65.8	17.9	-5.2
STORY1	C16	COMB13	0.0	-1619.9	65.8	5.2	238.9
STORY1	C16	COMB13	1.9	-1619.9	65.8	5.7	116.9
STORY1	C16	COMB13	3.7	-1619.9	65.8	6.2	-5.2

STORY1	C16	COMB14	0.0	-1589.5	-27.0	-46.9	-81.0
STORY1	C16	COMB14	1.9	-1589.5	-27.0	-7.8	-30.9
STORY1	C16	COMB14	3.7	-1589.5	-27.0	31.3	19.2
STORY1	C16	COMB15	0.0	-1600.7	16.4	-46.9	68.8
STORY1	C16	COMB15	1.9	-1600.7	16.4	-7.8	38.4
STORY1	C16	COMB15	3.7	-1600.7	16.4	31.3	7.9
STORY1	C16	COMB16	0.0	-1599.7	-27.0	34.1	-81.0
STORY1	C16	COMB16	1.9	-1599.7	-27.0	13.2	-30.9
STORY1	C16	COMB16	3.7	-1599.7	-27.0	-7.8	19.2
STORY1	C16	COMB17	0.0	-1610.9	16.4	34.1	68.8
STORY1	C16	COMB17	1.9	-1610.9	16.4	13.2	38.3
STORY1	C16	COMB17	3.7	-1610.9	16.4	-7.8	7.9
STORY1	C16	COMB18	0.0	-1590.1	-25.4	-46.1	-75.1
STORY1	C16	COMB18	1.9	-1590.1	-25.4	-7.6	-28.0
STORY1	C16	COMB18	3.7	-1590.1	-25.4	31.0	19.0
STORY1	C16	COMB19	0.0	-1601.3	18.1	-46.1	74.7
STORY1	C16	COMB19	1.9	-1601.3	18.1	-7.6	41.2
STORY1	C16	COMB19	3.7	-1601.3	18.1	31.0	7.7
STORY1	C16	COMB20	0.0	-1589.0	-28.6	-47.6	-86.9
STORY1	C16	COMB20	1.9	-1589.0	-28.6	-8.0	-33.7
STORY1	C16	COMB20	3.7	-1589.0	-28.6	31.7	19.4
STORY1	C16	COMB21	0.0	-1600.2	14.8	-47.6	62.9
STORY1	C16	COMB21	1.9	-1600.2	14.8	-8.0	35.5
STORY1	C16	COMB21	3.7	-1600.2	14.8	31.7	8.1
STORY1	C16	COMB22	0.0	-1599.1	-28.6	33.4	-86.9
STORY1	C16	COMB22	1.9	-1599.1	-28.6	13.0	-33.8
STORY1	C16	COMB22	3.7	-1599.1	-28.6	-7.4	19.4
STORY1	C16	COMB23	0.0	-1610.3	14.8	33.4	62.9
STORY1	C16	COMB23	1.9	-1610.3	14.8	13.0	35.5
STORY1	C16	COMB23	3.7	-1610.3	14.8	-7.4	8.1
STORY1	C16	COMB24	0.0	-1600.3	-25.4	34.9	-75.1
STORY1	C16	COMB24	1.9	-1600.3	-25.4	13.4	-28.1
STORY1	C16	COMB24	3.7	-1600.3	-25.4	-8.1	19.0
STORY1	C16	COMB25	0.0	-1611.5	18.1	34.9	74.7
STORY1	C16	COMB25	1.9	-1611.5	18.1	13.4	41.2
STORY1	C16	COMB25	3.7	-1611.5	18.1	-8.1	7.7
STORY1	C16	COMB26	0.0	-1026.1	-75.8	-16.2	-253.6
STORY1	C16	COMB26	1.9	-1026.1	-75.8	-1.4	-113.0
STORY1	C16	COMB26	3.7	-1026.1	-75.8	13.4	27.5
STORY1	C16	COMB27	0.0	-1029.2	-75.8	8.1	-253.6
STORY1	C16	COMB27	1.9	-1029.2	-75.8	4.9	-113.0
STORY1	C16	COMB27	3.7	-1029.2	-75.8	1.6	27.5
STORY1	C16	COMB28	0.0	-1063.5	69.0	-16.2	245.8
STORY1	C16	COMB28	1.9	-1063.5	69.0	-1.4	117.8

STORY1	C16	COMB28	3.7	-1063.5	69.0	13.4	-10.2
STORY1	C16	COMB29	0.0	-1066.5	69.0	8.1	245.8
STORY1	C16	COMB29	1.9	-1066.5	69.0	4.9	117.8
STORY1	C16	COMB29	3.7	-1066.5	69.0	1.7	-10.2
STORY1	C16	COMB30	0.0	-1025.7	-77.1	-16.8	-258.3
STORY1	C16	COMB30	1.9	-1025.7	-77.1	-1.6	-115.3
STORY1	C16	COMB30	3.7	-1025.7	-77.1	13.7	27.7
STORY1	C16	COMB31	0.0	-1028.7	-77.1	7.5	-258.3
STORY1	C16	COMB31	1.9	-1028.7	-77.1	4.7	-115.3
STORY1	C16	COMB31	3.7	-1028.7	-77.1	1.9	27.7
STORY1	C16	COMB32	0.0	-1026.6	-74.5	-15.6	-248.9
STORY1	C16	COMB32	1.9	-1026.6	-74.5	-1.3	-110.7
STORY1	C16	COMB32	3.7	-1026.6	-74.5	13.1	27.4
STORY1	C16	COMB33	0.0	-1029.6	-74.5	8.7	-248.9
STORY1	C16	COMB33	1.9	-1029.6	-74.5	5.0	-110.8
STORY1	C16	COMB33	3.7	-1029.6	-74.5	1.4	27.4
STORY1	C16	COMB34	0.0	-1063.9	70.3	-15.6	250.5
STORY1	C16	COMB34	1.9	-1063.9	70.3	-1.3	120.1
STORY1	C16	COMB34	3.7	-1063.9	70.3	13.1	-10.4
STORY1	C16	COMB35	0.0	-1067.0	70.3	8.7	250.5
STORY1	C16	COMB35	1.9	-1067.0	70.3	5.0	120.1
STORY1	C16	COMB35	3.7	-1067.0	70.3	1.4	-10.4
STORY1	C16	COMB36	0.0	-1063.0	67.7	-16.8	241.1
STORY1	C16	COMB36	1.9	-1063.0	67.7	-1.6	115.5
STORY1	C16	COMB36	3.7	-1063.0	67.7	13.7	-10.1
STORY1	C16	COMB37	0.0	-1066.0	67.7	7.5	241.1
STORY1	C16	COMB37	1.9	-1066.0	67.7	4.7	115.5
STORY1	C16	COMB37	3.7	-1066.0	67.7	1.9	-10.1
STORY1	C16	COMB38	0.0	-1035.6	-25.1	-44.6	-78.8
STORY1	C16	COMB38	1.9	-1035.6	-25.1	-8.7	-32.2
STORY1	C16	COMB38	3.7	-1035.6	-25.1	27.1	14.3
STORY1	C16	COMB39	0.0	-1046.8	18.3	-44.6	71.0
STORY1	C16	COMB39	1.9	-1046.8	18.3	-8.7	37.0
STORY1	C16	COMB39	3.7	-1046.8	18.3	27.1	3.0
STORY1	C16	COMB40	0.0	-1045.8	-25.1	36.4	-78.8
STORY1	C16	COMB40	1.9	-1045.8	-25.1	12.2	-32.2
STORY1	C16	COMB40	3.7	-1045.8	-25.1	-12.0	14.3
STORY1	C16	COMB41	0.0	-1057.0	18.3	36.4	71.0
STORY1	C16	COMB41	1.9	-1057.0	18.3	12.2	37.0
STORY1	C16	COMB41	3.7	-1057.0	18.3	-12.0	3.0
STORY1	C16	COMB42	0.0	-1036.2	-23.5	-43.8	-72.9
STORY1	C16	COMB42	1.9	-1036.2	-23.5	-8.6	-29.4
STORY1	C16	COMB42	3.7	-1036.2	-23.5	26.7	14.1
STORY1	C16	COMB43	0.0	-1047.4	20.0	-43.8	76.9

STORY1	C16	COMB43	1.9	-1047.4	20.0	-8.6	39.9
STORY1	C16	COMB43	3.7	-1047.4	20.0	26.7	2.8
STORY1	C16	COMB44	0.0	-1035.1	-26.7	-45.3	-84.7
STORY1	C16	COMB44	1.9	-1035.1	-26.7	-8.9	-35.1
STORY1	C16	COMB44	3.7	-1035.1	-26.7	27.4	14.5
STORY1	C16	COMB45	0.0	-1046.3	16.7	-45.3	65.1
STORY1	C16	COMB45	1.9	-1046.3	16.7	-8.9	34.2
STORY1	C16	COMB45	3.7	-1046.3	16.7	27.4	3.2
STORY1	C16	COMB46	0.0	-1045.2	-26.7	35.7	-84.7
STORY1	C16	COMB46	1.9	-1045.2	-26.7	12.0	-35.1
STORY1	C16	COMB46	3.7	-1045.2	-26.7	-11.7	14.5
STORY1	C16	COMB47	0.0	-1056.4	16.7	35.7	65.1
STORY1	C16	COMB47	1.9	-1056.4	16.7	12.0	34.1
STORY1	C16	COMB47	3.7	-1056.4	16.7	-11.7	3.2
STORY1	C16	COMB48	0.0	-1046.4	-23.5	37.2	-72.9
STORY1	C16	COMB48	1.9	-1046.4	-23.5	12.4	-29.4
STORY1	C16	COMB48	3.7	-1046.4	-23.5	-12.4	14.1
STORY1	C16	COMB49	0.0	-1057.6	20.0	37.2	76.9
STORY1	C16	COMB49	1.9	-1057.6	20.0	12.4	39.8
STORY1	C16	COMB49	3.7	-1057.6	20.0	-12.4	2.8
STORY1	C16	COMB50	0.0	-1596.4	-23.5	-6.4	-66.7
STORY1	C16	COMB50	1.9	-1596.4	-23.5	2.7	-23.2
STORY1	C16	COMB50	3.7	-1596.4	-23.5	11.8	20.3
STORY1	C16	COMB51	0.0	-1604.0	12.9	-6.4	54.5
STORY1	C16	COMB51	1.9	-1604.0	12.9	2.7	30.6
STORY1	C16	COMB51	3.7	-1604.0	12.9	11.8	6.7
STORY1	C16	COMB52	0.0	-1598.9	-5.3	-18.5	-6.1
STORY1	C16	COMB52	1.9	-1598.9	-5.3	-0.3	3.7
STORY1	C16	COMB52	3.7	-1598.9	-5.3	17.9	13.5
STORY1	C16	COMB53	0.0	-1601.5	-5.3	5.8	-6.1
STORY1	C16	COMB53	1.9	-1601.5	-5.3	5.7	3.7
STORY1	C16	COMB53	3.7	-1601.5	-5.3	5.7	13.5
STORY1	C16	COMB54	0.0	-1042.5	-21.5	-4.1	-64.5
STORY1	C16	COMB54	1.9	-1042.5	-21.5	1.7	-24.5
STORY1	C16	COMB54	3.7	-1042.5	-21.5	7.5	15.5
STORY1	C16	COMB55	0.0	-1050.1	14.8	-4.1	56.7
STORY1	C16	COMB55	1.9	-1050.1	14.8	1.7	29.3
STORY1	C16	COMB55	3.7	-1050.1	14.8	7.5	1.9
STORY1	C16	COMB56	0.0	-1045.0	-3.4	-16.2	-3.9
STORY1	C16	COMB56	1.9	-1045.0	-3.4	-1.3	2.4
STORY1	C16	COMB56	3.7	-1045.0	-3.4	13.6	8.7
STORY1	C16	COMB57	0.0	-1047.6	-3.4	8.1	-3.9
STORY1	C16	COMB57	1.9	-1047.6	-3.4	4.8	2.4
STORY1	C16	COMB57	3.7	-1047.6	-3.4	1.4	8.7

Çizelge A.2 : Modelin DBYBHY2007'ye göre C16 Kolonu iç kuvvetleri.

Story	Column	Load	Loc	P	V2	M2	M3
STORY1	C16	COMB1	0.0	-1600.3	-5.2	-5.9	-6.0
STORY1	C16	COMB1	1.9	-1600.3	-5.2	2.5	3.7
STORY1	C16	COMB1	3.7	-1600.3	-5.2	11.0	13.3
STORY1	C16	COMB2	0.0	-1576.1	-84.0	-18.8	-263.8
STORY1	C16	COMB2	1.9	-1576.1	-84.0	-0.5	-108.0
STORY1	C16	COMB2	3.7	-1576.1	-84.0	17.9	47.8
STORY1	C16	COMB3	0.0	-1579.7	-84.0	7.0	-263.8
STORY1	C16	COMB3	1.9	-1579.7	-84.0	5.5	-108.0
STORY1	C16	COMB3	3.7	-1579.7	-84.0	4.0	47.8
STORY1	C16	COMB4	0.0	-1620.9	73.6	-18.9	251.8
STORY1	C16	COMB4	1.9	-1620.9	73.6	-0.5	115.4
STORY1	C16	COMB4	3.7	-1620.9	73.6	17.9	-21.1
STORY1	C16	COMB5	0.0	-1624.5	73.6	7.0	251.8
STORY1	C16	COMB5	1.9	-1624.5	73.6	5.5	115.4
STORY1	C16	COMB5	3.7	-1624.5	73.6	4.0	-21.1
STORY1	C16	COMB10	0.0	-1619.7	71.0	-18.3	242.9
STORY1	C16	COMB10	1.9	-1619.7	71.0	-0.3	111.3
STORY1	C16	COMB10	3.7	-1619.7	71.0	17.6	-20.3
STORY1	C16	COMB11	0.0	-1623.3	71.0	7.6	242.9
STORY1	C16	COMB11	1.9	-1623.3	71.0	5.6	111.3
STORY1	C16	COMB11	3.7	-1623.3	71.0	3.7	-20.3
STORY1	C16	COMB12	0.0	-1620.3	72.1	-19.5	247.0
STORY1	C16	COMB12	1.9	-1620.3	72.1	-0.6	113.2
STORY1	C16	COMB12	3.7	-1620.3	72.1	18.3	-20.6
STORY1	C16	COMB13	0.0	-1624.0	72.1	6.3	247.0
STORY1	C16	COMB13	1.9	-1624.0	72.1	5.3	113.2
STORY1	C16	COMB13	3.7	-1624.0	72.1	4.3	-20.6
STORY1	C16	COMB14	0.0	-1587.5	-28.8	-48.9	-83.3
STORY1	C16	COMB14	1.9	-1587.5	-28.8	-7.4	-29.8
STORY1	C16	COMB14	3.7	-1587.5	-28.8	34.2	23.7
STORY1	C16	COMB15	0.0	-1601.0	18.4	-49.0	71.4
STORY1	C16	COMB15	1.9	-1601.0	18.4	-7.4	37.2
STORY1	C16	COMB15	3.7	-1601.0	18.4	34.2	3.0
STORY1	C16	COMB16	0.0	-1599.6	-28.8	37.1	-83.3
STORY1	C16	COMB16	1.9	-1599.6	-28.8	12.4	-29.8
STORY1	C16	COMB16	3.7	-1599.6	-28.8	-12.3	23.7
STORY1	C16	COMB17	0.0	-1613.1	18.4	37.1	71.4
STORY1	C16	COMB17	1.9	-1613.1	18.4	12.4	37.2
STORY1	C16	COMB17	3.7	-1613.1	18.4	-12.3	3.0
STORY1	C16	COMB18	0.0	-1588.3	-27.1	-48.2	-77.3
STORY1	C16	COMB18	1.9	-1588.3	-27.1	-7.2	-27.1

STORY1	C16	COMB18	3.7	-1588.3	-27.1	33.8	23.1
STORY1	C16	COMB19	0.0	-1601.7	20.2	-48.2	77.4
STORY1	C16	COMB19	1.9	-1601.7	20.2	-7.2	39.9
STORY1	C16	COMB19	3.7	-1601.7	20.2	33.8	2.5
STORY1	C16	COMB20	0.0	-1586.8	-30.6	-49.7	-89.4
STORY1	C16	COMB20	1.9	-1586.8	-30.6	-7.6	-32.6
STORY1	C16	COMB20	3.7	-1586.8	-30.6	34.6	24.2
STORY1	C16	COMB21	0.0	-1600.3	16.6	-49.7	65.3
STORY1	C16	COMB21	1.9	-1600.3	16.6	-7.6	34.4
STORY1	C16	COMB21	3.7	-1600.3	16.6	34.6	3.6
STORY1	C16	COMB22	0.0	-1598.9	-30.6	36.3	-89.4
STORY1	C16	COMB22	1.9	-1598.9	-30.6	12.2	-32.6
STORY1	C16	COMB22	3.7	-1598.9	-30.6	-11.9	24.2
STORY1	C16	COMB23	0.0	-1612.4	16.6	36.3	65.3
STORY1	C16	COMB23	1.9	-1612.4	16.6	12.2	34.4
STORY1	C16	COMB23	3.7	-1612.4	16.6	-11.9	3.6
STORY1	C16	COMB24	0.0	-1600.4	-27.1	37.9	-77.3
STORY1	C16	COMB24	1.9	-1600.4	-27.1	12.6	-27.1
STORY1	C16	COMB24	3.7	-1600.4	-27.1	-12.7	23.1
STORY1	C16	COMB25	0.0	-1613.8	20.2	37.9	77.4
STORY1	C16	COMB25	1.9	-1613.8	20.2	12.6	39.9
STORY1	C16	COMB25	3.7	-1613.8	20.2	-12.7	2.4
STORY1	C16	COMB26	0.0	-1022.2	-82.1	-16.7	-261.6
STORY1	C16	COMB26	1.9	-1022.2	-82.1	-1.4	-109.3
STORY1	C16	COMB26	3.7	-1022.2	-82.1	14.0	43.0
STORY1	C16	COMB27	0.0	-1025.8	-82.1	9.1	-261.6
STORY1	C16	COMB27	1.9	-1025.8	-82.1	4.6	-109.3
STORY1	C16	COMB27	3.7	-1025.8	-82.1	0.0	43.0
STORY1	C16	COMB28	0.0	-1067.0	75.4	-16.7	254.0
STORY1	C16	COMB28	1.9	-1067.0	75.4	-1.4	114.0
STORY1	C16	COMB28	3.7	-1067.0	75.4	14.0	-25.9
STORY1	C16	COMB29	0.0	-1070.6	75.4	9.1	254.0
STORY1	C16	COMB29	1.9	-1070.6	75.4	4.6	114.0
STORY1	C16	COMB29	3.7	-1070.6	75.4	0.0	-25.9
STORY1	C16	COMB30	0.0	-1021.6	-83.5	-17.3	-266.5
STORY1	C16	COMB30	1.9	-1021.6	-83.5	-1.5	-111.5
STORY1	C16	COMB30	3.7	-1021.6	-83.5	14.3	43.4
STORY1	C16	COMB31	0.0	-1025.2	-83.5	8.5	-266.5
STORY1	C16	COMB31	1.9	-1025.2	-83.5	4.4	-111.5
STORY1	C16	COMB31	3.7	-1025.2	-83.5	0.4	43.4
STORY1	C16	COMB32	0.0	-1022.7	-80.7	-16.1	-256.8
STORY1	C16	COMB32	1.9	-1022.7	-80.7	-1.2	-107.1
STORY1	C16	COMB32	3.7	-1022.7	-80.7	13.6	42.5
STORY1	C16	COMB33	0.0	-1026.4	-80.7	9.8	-256.8

STORY1	C16	COMB33	1.9	-1026.4	-80.7	4.7	-107.1
STORY1	C16	COMB33	3.7	-1026.4	-80.7	-0.3	42.5
STORY1	C16	COMB34	0.0	-1065.8	72.8	-16.1	245.1
STORY1	C16	COMB34	1.9	-1065.8	72.8	-1.2	110.0
STORY1	C16	COMB34	3.7	-1065.8	72.8	13.7	-25.1
STORY1	C16	COMB35	0.0	-1069.4	72.8	9.7	245.1
STORY1	C16	COMB35	1.9	-1069.4	72.8	4.7	110.0
STORY1	C16	COMB35	3.7	-1069.4	72.8	-0.3	-25.1
STORY1	C16	COMB36	0.0	-1066.4	74.0	-17.3	249.1
STORY1	C16	COMB36	1.9	-1066.4	74.0	-1.5	111.8
STORY1	C16	COMB36	3.7	-1066.4	74.0	14.3	-25.5
STORY1	C16	COMB37	0.0	-1070.0	74.0	8.5	249.1
STORY1	C16	COMB37	1.9	-1070.0	74.0	4.4	111.8
STORY1	C16	COMB37	3.7	-1070.0	74.0	0.4	-25.5
STORY1	C16	COMB38	0.0	-1033.6	-27.0	-46.8	-81.2
STORY1	C16	COMB38	1.9	-1033.6	-27.0	-8.3	-31.2
STORY1	C16	COMB38	3.7	-1033.6	-27.0	30.2	18.9
STORY1	C16	COMB39	0.0	-1047.1	20.3	-46.8	73.5
STORY1	C16	COMB39	1.9	-1047.1	20.3	-8.3	35.9
STORY1	C16	COMB39	3.7	-1047.1	20.3	30.2	-1.8
STORY1	C16	COMB40	0.0	-1045.7	-27.0	39.2	-81.2
STORY1	C16	COMB40	1.9	-1045.7	-27.0	11.5	-31.2
STORY1	C16	COMB40	3.7	-1045.7	-27.0	-16.2	18.9
STORY1	C16	COMB41	0.0	-1059.1	20.3	39.2	73.5
STORY1	C16	COMB41	1.9	-1059.1	20.3	11.5	35.9
STORY1	C16	COMB41	3.7	-1059.1	20.3	-16.2	-1.8
STORY1	C16	COMB42	0.0	-1034.3	-25.2	-46.0	-75.1
STORY1	C16	COMB42	1.9	-1034.3	-25.2	-8.1	-28.4
STORY1	C16	COMB42	3.7	-1034.3	-25.2	29.8	18.3
STORY1	C16	COMB43	0.0	-1047.8	22.1	-46.0	79.6
STORY1	C16	COMB43	1.9	-1047.8	22.1	-8.1	38.6
STORY1	C16	COMB43	3.7	-1047.8	22.1	29.8	-2.4
STORY1	C16	COMB44	0.0	-1032.9	-28.8	-47.6	-87.2
STORY1	C16	COMB44	1.9	-1032.9	-28.8	-8.5	-33.9
STORY1	C16	COMB44	3.7	-1032.9	-28.8	30.7	19.4
STORY1	C16	COMB45	0.0	-1046.3	18.5	-47.6	67.5
STORY1	C16	COMB45	1.9	-1046.3	18.5	-8.5	33.1
STORY1	C16	COMB45	3.7	-1046.3	18.5	30.7	-1.2
STORY1	C16	COMB46	0.0	-1045.0	-28.7	38.4	-87.2
STORY1	C16	COMB46	1.9	-1045.0	-28.7	11.3	-33.9
STORY1	C16	COMB46	3.7	-1045.0	-28.7	-15.8	19.4
STORY1	C16	COMB47	0.0	-1058.4	18.5	38.4	67.5
STORY1	C16	COMB47	1.9	-1058.4	18.5	11.3	33.1
STORY1	C16	COMB47	3.7	-1058.4	18.5	-15.8	-1.3

STORY1	C16	COMB48	0.0	-1046.4	-25.2	40.0	-75.1
STORY1	C16	COMB48	1.9	-1046.4	-25.2	11.7	-28.4
STORY1	C16	COMB48	3.7	-1046.4	-25.2	-16.7	18.3
STORY1	C16	COMB49	0.0	-1059.9	22.1	40.0	79.6
STORY1	C16	COMB49	1.9	-1059.9	22.1	11.7	38.6
STORY1	C16	COMB49	3.7	-1059.9	22.1	-16.7	-2.4
STORY1	C16	COMB50	0.0	-1596.2	-23.3	-5.9	-63.4
STORY1	C16	COMB50	1.9	-1596.2	-23.3	2.5	-20.2
STORY1	C16	COMB50	3.7	-1596.2	-23.3	11.0	23.1
STORY1	C16	COMB51	0.0	-1604.4	12.9	-5.9	51.4
STORY1	C16	COMB51	1.9	-1604.4	12.9	2.5	27.5
STORY1	C16	COMB51	3.7	-1604.4	12.9	11.0	3.6
STORY1	C16	COMB52	0.0	-1598.9	-5.2	-17.8	-6.0
STORY1	C16	COMB52	1.9	-1598.9	-5.2	-0.1	3.7
STORY1	C16	COMB52	3.7	-1598.9	-5.2	17.5	13.3
STORY1	C16	COMB53	0.0	-1601.7	-5.2	5.9	-6.0
STORY1	C16	COMB53	1.9	-1601.7	-5.2	5.1	3.7
STORY1	C16	COMB53	3.7	-1601.7	-5.2	4.4	13.3
STORY1	C16	COMB54	0.0	-1042.3	-21.4	-3.8	-61.2
STORY1	C16	COMB54	1.9	-1042.3	-21.4	1.6	-21.5
STORY1	C16	COMB54	3.7	-1042.3	-21.4	7.0	18.3
STORY1	C16	COMB55	0.0	-1050.5	14.8	-3.8	53.6
STORY1	C16	COMB55	1.9	-1050.5	14.8	1.6	26.2
STORY1	C16	COMB55	3.7	-1050.5	14.8	7.0	-1.2
STORY1	C16	COMB56	0.0	-1045.0	-3.3	-15.6	-3.8
STORY1	C16	COMB56	1.9	-1045.0	-3.3	-1.0	2.4
STORY1	C16	COMB56	3.7	-1045.0	-3.3	13.6	8.5
STORY1	C16	COMB57	0.0	-1047.8	-3.3	8.0	-3.8
STORY1	C16	COMB57	1.9	-1047.8	-3.3	4.2	2.3
STORY1	C16	COMB57	3.7	-1047.8	-3.3	0.4	8.5

Çizelge A.3 : Çelik levhalar eklenmiş modelde C22 Kolonunun iç kuvvetleri

Story	Column	Load	Loc	P	V2	M2	M3
STORY1	C22	COMB1	0.0	-763.5	-20.2	-12.7	-29.2
STORY1	C22	COMB1	1.9	-781.4	0.2	3.7	-6.3
STORY1	C22	COMB1	3.7	-792.2	12.5	20.2	-18.4
STORY1	C22	COMB2	0.0	-2777.0	-35.3	-22.8	-175.7
STORY1	C22	COMB2	1.9	-2780.2	-31.7	-0.1	-132.6
STORY1	C22	COMB2	3.7	-2598.6	-238.5	22.6	93.1
STORY1	C22	COMB3	0.0	-2756.5	-34.7	-1.4	-174.9
STORY1	C22	COMB3	1.9	-2759.2	-31.6	7.0	-132.7
STORY1	C22	COMB3	3.7	-2576.9	-239.0	15.3	93.3

STORY1	C22	COMB4	0.0	1221.2	-5.7	-24.1	115.4
STORY1	C22	COMB4	1.9	1188.6	31.4	0.4	119.1
STORY1	C22	COMB4	3.7	987.1	260.9	25.0	-128.1
STORY1	C22	COMB5	0.0	1241.8	-5.0	-2.7	116.2
STORY1	C22	COMB5	1.9	1209.7	31.5	7.5	118.9
STORY1	C22	COMB5	3.7	1008.7	260.3	17.7	-127.9
STORY1	C22	COMB6	0.0	-2876.9	-36.3	-22.3	-182.2
STORY1	C22	COMB6	1.9	-2880.0	-32.8	0.0	-138.1
STORY1	C22	COMB6	3.7	-2690.8	-248.2	22.4	96.5
STORY1	C22	COMB7	0.0	-2856.3	-35.6	-0.9	-181.5
STORY1	C22	COMB7	1.9	-2859.0	-32.6	7.1	-138.2
STORY1	C22	COMB7	3.7	-2669.1	-248.7	15.1	96.7
STORY1	C22	COMB8	0.0	-2660.6	-34.6	-23.2	-166.8
STORY1	C22	COMB8	1.9	-2665.0	-29.6	-0.2	-124.8
STORY1	C22	COMB8	3.7	-2495.6	-222.4	22.8	85.4
STORY1	C22	COMB9	0.0	-2640.0	-33.9	-1.8	-166.0
STORY1	C22	COMB9	1.9	-2644.0	-29.4	6.9	-125.0
STORY1	C22	COMB9	3.7	-2474.0	-223.0	15.5	85.6
STORY1	C22	COMB10	0.0	1329.4	-4.8	-24.5	123.1
STORY1	C22	COMB10	1.9	1296.1	33.0	0.3	125.7
STORY1	C22	COMB10	3.7	1084.6	273.7	25.2	-133.6
STORY1	C22	COMB11	0.0	1349.9	-4.1	-3.1	123.9
STORY1	C22	COMB11	1.9	1317.2	33.1	7.4	125.5
STORY1	C22	COMB11	3.7	1106.3	273.2	17.9	-133.4
STORY1	C22	COMB12	0.0	1113.1	-6.5	-23.6	107.7
STORY1	C22	COMB12	1.9	1081.1	29.8	0.6	112.4
STORY1	C22	COMB12	3.7	889.5	248.0	24.8	-122.5
STORY1	C22	COMB13	0.0	1133.6	-5.8	-2.2	108.4
STORY1	C22	COMB13	1.9	1102.2	30.0	7.6	112.3
STORY1	C22	COMB13	3.7	911.2	247.4	17.5	-122.3
STORY1	C22	COMB14	0.0	-1398.8	-25.8	-48.2	-74.3
STORY1	C22	COMB14	1.9	-1413.0	-9.6	-8.2	-43.9
STORY1	C22	COMB14	3.7	-1367.0	-61.9	31.9	14.7
STORY1	C22	COMB15	0.0	-199.3	-16.9	-48.6	13.1
STORY1	C22	COMB15	1.9	-222.3	9.4	-8.0	31.6
STORY1	C22	COMB15	3.7	-291.3	87.9	32.6	-51.6
STORY1	C22	COMB16	0.0	-1330.2	-23.5	23.1	-71.8
STORY1	C22	COMB16	1.9	-1342.8	-9.1	15.4	-44.4
STORY1	C22	COMB16	3.7	-1294.8	-63.8	7.7	15.4
STORY1	C22	COMB17	0.0	-130.7	-14.6	22.8	15.6
STORY1	C22	COMB17	1.9	-152.2	9.8	15.6	31.1
STORY1	C22	COMB17	3.7	-219.1	86.0	8.4	-51.0
STORY1	C22	COMB18	0.0	-1282.4	-24.9	-48.7	-65.9
STORY1	C22	COMB18	1.9	-1297.4	-7.9	-8.3	-36.8

STORY1	C22	COMB18	3.7	-1262.1	-48.0	32.1	8.7
STORY1	C22	COMB19	0.0	-82.9	-16.0	-49.1	21.4
STORY1	C22	COMB19	1.9	-106.7	11.1	-8.1	38.7
STORY1	C22	COMB19	3.7	-186.4	101.8	32.8	-57.6
STORY1	C22	COMB20	0.0	-1515.1	-26.7	-47.7	-82.6
STORY1	C22	COMB20	1.9	-1528.6	-11.3	-8.0	-51.1
STORY1	C22	COMB20	3.7	-1471.9	-75.9	31.7	20.7
STORY1	C22	COMB21	0.0	-315.6	-17.8	-48.1	4.7
STORY1	C22	COMB21	1.9	-338.0	7.6	-7.9	24.4
STORY1	C22	COMB21	3.7	-396.2	73.9	32.4	-45.6
STORY1	C22	COMB22	0.0	-1446.6	-24.4	23.6	-80.1
STORY1	C22	COMB22	1.9	-1458.5	-10.9	15.5	-51.6
STORY1	C22	COMB22	3.7	-1399.7	-77.8	7.5	21.4
STORY1	C22	COMB23	0.0	-247.1	-15.5	23.2	7.2
STORY1	C22	COMB23	1.9	-267.8	8.1	15.7	23.9
STORY1	C22	COMB23	3.7	-324.0	72.0	8.2	-44.9
STORY1	C22	COMB24	0.0	-1213.8	-22.6	22.7	-63.4
STORY1	C22	COMB24	1.9	-1227.2	-7.4	15.3	-37.3
STORY1	C22	COMB24	3.7	-1189.9	-49.8	7.9	9.3
STORY1	C22	COMB25	0.0	-14.4	-13.7	22.3	23.9
STORY1	C22	COMB25	1.9	-36.5	11.5	15.5	38.2
STORY1	C22	COMB25	3.7	-114.2	100.0	8.6	-57.0
STORY1	C22	COMB26	0.0	-2527.9	-28.8	-18.3	-166.2
STORY1	C22	COMB26	1.9	-2525.3	-31.8	-1.5	-130.5
STORY1	C22	COMB26	3.7	-2340.1	-242.6	15.3	99.2
STORY1	C22	COMB27	0.0	-2507.4	-28.1	3.1	-165.4
STORY1	C22	COMB27	1.9	-2504.2	-31.7	5.6	-130.6
STORY1	C22	COMB27	3.7	-2318.4	-243.1	8.1	99.4
STORY1	C22	COMB28	0.0	1470.3	0.9	-19.6	124.9
STORY1	C22	COMB28	1.9	1443.6	31.3	-0.9	121.2
STORY1	C22	COMB28	3.7	1245.6	256.7	17.7	-121.9
STORY1	C22	COMB29	0.0	1490.9	1.6	1.8	125.7
STORY1	C22	COMB29	1.9	1464.7	31.4	6.2	121.0
STORY1	C22	COMB29	3.7	1267.2	256.2	10.5	-121.7
STORY1	C22	COMB30	0.0	-2627.8	-29.7	-17.8	-172.7
STORY1	C22	COMB30	1.9	-2625.0	-32.9	-1.4	-136.0
STORY1	C22	COMB30	3.7	-2432.3	-252.3	15.1	102.6
STORY1	C22	COMB31	0.0	-2607.2	-29.1	3.6	-172.0
STORY1	C22	COMB31	1.9	-2604.0	-32.7	5.7	-136.2
STORY1	C22	COMB31	3.7	-2410.6	-252.9	7.9	102.8
STORY1	C22	COMB32	0.0	-2411.5	-28.0	-18.7	-157.3
STORY1	C22	COMB32	1.9	-2410.0	-29.7	-1.6	-122.7
STORY1	C22	COMB32	3.7	-2237.1	-226.5	15.5	91.6
STORY1	C22	COMB33	0.0	-2390.9	-27.3	2.7	-156.5

STORY1	C22	COMB33	1.9	-2389.0	-29.6	5.5	-122.9
STORY1	C22	COMB33	3.7	-2215.5	-227.1	8.3	91.8
STORY1	C22	COMB34	0.0	1578.5	1.8	-20.0	132.6
STORY1	C22	COMB34	1.9	1551.1	32.9	-1.0	127.8
STORY1	C22	COMB34	3.7	1343.1	269.6	17.9	-127.4
STORY1	C22	COMB35	0.0	1599.0	2.4	1.4	133.4
STORY1	C22	COMB35	1.9	1572.2	33.0	6.0	127.6
STORY1	C22	COMB35	3.7	1364.8	269.1	10.7	-127.2
STORY1	C22	COMB36	0.0	1362.2	0.0	-19.1	117.2
STORY1	C22	COMB36	1.9	1336.1	29.7	-0.8	114.5
STORY1	C22	COMB36	3.7	1148.0	243.8	17.5	-116.4
STORY1	C22	COMB37	0.0	1382.7	0.7	2.3	117.9
STORY1	C22	COMB37	1.9	1357.2	29.8	6.3	114.4
STORY1	C22	COMB37	3.7	1169.7	243.3	10.3	-116.2
STORY1	C22	COMB38	0.0	-1149.7	-19.2	-43.7	-64.8
STORY1	C22	COMB38	1.9	-1158.0	-9.7	-9.5	-41.8
STORY1	C22	COMB38	3.7	-1108.5	-66.1	24.6	20.9
STORY1	C22	COMB39	0.0	49.8	-10.3	-44.1	22.6
STORY1	C22	COMB39	1.9	32.6	9.2	-9.4	33.7
STORY1	C22	COMB39	3.7	-32.8	83.7	25.4	-45.5
STORY1	C22	COMB40	0.0	-1081.1	-16.9	27.7	-62.3
STORY1	C22	COMB40	1.9	-1087.8	-9.3	14.1	-42.4
STORY1	C22	COMB40	3.7	-1036.3	-67.9	0.5	21.5
STORY1	C22	COMB41	0.0	118.4	-8.0	27.3	25.1
STORY1	C22	COMB41	1.9	102.8	9.7	14.2	33.1
STORY1	C22	COMB41	3.7	39.4	81.9	1.2	-44.8
STORY1	C22	COMB42	0.0	-1033.3	-18.3	-44.2	-56.4
STORY1	C22	COMB42	1.9	-1042.4	-8.0	-9.7	-34.7
STORY1	C22	COMB42	3.7	-1003.6	-52.1	24.9	14.8
STORY1	C22	COMB43	0.0	166.2	-9.4	-44.6	30.9
STORY1	C22	COMB43	1.9	148.3	11.0	-9.5	40.8
STORY1	C22	COMB43	3.7	72.1	97.7	25.6	-51.5
STORY1	C22	COMB44	0.0	-1266.0	-20.1	-43.2	-73.1
STORY1	C22	COMB44	1.9	-1273.7	-11.4	-9.4	-49.0
STORY1	C22	COMB44	3.7	-1213.4	-80.0	24.4	26.9
STORY1	C22	COMB45	0.0	-66.5	-11.2	-43.6	14.2
STORY1	C22	COMB45	1.9	-83.0	7.5	-9.2	26.5
STORY1	C22	COMB45	3.7	-137.7	69.8	25.1	-39.4
STORY1	C22	COMB46	0.0	-1197.5	-17.8	28.1	-70.6
STORY1	C22	COMB46	1.9	-1203.5	-11.0	14.2	-49.5
STORY1	C22	COMB46	3.7	-1141.2	-81.9	0.2	27.5
STORY1	C22	COMB47	0.0	2.0	-8.9	27.7	16.7
STORY1	C22	COMB47	1.9	-12.8	8.0	14.3	26.0
STORY1	C22	COMB47	3.7	-65.5	67.9	1.0	-38.8

STORY1	C22	COMB48	0.0	-964.7	-16.0	27.2	-53.9
STORY1	C22	COMB48	1.9	-972.2	-7.5	13.9	-35.2
STORY1	C22	COMB48	3.7	-931.4	-54.0	0.7	15.5
STORY1	C22	COMB49	0.0	234.8	-7.1	26.8	33.4
STORY1	C22	COMB49	1.9	218.5	11.4	14.1	40.3
STORY1	C22	COMB49	3.7	144.3	95.8	1.4	-50.8
STORY1	C22	COMB50	0.0	-922.7	-21.0	-12.7	-41.7
STORY1	C22	COMB50	1.9	-938.7	-2.8	3.7	-17.5
STORY1	C22	COMB50	3.7	-931.5	-10.9	20.1	-7.4
STORY1	C22	COMB51	0.0	-604.3	-19.4	-12.8	-16.7
STORY1	C22	COMB51	1.9	-624.2	3.2	3.7	5.0
STORY1	C22	COMB51	3.7	-652.9	35.9	20.2	-29.5
STORY1	C22	COMB52	0.0	-767.1	-20.3	-17.3	-29.3
STORY1	C22	COMB52	1.9	-785.1	0.2	2.3	-6.2
STORY1	C22	COMB52	3.7	-796.0	12.6	21.8	-18.5
STORY1	C22	COMB53	0.0	-759.9	-20.1	-8.1	-29.0
STORY1	C22	COMB53	1.9	-777.7	0.2	5.2	-6.3
STORY1	C22	COMB53	3.7	-788.4	12.4	18.5	-18.4
STORY1	C22	COMB54	0.0	-673.6	-14.4	-8.2	-32.1
STORY1	C22	COMB54	1.9	-683.7	-3.0	2.3	-15.4
STORY1	C22	COMB54	3.7	-673.0	-15.1	12.8	-1.2
STORY1	C22	COMB55	0.0	-355.2	-12.9	-8.3	-7.2
STORY1	C22	COMB55	1.9	-369.2	3.1	2.4	7.1
STORY1	C22	COMB55	3.7	-394.4	31.8	13.0	-23.4
STORY1	C22	COMB56	0.0	-518.0	-13.8	-12.8	-19.8
STORY1	C22	COMB56	1.9	-530.1	0.1	0.9	-4.2
STORY1	C22	COMB56	3.7	-537.5	8.5	14.6	-12.3
STORY1	C22	COMB57	0.0	-510.8	-13.5	-3.6	-19.5
STORY1	C22	COMB57	1.9	-522.8	0.1	3.8	-4.2
STORY1	C22	COMB57	3.7	-529.9	8.3	11.2	-12.3

Çizelge A.4 : Kolonları takviye edilmiş model

Story	Column	Load	Loc	P	V2	M2	M3
STORY1	C22	COMB1	0.0	-793.1	-15.4	-13.6	-29.0
STORY1	C22	COMB1	1.9	-806.8	0.1	3.8	-11.5
STORY1	C22	COMB1	3.7	-814.2	8.6	21.2	-20.0
STORY1	C22	COMB2	0.0	-2909.5	-29.8	-27.2	-248.5
STORY1	C22	COMB2	1.9	-2888.2	-54.0	-1.9	-195.3
STORY1	C22	COMB2	3.7	-2704.3	-263.3	23.5	76.7
STORY1	C22	COMB3	0.0	-2889.8	-29.3	1.0	-247.9
STORY1	C22	COMB3	1.9	-2868.2	-53.9	9.1	-195.4
STORY1	C22	COMB3	3.7	-2683.9	-263.7	17.2	76.8

STORY1	C22	COMB4	0.0	1295.2	-1.6	-28.2	188.0
STORY1	C22	COMB4	1.9	1247.1	53.2	-1.5	171.1
STORY1	C22	COMB4	3.7	1050.2	277.3	25.3	-114.5
STORY1	C22	COMB5	0.0	1314.8	-1.1	0.1	188.6
STORY1	C22	COMB5	1.9	1267.1	53.3	9.5	171.0
STORY1	C22	COMB5	3.7	1070.6	277.0	18.9	-114.3
STORY1	C22	COMB6	0.0	-3012.1	-30.4	-26.7	-257.8
STORY1	C22	COMB6	1.9	-2989.9	-55.7	-1.7	-203.4
STORY1	C22	COMB6	3.7	-2798.5	-273.5	23.4	78.8
STORY1	C22	COMB7	0.0	-2992.4	-29.9	1.5	-257.2
STORY1	C22	COMB7	1.9	-2969.9	-55.6	9.3	-203.5
STORY1	C22	COMB7	3.7	-2778.1	-273.9	17.0	79.0
STORY1	C22	COMB8	0.0	-2790.1	-29.0	-27.8	-235.3
STORY1	C22	COMB8	1.9	-2771.2	-50.4	-2.0	-184.4
STORY1	C22	COMB8	3.7	-2599.3	-246.1	23.7	69.7
STORY1	C22	COMB9	0.0	-2770.4	-28.4	0.4	-234.7
STORY1	C22	COMB9	1.9	-2751.2	-50.3	8.9	-184.5
STORY1	C22	COMB9	3.7	-2578.9	-246.5	17.3	69.8
STORY1	C22	COMB10	0.0	1406.2	-0.8	-28.7	199.3
STORY1	C22	COMB10	1.9	1356.4	55.9	-1.6	180.6
STORY1	C22	COMB10	3.7	1149.8	291.1	25.4	-119.1
STORY1	C22	COMB11	0.0	1425.8	-0.3	-0.5	199.9
STORY1	C22	COMB11	1.9	1376.4	56.0	9.3	180.5
STORY1	C22	COMB11	3.7	1170.2	290.7	19.1	-118.9
STORY1	C22	COMB12	0.0	1184.2	-2.3	-27.6	176.7
STORY1	C22	COMB12	1.9	1137.7	50.5	-1.3	161.5
STORY1	C22	COMB12	3.7	950.6	263.6	25.1	-109.9
STORY1	C22	COMB13	0.0	1203.8	-1.8	0.6	177.3
STORY1	C22	COMB13	1.9	1157.8	50.7	9.7	161.5
STORY1	C22	COMB13	3.7	971.0	263.2	18.7	-109.8
STORY1	C22	COMB14	0.0	-1457.8	-20.5	-60.5	-95.7
STORY1	C22	COMB14	1.9	-1461.5	-16.3	-14.5	-66.5
STORY1	C22	COMB14	3.7	-1412.2	-72.4	31.6	8.8
STORY1	C22	COMB15	0.0	-196.4	-12.0	-60.8	35.2
STORY1	C22	COMB15	1.9	-220.9	15.9	-14.3	43.4
STORY1	C22	COMB15	3.7	-285.9	89.8	32.1	-48.6
STORY1	C22	COMB16	0.0	-1392.3	-18.8	33.6	-93.7
STORY1	C22	COMB16	1.9	-1394.8	-15.9	22.0	-66.8
STORY1	C22	COMB16	3.7	-1344.1	-73.7	10.3	9.3
STORY1	C22	COMB17	0.0	-130.9	-10.3	33.3	37.2
STORY1	C22	COMB17	1.9	-154.3	16.3	22.1	43.1
STORY1	C22	COMB17	3.7	-217.7	88.5	10.9	-48.1
STORY1	C22	COMB18	0.0	-1338.4	-19.7	-61.1	-83.6
STORY1	C22	COMB18	1.9	-1343.9	-13.4	-14.7	-56.2

STORY1	C22	COMB18	3.7	-1305.1	-57.5	31.8	3.7
STORY1	C22	COMB19	0.0	-77.0	-11.2	-61.4	47.4
STORY1	C22	COMB19	1.9	-103.4	18.8	-14.6	53.7
STORY1	C22	COMB19	3.7	-178.8	104.7	32.3	-53.6
STORY1	C22	COMB20	0.0	-1577.2	-21.3	-59.9	-107.9
STORY1	C22	COMB20	1.9	-1579.1	-19.2	-14.3	-76.7
STORY1	C22	COMB20	3.7	-1519.3	-87.3	31.4	13.8
STORY1	C22	COMB21	0.0	-315.9	-12.8	-60.2	23.0
STORY1	C22	COMB21	1.9	-338.5	13.0	-14.1	33.2
STORY1	C22	COMB21	3.7	-392.9	74.9	31.9	-43.6
STORY1	C22	COMB22	0.0	-1511.8	-19.6	34.2	-105.9
STORY1	C22	COMB22	1.9	-1512.4	-18.8	22.2	-77.0
STORY1	C22	COMB22	3.7	-1451.1	-88.6	10.2	14.3
STORY1	C22	COMB23	0.0	-250.4	-11.1	33.9	25.0
STORY1	C22	COMB23	1.9	-271.9	13.4	22.3	32.9
STORY1	C22	COMB23	3.7	-324.8	73.6	10.7	-43.1
STORY1	C22	COMB24	0.0	-1272.9	-18.0	33.0	-81.6
STORY1	C22	COMB24	1.9	-1277.3	-13.0	21.8	-56.5
STORY1	C22	COMB24	3.7	-1237.0	-58.8	10.5	4.2
STORY1	C22	COMB25	0.0	-11.5	-9.5	32.7	49.4
STORY1	C22	COMB25	1.9	-36.7	19.2	21.9	53.4
STORY1	C22	COMB25	3.7	-110.7	103.4	11.1	-53.1
STORY1	C22	COMB26	0.0	-2650.6	-24.8	-22.4	-239.0
STORY1	C22	COMB26	1.9	-2624.9	-54.1	-3.3	-191.5
STORY1	C22	COMB26	3.7	-2438.6	-266.1	15.9	83.4
STORY1	C22	COMB27	0.0	-2631.0	-24.3	5.8	-238.4
STORY1	C22	COMB27	1.9	-2604.9	-54.0	7.7	-191.6
STORY1	C22	COMB27	3.7	-2418.2	-266.5	9.5	83.5
STORY1	C22	COMB28	0.0	1554.0	3.4	-23.4	197.5
STORY1	C22	COMB28	1.9	1510.3	53.1	-2.9	174.9
STORY1	C22	COMB28	3.7	1315.8	274.5	17.6	-107.8
STORY1	C22	COMB29	0.0	1573.6	3.9	4.9	198.0
STORY1	C22	COMB29	1.9	1530.3	53.2	8.1	174.8
STORY1	C22	COMB29	3.7	1336.3	274.1	11.3	-107.7
STORY1	C22	COMB30	0.0	-2753.3	-25.5	-21.9	-248.4
STORY1	C22	COMB30	1.9	-2726.6	-55.8	-3.1	-199.6
STORY1	C22	COMB30	3.7	-2532.8	-276.4	15.7	85.5
STORY1	C22	COMB31	0.0	-2733.6	-24.9	6.4	-247.8
STORY1	C22	COMB31	1.9	-2706.6	-55.7	7.9	-199.7
STORY1	C22	COMB31	3.7	-2512.4	-276.8	9.4	85.7
STORY1	C22	COMB32	0.0	-2531.3	-24.0	-23.0	-225.8
STORY1	C22	COMB32	1.9	-2508.0	-50.5	-3.5	-180.6
STORY1	C22	COMB32	3.7	-2333.6	-248.9	16.1	76.4
STORY1	C22	COMB33	0.0	-2511.6	-23.5	5.2	-225.2

STORY1	C22	COMB33	1.9	-2488.0	-50.4	7.5	-180.7
STORY1	C22	COMB33	3.7	-2313.2	-249.3	9.7	76.5
STORY1	C22	COMB34	0.0	1665.0	4.2	-23.9	208.7
STORY1	C22	COMB34	1.9	1619.6	55.8	-3.0	184.4
STORY1	C22	COMB34	3.7	1415.4	288.2	17.8	-112.4
STORY1	C22	COMB35	0.0	1684.6	4.7	4.3	209.3
STORY1	C22	COMB35	1.9	1639.6	55.9	7.9	184.3
STORY1	C22	COMB35	3.7	1435.9	287.8	11.4	-112.2
STORY1	C22	COMB36	0.0	1443.0	2.7	-22.8	186.2
STORY1	C22	COMB36	1.9	1401.0	50.5	-2.7	165.4
STORY1	C22	COMB36	3.7	1216.2	260.8	17.5	-103.2
STORY1	C22	COMB37	0.0	1462.6	3.2	5.4	186.8
STORY1	C22	COMB37	1.9	1421.0	50.6	8.3	165.3
STORY1	C22	COMB37	3.7	1236.7	260.4	11.1	-103.1
STORY1	C22	COMB38	0.0	-1199.0	-15.5	-55.7	-86.3
STORY1	C22	COMB38	1.9	-1198.3	-16.4	-15.9	-62.7
STORY1	C22	COMB38	3.7	-1146.5	-75.2	23.9	15.4
STORY1	C22	COMB39	0.0	62.4	-7.0	-56.0	44.7
STORY1	C22	COMB39	1.9	42.3	15.8	-15.8	47.2
STORY1	C22	COMB39	3.7	-20.2	87.0	24.5	-41.9
STORY1	C22	COMB40	0.0	-1133.5	-13.8	38.4	-84.3
STORY1	C22	COMB40	1.9	-1131.6	-16.0	20.6	-63.0
STORY1	C22	COMB40	3.7	-1078.4	-76.5	2.7	15.9
STORY1	C22	COMB41	0.0	127.9	-5.3	38.1	46.7
STORY1	C22	COMB41	1.9	109.0	16.2	20.7	46.9
STORY1	C22	COMB41	3.7	47.9	85.7	3.2	-41.4
STORY1	C22	COMB42	0.0	-1079.6	-14.7	-56.3	-74.1
STORY1	C22	COMB42	1.9	-1080.7	-13.5	-16.1	-52.4
STORY1	C22	COMB42	3.7	-1039.5	-60.4	24.1	10.4
STORY1	C22	COMB43	0.0	181.8	-6.2	-56.6	56.8
STORY1	C22	COMB43	1.9	159.9	18.7	-16.0	57.5
STORY1	C22	COMB43	3.7	86.9	101.8	24.7	-46.9
STORY1	C22	COMB44	0.0	-1318.4	-16.3	-55.1	-98.5
STORY1	C22	COMB44	1.9	-1315.8	-19.3	-15.7	-72.9
STORY1	C22	COMB44	3.7	-1253.6	-90.1	23.7	20.5
STORY1	C22	COMB45	0.0	-57.0	-7.8	-55.4	32.5
STORY1	C22	COMB45	1.9	-75.3	12.9	-15.5	37.0
STORY1	C22	COMB45	3.7	-127.3	72.1	24.3	-36.9
STORY1	C22	COMB46	0.0	-1253.0	-14.6	39.0	-96.5
STORY1	C22	COMB46	1.9	-1249.2	-18.9	20.8	-73.2
STORY1	C22	COMB46	3.7	-1185.5	-91.4	2.5	21.0
STORY1	C22	COMB47	0.0	8.5	-6.1	38.7	34.5
STORY1	C22	COMB47	1.9	-8.6	13.3	20.9	36.7
STORY1	C22	COMB47	3.7	-59.1	70.8	3.0	-36.4

STORY1	C22	COMB48	0.0	-1014.1	-13.0	37.8	-72.1
STORY1	C22	COMB48	1.9	-1014.0	-13.1	20.4	-52.7
STORY1	C22	COMB48	3.7	-971.3	-61.7	2.9	10.9
STORY1	C22	COMB49	0.0	247.3	-4.5	37.5	58.8
STORY1	C22	COMB49	1.9	226.6	19.1	20.5	57.2
STORY1	C22	COMB49	3.7	155.0	100.5	3.4	-46.4
STORY1	C22	COMB50	0.0	-959.7	-16.3	-13.6	-48.1
STORY1	C22	COMB50	1.9	-969.6	-5.1	3.8	-27.6
STORY1	C22	COMB50	3.7	-959.3	-16.8	21.1	-9.8
STORY1	C22	COMB51	0.0	-626.5	-14.5	-13.6	-9.8
STORY1	C22	COMB51	1.9	-643.9	5.3	3.8	4.7
STORY1	C22	COMB51	3.7	-669.0	34.0	21.3	-30.3
STORY1	C22	COMB52	0.0	-796.6	-15.5	-19.7	-29.1
STORY1	C22	COMB52	1.9	-810.2	0.1	1.6	-11.4
STORY1	C22	COMB52	3.7	-817.7	8.6	22.8	-20.1
STORY1	C22	COMB53	0.0	-789.7	-15.3	-7.5	-28.9
STORY1	C22	COMB53	1.9	-803.3	0.2	6.0	-11.5
STORY1	C22	COMB53	3.7	-810.6	8.5	19.6	-20.0
STORY1	C22	COMB54	0.0	-700.9	-11.3	-8.7	-38.7
STORY1	C22	COMB54	1.9	-706.3	-5.2	2.4	-23.8
STORY1	C22	COMB54	3.7	-693.6	-19.7	13.5	-3.1
STORY1	C22	COMB55	0.0	-367.7	-9.5	-8.8	-0.4
STORY1	C22	COMB55	1.9	-380.6	5.2	2.4	8.5
STORY1	C22	COMB55	3.7	-403.4	31.1	13.7	-23.6
STORY1	C22	COMB56	0.0	-537.7	-10.5	-14.9	-19.6
STORY1	C22	COMB56	1.9	-547.0	0.0	0.2	-7.6
STORY1	C22	COMB56	3.7	-552.1	5.8	15.2	-13.4
STORY1	C22	COMB57	0.0	-530.9	-10.3	-2.7	-19.4
STORY1	C22	COMB57	1.9	-540.0	0.1	4.6	-7.7
STORY1	C22	COMB57	3.7	-544.9	5.7	12.0	-13.3

Çizelge A.5 : Sadece kirişlerden tutulu model C22 Kolonu iç kuvvetleri

Story	Column	Load	Loc	P	V2	M2	M3
STORY1	C22	COMB1	0.0	-806.9	0.8	-11.0	-6.5
STORY1	C22	COMB1	2.0	-806.9	0.8	5.4	-8.2
STORY1	C22	COMB1	3.7	-806.9	0.8	19.4	-9.6
STORY1	C22	COMB2	0.0	-2242.1	-132.1	-34.4	-410.8
STORY1	C22	COMB2	2.0	-2242.1	-132.1	-0.9	-146.5
STORY1	C22	COMB2	3.7	-2242.1	-132.1	27.7	79.4
STORY1	C22	COMB3	0.0	-2194.0	-127.6	13.4	-400.4
STORY1	C22	COMB3	2.0	-2194.0	-127.6	11.2	-145.2
STORY1	C22	COMB3	3.7	-2194.0	-127.6	9.3	73.1

STORY1	C22	COMB4	0.0	575.8	127.6	-35.4	383.5
STORY1	C22	COMB4	2.0	575.8	127.6	-0.4	128.3
STORY1	C22	COMB4	3.7	575.8	127.6	29.5	-89.9
STORY1	C22	COMB5	0.0	623.9	132.1	12.4	393.9
STORY1	C22	COMB5	2.0	623.9	132.1	11.7	129.6
STORY1	C22	COMB5	3.7	623.9	132.1	11.1	-96.3
STORY1	C22	COMB6	0.0	-2326.4	-139.7	-33.7	-434.0
STORY1	C22	COMB6	2.0	-2326.4	-139.7	-0.7	-154.7
STORY1	C22	COMB6	3.7	-2326.4	-139.7	27.4	84.2
STORY1	C22	COMB7	0.0	-2278.3	-135.1	14.1	-423.6
STORY1	C22	COMB7	2.0	-2278.3	-135.1	11.4	-153.3
STORY1	C22	COMB7	3.7	-2278.3	-135.1	9.1	77.8
STORY1	C22	COMB8	0.0	-2148.9	-121.4	-35.2	-379.9
STORY1	C22	COMB8	2.0	-2148.9	-121.4	-1.1	-137.2
STORY1	C22	COMB8	3.7	-2148.9	-121.4	28.0	70.3
STORY1	C22	COMB9	0.0	-2100.8	-116.8	12.6	-369.5
STORY1	C22	COMB9	2.0	-2100.8	-116.8	11.0	-135.9
STORY1	C22	COMB9	3.7	-2100.8	-116.8	9.6	63.9
STORY1	C22	COMB10	0.0	664.5	136.8	-36.1	410.5
STORY1	C22	COMB10	2.0	664.5	136.8	-0.6	137.0
STORY1	C22	COMB10	3.7	664.5	136.8	29.8	-96.9
STORY1	C22	COMB11	0.0	712.7	141.3	11.6	420.9
STORY1	C22	COMB11	2.0	712.7	141.3	11.5	138.3
STORY1	C22	COMB11	3.7	712.7	141.3	11.4	-103.3
STORY1	C22	COMB12	0.0	487.0	118.5	-34.7	356.5
STORY1	C22	COMB12	2.0	487.0	118.5	-0.2	119.6
STORY1	C22	COMB12	3.7	487.0	118.5	29.2	-83.0
STORY1	C22	COMB13	0.0	535.2	123.0	13.1	366.9
STORY1	C22	COMB13	2.0	535.2	123.0	11.9	120.9
STORY1	C22	COMB13	3.7	535.2	123.0	10.8	-89.4
STORY1	C22	COMB14	0.0	-1310.5	-45.9	-90.5	-143.6
STORY1	C22	COMB14	2.0	-1310.5	-45.9	-14.9	-51.7
STORY1	C22	COMB14	3.7	-1310.5	-45.9	49.8	26.8
STORY1	C22	COMB15	0.0	-465.1	32.0	-90.8	94.7
STORY1	C22	COMB15	2.0	-465.1	32.0	-14.7	30.7
STORY1	C22	COMB15	3.7	-465.1	32.0	50.3	-24.0
STORY1	C22	COMB16	0.0	-1150.0	-30.9	68.7	-108.9
STORY1	C22	COMB16	2.0	-1150.0	-30.9	25.5	-47.2
STORY1	C22	COMB16	3.7	-1150.0	-30.9	-11.5	5.5
STORY1	C22	COMB17	0.0	-304.6	47.1	68.4	129.4
STORY1	C22	COMB17	2.0	-304.6	47.1	25.6	35.2
STORY1	C22	COMB17	3.7	-304.6	47.1	-11.0	-45.3
STORY1	C22	COMB18	0.0	-1215.0	-36.0	-91.3	-114.4
STORY1	C22	COMB18	2.0	-1215.0	-36.0	-15.1	-42.3

STORY1	C22	COMB18	3.7	-1215.0	-36.0	50.1	19.2
STORY1	C22	COMB19	0.0	-369.7	41.9	-91.6	123.9
STORY1	C22	COMB19	2.0	-369.7	41.9	-14.9	40.1
STORY1	C22	COMB19	3.7	-369.7	41.9	50.6	-31.6
STORY1	C22	COMB20	0.0	-1406.0	-55.9	-89.7	-172.8
STORY1	C22	COMB20	2.0	-1406.0	-55.9	-14.7	-61.1
STORY1	C22	COMB20	3.7	-1406.0	-55.9	49.5	34.4
STORY1	C22	COMB21	0.0	-560.6	22.1	-90.0	65.5
STORY1	C22	COMB21	2.0	-560.6	22.1	-14.5	21.3
STORY1	C22	COMB21	3.7	-560.6	22.1	50.0	-16.4
STORY1	C22	COMB22	0.0	-1245.4	-40.8	69.5	-138.1
STORY1	C22	COMB22	2.0	-1245.4	-40.8	25.7	-56.6
STORY1	C22	COMB22	3.7	-1245.4	-40.8	-11.8	13.1
STORY1	C22	COMB23	0.0	-400.1	37.2	69.3	100.2
STORY1	C22	COMB23	2.0	-400.1	37.2	25.8	25.9
STORY1	C22	COMB23	3.7	-400.1	37.2	-11.3	-37.7
STORY1	C22	COMB24	0.0	-1054.5	-20.9	67.9	-79.7
STORY1	C22	COMB24	2.0	-1054.5	-20.9	25.3	-37.8
STORY1	C22	COMB24	3.7	-1054.5	-20.9	-11.2	-2.0
STORY1	C22	COMB25	0.0	-209.1	57.0	67.6	158.6
STORY1	C22	COMB25	2.0	-209.1	57.0	25.4	44.6
STORY1	C22	COMB25	3.7	-209.1	57.0	-10.7	-52.9
STORY1	C22	COMB26	0.0	-1978.9	-132.5	-30.4	-408.7
STORY1	C22	COMB26	2.0	-1978.9	-132.5	-2.9	-143.8
STORY1	C22	COMB26	3.7	-1978.9	-132.5	20.7	82.7
STORY1	C22	COMB27	0.0	-1930.7	-127.9	17.3	-398.3
STORY1	C22	COMB27	2.0	-1930.7	-127.9	9.2	-142.5
STORY1	C22	COMB27	3.7	-1930.7	-127.9	2.3	76.3
STORY1	C22	COMB28	0.0	839.0	127.3	-31.4	385.6
STORY1	C22	COMB28	2.0	839.0	127.3	-2.4	131.0
STORY1	C22	COMB28	3.7	839.0	127.3	22.5	-86.7
STORY1	C22	COMB29	0.0	887.2	131.8	16.3	396.0
STORY1	C22	COMB29	2.0	887.2	131.8	9.7	132.3
STORY1	C22	COMB29	3.7	887.2	131.8	4.1	-93.1
STORY1	C22	COMB30	0.0	-2063.2	-140.0	-29.7	-431.9
STORY1	C22	COMB30	2.0	-2063.2	-140.0	-2.7	-152.0
STORY1	C22	COMB30	3.7	-2063.2	-140.0	20.4	87.4
STORY1	C22	COMB31	0.0	-2015.0	-135.4	18.1	-421.5
STORY1	C22	COMB31	2.0	-2015.0	-135.4	9.4	-150.6
STORY1	C22	COMB31	3.7	-2015.0	-135.4	2.1	81.0
STORY1	C22	COMB32	0.0	-1885.7	-121.7	-31.2	-377.9
STORY1	C22	COMB32	2.0	-1885.7	-121.7	-3.1	-134.6
STORY1	C22	COMB32	3.7	-1885.7	-121.7	21.0	73.5
STORY1	C22	COMB33	0.0	-1837.5	-117.1	16.6	-367.5

STORY1	C22	COMB33	2.0	-1837.5	-117.1	9.0	-133.2
STORY1	C22	COMB33	3.7	-1837.5	-117.1	2.6	67.1
STORY1	C22	COMB34	0.0	927.8	136.5	-32.2	412.6
STORY1	C22	COMB34	2.0	927.8	136.5	-2.6	139.7
STORY1	C22	COMB34	3.7	927.8	136.5	22.7	-93.7
STORY1	C22	COMB35	0.0	975.9	141.0	15.6	423.0
STORY1	C22	COMB35	2.0	975.9	141.0	9.5	141.0
STORY1	C22	COMB35	3.7	975.9	141.0	4.4	-100.1
STORY1	C22	COMB36	0.0	750.3	118.2	-30.7	358.6
STORY1	C22	COMB36	2.0	750.3	118.2	-2.2	122.3
STORY1	C22	COMB36	3.7	750.3	118.2	22.2	-79.8
STORY1	C22	COMB37	0.0	798.4	122.7	17.1	369.0
STORY1	C22	COMB37	2.0	798.4	122.7	9.9	123.6
STORY1	C22	COMB37	3.7	798.4	122.7	3.8	-86.2
STORY1	C22	COMB38	0.0	-1047.3	-46.2	-86.5	-141.5
STORY1	C22	COMB38	2.0	-1047.3	-46.2	-16.8	-49.0
STORY1	C22	COMB38	3.7	-1047.3	-46.2	42.8	30.0
STORY1	C22	COMB39	0.0	-201.9	31.7	-86.8	96.8
STORY1	C22	COMB39	2.0	-201.9	31.7	-16.7	33.4
STORY1	C22	COMB39	3.7	-201.9	31.7	43.3	-20.8
STORY1	C22	COMB40	0.0	-886.7	-31.2	72.7	-106.8
STORY1	C22	COMB40	2.0	-886.7	-31.2	23.5	-44.5
STORY1	C22	COMB40	3.7	-886.7	-31.2	-18.5	8.8
STORY1	C22	COMB41	0.0	-41.3	46.8	72.4	131.5
STORY1	C22	COMB41	2.0	-41.3	46.8	23.7	37.9
STORY1	C22	COMB41	3.7	-41.3	46.8	-18.0	-42.1
STORY1	C22	COMB42	0.0	-951.8	-36.3	-87.3	-112.3
STORY1	C22	COMB42	2.0	-951.8	-36.3	-17.0	-39.7
STORY1	C22	COMB42	3.7	-951.8	-36.3	43.1	22.5
STORY1	C22	COMB43	0.0	-106.4	41.6	-87.6	126.0
STORY1	C22	COMB43	2.0	-106.4	41.6	-16.9	42.8
STORY1	C22	COMB43	3.7	-106.4	41.6	43.6	-28.4
STORY1	C22	COMB44	0.0	-1142.7	-56.2	-85.7	-170.7
STORY1	C22	COMB44	2.0	-1142.7	-56.2	-16.6	-58.4
STORY1	C22	COMB44	3.7	-1142.7	-56.2	42.5	37.6
STORY1	C22	COMB45	0.0	-297.3	21.8	-86.0	67.6
STORY1	C22	COMB45	2.0	-297.3	21.8	-16.5	24.0
STORY1	C22	COMB45	3.7	-297.3	21.8	43.0	-13.2
STORY1	C22	COMB46	0.0	-982.2	-41.1	73.5	-136.0
STORY1	C22	COMB46	2.0	-982.2	-41.1	23.7	-53.9
STORY1	C22	COMB46	3.7	-982.2	-41.1	-18.8	16.3
STORY1	C22	COMB47	0.0	-136.8	36.9	73.2	102.3
STORY1	C22	COMB47	2.0	-136.8	36.9	23.9	28.5
STORY1	C22	COMB47	3.7	-136.8	36.9	-18.3	-34.5

STORY1	C22	COMB48	0.0	-791.3	-21.2	71.9	-77.6
STORY1	C22	COMB48	2.0	-791.3	-21.2	23.3	-35.2
STORY1	C22	COMB48	3.7	-791.3	-21.2	-18.2	1.2
STORY1	C22	COMB49	0.0	54.1	56.7	71.6	160.7
STORY1	C22	COMB49	2.0	54.1	56.7	23.5	47.3
STORY1	C22	COMB49	3.7	54.1	56.7	-17.7	-49.6
STORY1	C22	COMB50	0.0	-916.5	-11.3	-11.0	-42.4
STORY1	C22	COMB50	2.0	-916.5	-11.3	5.4	-19.7
STORY1	C22	COMB50	3.7	-916.5	-11.3	19.3	-0.3
STORY1	C22	COMB51	0.0	-697.3	13.0	-11.1	29.3
STORY1	C22	COMB51	2.0	-697.3	13.0	5.4	3.4
STORY1	C22	COMB51	3.7	-697.3	13.0	19.5	-18.8
STORY1	C22	COMB52	0.0	-815.9	-0.2	-21.3	-8.7
STORY1	C22	COMB52	2.0	-815.9	-0.2	2.9	-8.4
STORY1	C22	COMB52	3.7	-815.9	-0.2	23.6	-8.2
STORY1	C22	COMB53	0.0	-797.9	1.8	-0.8	-4.3
STORY1	C22	COMB53	2.0	-797.9	1.8	7.9	-7.9
STORY1	C22	COMB53	3.7	-797.9	1.8	15.3	-10.9
STORY1	C22	COMB54	0.0	-653.2	-11.6	-7.0	-40.3
STORY1	C22	COMB54	2.0	-653.2	-11.6	3.4	-17.0
STORY1	C22	COMB54	3.7	-653.2	-11.6	12.3	2.9
STORY1	C22	COMB55	0.0	-434.0	12.7	-7.1	31.4
STORY1	C22	COMB55	2.0	-434.0	12.7	3.5	6.1
STORY1	C22	COMB55	3.7	-434.0	12.7	12.5	-15.6
STORY1	C22	COMB56	0.0	-552.6	-0.5	-17.3	-6.7
STORY1	C22	COMB56	2.0	-552.6	-0.5	0.9	-5.8
STORY1	C22	COMB56	3.7	-552.6	-0.5	16.5	-5.0
STORY1	C22	COMB57	0.0	-534.7	1.5	3.2	-2.2
STORY1	C22	COMB57	2.0	-534.7	1.5	5.9	-5.2
STORY1	C22	COMB57	3.7	-534.7	1.5	8.2	-7.7

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Cemal Noyan ÖZEL

Doğum Yeri ve Tarihi: Üsküdar, 18.03.1988

E-Posta: noyanozel@gmail.com

Lisans Üniversitesi: İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, 2010

TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR/SUNUMLAR

Vatansever C., Yorgun C., Özel C.N., "Strengthening of A Steel Building Using Steel Plate Shear Walls", 10/2012, ACE 2012 10th International Congress on Advances in Civil Engineering, Ankara ODTÜ, 17.10.2012 - 19.10.2012.