

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇELİK PLAKALI PERDE DUVAR SİSTEMLERİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Halil Furkan TAŞTAN

(501171019)

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Ömer Tuğrul TURAN

Tez Eş Danışmanı: Doç. Dr. Barlas Özden ÇAĞLAYAN

TEMMUZ 2020

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇELİK PLAKALI PERDE DUVAR SİSTEMLERİ



YÜKSEK LİSANS TEZİ

Halil Furkan TAŞTAN

(501171019)

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Ömer Tuğrul TURAN

Tez Eş Danışmanı: Doç. Dr. Barlas Özden ÇAĞLAYAN

TEMMUZ 2020

İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501171019 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Halil Furkan TAŞTAN** ilgili yönetmeliklerin belirlediği tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “ÇELİK PLAKALI PERDE DUVAR SİSTEMLERİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde sunulmuştur.

Tez Danışmanı : **Dr. Öğretim Üyesi Ömer Tuğrul TURAN**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Tez Eş Danışmanı : **Doç. Dr. Barlas Özden ÇAĞLAYAN**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Erişan Filiz PİROĞLU**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Bülent AKBAŞ**
Gebze Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Bilge DORAN**
Yıldız Teknik Üniversitesi

Testlim Tarihi : **15 Haziran 2020**
Savunma Tarihi : **20 Temmuz 2020**



ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimim boyunca yardım ve emeklerini esirgemeyen tez danışmanım Öğr. Gör. Ömer Tuğrul TURAN ve tez eş danışmanım Öğr. Gör. Dr. Barlas Özden ÇAĞLAYAN'a teşekkürlerimi sunarım.

Türkiye'de ilerleyen ve gelişen çelik yapı sektöründe, yakın gelecekte yer alacağına inandığım çelik plakalı perde duvar sistemlerinin Türkiye'deki çalışmalarında bir parça olmak ve gelecek yıllarda etkin bir rol almak için başlangıç olarak gördüğüm bu tez çalışmamla; bu sistemin kullanılabilirliğini, farklı çeşitlerini ve hesaplamalarını göstermek istedim.

Temmuz 2020

Halil Furkan TAŞTAN
(İnşaat Mühendisi)



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER	vii
KISALTMALAR	xi
SEMBOL LİSTESİ	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xix
ŞEKİL LİSTESİ.....	xxi
ÖZET.....	xxv
SUMMARY	xxvii
1. GİRİŞ	1
2. ÇELİK PLAKALI PERDE DUVAR SİSTEMLERİ.....	5
2.1 Çalışma Prensibi ve Davranışı	5
2.2 Çelik Plakalı Perde Duvar Sistemlerinin Avantajları ve Dezavantajları	10
2.2.1 Çelik plakalı perde duvar sisteminin avantajları.....	10
2.2.1.1 Süneklik	10
2.2.1.2 Yatay rijitlik	10
2.2.1.3 Yüksek enerji yutma kapasitesi.....	10
2.2.1.4 Farklı tip çözümler sunma özelliği.....	11
2.2.1.5 Duvar kalınlığı	11
2.2.1.6 Sistem ağırlığı	11
2.2.1.7 Hızlı imalat.....	11
2.2.1.8 Mimari avantaj	11
2.2.2 Çelik plakalı perde duvar sisteminin dezavantajları	12
2.2.2.1 Daralmış histerik davranış	12
2.2.2.2 Üst katlarda aşırı tasarım.....	12
2.2.2.3 Ses sorunu	12
2.2.2.4 Onarım	12
2.2.2.5 Yapısal olmayan elemanlara etkisi	12
2.2.2.6 Yapım aşaması	13
2.3 Çelik Plakalı Perde Duvar Sistemlerinde Parametreler	13
2.3.1 Çelik plaka kalınlığı.....	13
2.3.2 Genişlik / yükseklik oranı	13
2.3.3 Düşey sınır elemanlarında eksenel yük etkisi	14
2.3.4 Bağ kirişi etkisi	16
2.3.5 Sınır elemanlarında bağlantı	17
2.3.6 Dış destek sistemleri	17
2.3.7 Yatay sınır elemanlarının ankraje edilmesi.....	19
2.3.8 Düşey sınır elemanlarında kutu profil kullanımı	20
2.3.9 Çelik Plakalı Perde Duvar Sistemlerinin Betonarme Çerçeve ile Kullanımı	21
2.3.10 Şaşırtmalı çelik plakalı perde duvar sistemleri	21

2.3.11 Çelik plakalarda çatlak etkisi	21
2.3.12 Düşey sınır elemanlarında kompozit kesit kullanımı	22
2.4 Çelik Plakalı Perde Duvar Sistemleri Türleri.....	22
2.4.1 Konvansiyonel çelik plakalı perde duvar sistemleri	22
2.4.2 Dalgalı çelik plakalı perde duvar sistemleri.....	22
2.4.3 Oluklu çelik plakalı perde duvar sistemleri.....	23
2.4.4 Betonarme ile güçlendirilmiş çelik plakalı perde duvar sistemleri	27
2.4.5 Kapasitesi düşürülmüş yatay sınır elemanlı çelik plakalı perde duvar sistemleri	29
2.4.6 Kısmi bağlantılı çelik plakalı perde duvar sistemleri.....	30
2.4.7 Rijitlik levhalarıyla güçlendirilmiş çelik plakalı perde duvar sistemleri ..	32
2.4.8 Enerji yutma bileşenleriyle güçlendirilmiş çelik plakalı perde duvar sistemleri	32
2.4.9 İki yandan bağlantılı çelik plakalı perde duvar sistemleri.....	34
2.4.10 İkincil düşey elemanlı çelik plakalı perde duvar sistemleri	34
2.4.11 Akma gerilmesi düşük çelik plakalı perde duvar sistemleri	36
2.5 Çelik Plakalı Perde Duvar Sistemlerinin Kullanıldığı Yapı Sistemleri	36
2.5.1 San Fransisco Hastanesi genişletme çalışmaları	37
2.5.2 Hyatt Regency Hotel Towers (Dallas)	37
2.5.3 Olive View Tıp Merkezi	37
2.5.4 San Fransisco hastanesi genişletme çalışmaları	37
2.5.5 8 katlı yapı (British Columbia).....	38
2.5.6 6 katlı yapı (Quebec)	38
2.5.7 7 katlı yapı (Quebec)	38
2.5.8 23 katlı yapı (Seattle)	38
2.5.9 54 katlı otel (Los Angeles)	38
2.5.10 Oregon Eyalet Kütüphanesi (Oregon State library)	39
2.5.11 Tıp merkezi (Charleston)	39
2.5.12 Rezidanslar (San Mateo şirketi)	39
2.5.13 4 katlı rezidans (San Fransisco)	40
2.5.14 7 katlı ING yapısı (Ste-Hyacinthe).....	40
3. ÇELİK PLAKALI PERDE DUVAR SİSTEMLERİNİN HESAPLANMASI	41
3.1 Giriş	41
3.2 Tasarım Esasları	41
3.3 Sistem Analizi	42
3.4 Çelik Plaka Dizaynı.....	44
3.5 Yatay Sınır Elemanı Dizaynı.....	44
3.5.1 Yatay sınır elemanının sahip olması gereken moment dayanımı.....	45
3.5.2 Yatay sınır elemanının sahip olması gereken eksenel kuvvet dayanımı ...	45
3.5.3 Yatay sınır elemanının sahip olması gereken kesme kuvveti dayanımı....	46
3.5.4 Yatay sınır elemanında enkesit narinlikleri kontrolleri.....	48
3.5.5 Yatay sınır elemanının kesme kuvveti dayanımı	48
3.5.6 Yatay sınır elemanının birleşik etkilere karşı dayanımı.....	49
3.5.6.1 Basınç dayanımı	49
3.5.6.2 Eğilme dayanımı	49
3.5.6.3 Birleşik etkiye karşı dayanım tahkiki.....	49
3.5.7 Diğer kontroller	50
3.5.7.1 YSE atalet momenti kontrolü	50
3.5.7.2 YSE gövde kalınlığı kontrolü.....	50
3.6 Düşey Sınır Elemanı Dizaynı	50

3.6.1 Düşey sınır elemanının sahip olması gereken eksenel kuvvet dayanımı ..	50
3.6.2 Düşey sınır elemanının sahip olması gereken eğilme momenti dayanımı	51
3.6.3 Düşey sınır elemanının sahip olması gereken kesme kuvveti dayanımı...	52
3.6.4 Düşey sınır elemanında enkesit narinlikleri kontrolleri.....	53
3.6.5 Düşey sınır elemanında narinlik kontrolleri	53
3.6.6 Düşey sınır elemanının kesme kuvveti dayanımı	53
3.6.7 Düşey sınır elemanının birleşik etkilere karşı dayanımı	54
3.6.7.1 Basınç dayanımı	54
3.6.7.2 Eğilme dayanımı	54
3.6.7.3 Birleşik etkiye karşı dayanımı.....	54
3.6.8 DSE atalet momenti kontrolü.....	54
3.6.9 Güçlü DSE zayıf YSE kontrolü	55
3.6.10 Çelik plakanın sınır elemanlarına bağlantısı	55
3.6.11 YSE-DSE başlıklarının sınırladığı kayma bölgesinin gerekli kesme dayanımı.....	56
3.6.12 DSE bağlantıları	56
3.6.12.1 DSE-DSE birleşim bağlantıları	56
3.6.12.2 DSE taban plakası bağlantıları	56
3.6.13 Sistem ötelenmesi	57
3.6.14 Sınır elemanlarının dayanıma minimum katkısı	57
3.6.15 Diğer hesaplamalar	57
3.6.16 Düşey sınır elemanı tasarımında çözüm seçenekleri	57
3.6.16.1 Elastik yay tanımı.....	57
3.6.16.2 Çelik plakalı perde duvar sistemlerinde itme analizi	58
4. ÇOK KATLI YAPIDA ÇELİK PLAKALI PERDE DUVAR SİSTEMİ.....	61
4.1 Yapının Tanımlanması	61
4.2 Yapı Sistemi Bilgileri.....	61
4.2.1 Genel özellikler	61
4.2.2 Tasarım Kriterleri.....	65
4.2.3 Tasarım Yönetmelikleri	65
4.2.4 Malzeme Özellikleri.....	66
4.2.5 Yapısal Malzeme.....	66
4.3 Düşey Yükler ve Tali Kirişler	67
4.4 Hareketli Yükler.....	68
4.5 Kar Yükü.....	68
4.6 Deprem Yükü	68
4.7 Rüzgar Yükü	71
4.8 Çelik Plakalı Perde Duvar Sisteminin Özellikleri.....	73
4.9 Çelik Plakalı Perde Duvar Sistemi Tasarımında Kullanılan Formüller	75
4.9.1 Çelik plakalı perde duvar sisteminin kontrolleri.....	76
4.9.2 Çelik plaka dizaynı.....	76
4.9.3 Yatay sınır elemanı tasarımı	77
4.9.4 Düşey sınır elemanı tasarımı	78
4.9.5 Güçlü DSE-zayıf YSE kontrolü.....	80
4.9.6 Sistemin eleman dayanım kontrolü.....	81
4.9.7 Yapı sisteminin görelî kat öteleme kontrolleri.....	81
4.9.8 SAP2000 modellemesi	82
4.9.8.1 Modelleme	82
4.9.8.2 Modelleme teknikleri	83
4.9.9 Çok katlı yapının itme (pushover) analizi.....	87

4.9.9.1 Çok katlı yapının itme (pushover) analizi	88
4.9.9.2 İtme (pushover) analizinin kontrolü	89
4.9.9.3 Sonuçlar.....	91
4.9.10 Çok katlı yapının zaman tanım alanında çözümü	92
5. TEK KATLI ÇELİK PLAKALI PERDE DUVAR SİSTEMİNİN ABAQUS YAZILIMI İLE MODELLENMESİ.....	99
5.1 Giriş	99
5.2 Yapısal Modelleme	100
5.2.1 Malzeme modellenmesi	101
5.2.2 Sistem elemanlarının seçimi.....	101
5.2.3 Geometrik kusurların modellenmesi	102
5.2.4 Sınır koşulları	103
5.2.5 Bağlantıların modellenmesi.....	104
5.2.6 Modelin bölünmesi.....	104
5.3 ABAQUS Modelinin Doğrulanması	105
5.4 Sonuç ve Tartışmalar.....	106
5.4.1 Çelik plakalı perde duvar sisteminin yatay yük etkisinde davranışı	106
5.4.2 Çelik plakalı perde duvar sistemlerinin ABAQUS dizayn dayanımı ve el hesaplarının karşılaştırılması.....	110
5.4.3 Çelik plakalı perde duvar sistemlerinde ince çelik plakada oluşan geometrik kusurların sistem dayanımı üzerindeki etkisi.....	111
5.4.4 Çelik plakalı perde duvar sistemlerinde kalın çelik plakada oluşan geometrik kusurların sistem dayanımı üzerindeki etkisi.....	113
5.4.5 Çelik plakalı perde duvar sistemlerinde geometrik kusur hesaplarında farklı burkulma modlarının süperpoze edilmesinin sistem dayanımı üzerindeki etkisi	114
5.4.6 Çelik plakalı perde duvar sistemlerinde sınır elemanlarının sistem dayanımı üzerindeki etkisi	115
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	119
KAYNAKLAR.....	123
ÖZGEÇMİŞ.....	131

KISALTMALAR

DGT	: Dayanıma göre Tasarım
DLFloor	: Normal kat döşeme yükü
DLRoof	: Çatı katı döşeme yükü
DSE	: Düşey sınır elemanı
E_{yn}	: Y doğrultusu negatif yönde eksantristesiz deprem yükü
E_{ynen}	: Y doğrultusu negatif yönde negatif ekzantrisli deprem yükü
E_{ynep}	: Y doğrultusu negatif yönde pozitif ekzantrisli deprem yükü
E_{yp}	: Y doğrultusu pozitif yönde eksantristesiz deprem yükü
E_{ypen}	: Y doğrultusu pozitif yönde negatif ekzantrisli deprem yükü
E_{ypep}	: Y doğrultusu pozitif yönde pozitif ekzantrisli deprem yükü
E_{xn}	: X doğrultusu negatif yönde eksantristesiz deprem yükü
E_{xnen}	: X doğrultusu negatif yönde negatif ekzantrisli deprem yükü
E_{xnep}	: X doğrultusu negatif yönde pozitif ekzantrisli deprem yükü
E_{xp}	: X doğrultusu pozitif yönde eksantristesiz deprem yükü
E_{xpen}	: X doğrultusu pozitif yönde negatif ekzantrisli deprem yükü
E_{xpep}	: X doğrultusu pozitif yönde pozitif ekzantrisli deprem yükü
KH	: Kontrollü hasar
LLFloor	: Normal kat hareketli yük
LLRoof	: Çatı katı hareketli yük
Wall	: Normal Kat Duvar ve Çatı Katı Parapet Yüğü
W_{yn}	: Y doğrultusu negatif yönde rüzgar yükü
W_{yp}	: Y doğrultusu pozitif yönde rüzgar yükü
W_{xn}	: X doğrultusu negatif yönde rüzgar yükü
W_{xp}	: X doğrultusu pozitif yönde rüzgar yükü

YSE : Yatay sınır elemanı



SEMBOL LİSTESİ

A_g	: Brüt kesit alanı
A_{DSE}	: DSE kesit alanı
A_s	: Şerit alanı
A_{YSE}	: YSE kesit alanı
A_w	: Kesit gövde alanı
$a_{plk(YSE)}$	: Çelik plakanın YSE'ye olan kaynak kalınlığı
$a_{plk(DSE)}$	: Çelik plakanın DSE'ye olan kaynak kalınlığı
B_1	: Yatay ötelenmesi önlenmiş sistemin elemanlarındaki (P- δ) gözönüne alan artırma katsayısı
B_2	: Yatay ötelenmesi önlenmemiş sistemin elemanlarındaki (P- Δ) gözönüne alan artırma katsayısı
b_f	: Kesit başlık genişliği
C_a	: Gerekli eksenel kuvvet dayanımının tasarım eksenel kuvvet dayanımına oranı
C_m	: Eşdeğer sabit moment yayılışına dönüştürme katsayısı
C_{pe}	: Dış basınç katsayısı
C_r	: Engebelilik katsayısı
C_{v1}	: Gövde kesme kuvveti dayanım katsayısı
DD-2	: 50 Yılda Aşılma Olasılığı %10 (Tekrarlanma Periyodu 475 yıl) Olan Deprem Yer Hareket Düzeyi
d	: Hadde profil için köşe bölgelerdeki yarıçap ve eğrisel bölgeler çıkarılarak elde edilen başlıkları arası net gövde yüksekliği
d_{DSE}	: DSE kesit yüksekliği
d_{YSE}	: YSE kesit yüksekliği
E	: Yapısal çelik elastisite modülü [$E = 200000 \text{ N/mm}^2$]

E_d^H	: Doğrultu birleştirmesi uygulanmış tasarıma esas yatay deprem etkisi
$E_d^{(Z)}$	: Z doğrultusundaki depremin etkisi altında tasarıma esas deprem etkisi
E_m	: Düşey sınır elemanı üzerindeki eksenel kuvvet
e	: %5'lik dış merkezlik [m]
F_1	: 1 saniye periyot Bölgesi için Yerel Zemin Etki Katsayısı
F_{cr}	: Kritik burkulma gerilmesi
F_e	: Elastik burkulma gerilmesi
F_{EXX}	: Kaynak metali karakteristik çekme dayanımı
$F_{ie}^{(Y)}$	: Y deprem doğrultusunda i'nci katta kütle merkezine etkiyen eşdeğer deprem yükü [kN]
$F_{ie}^{(X)}$	: X deprem doğrultusunda i'nci katta kütle merkezine etkiyen eşdeğer deprem yükü [kN]
F_S	: Kısa periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayısı
F_y	: Yapısal çelik karakteristik akma gerilmesi
F_{yplk}	: Çelik plaka karakteristik akma gerilmesi
F_{yYSE}	: YSE karakteristik akma gerilmesi
G	: Sabit yük etkisi
g	: Yerçekimi ivmesi [$g = 9.81 \text{ m/s}^2$]
H_i	: Binanın bodrum katlarının üstündeki <i>üst bölüm</i> 'de i'nci katın üst bölümün tabanından itibaren ölçülen yüksekliği [m]
h	: Çelik plakalı perde duvar sistemi yüksekliği
h_i	: i'nci katın yüksekliği [m]
h_{DSE}	: DSE yüksekliği
I	: Bina önem katsayısı
I_{DSE}	: DSE atalet momenti
I_{YSE}	: YSE atalet momenti
I_v	: Türbülans şiddeti
K	: Burkulma boyu katsayısı
k_{bi}	: YSE'yi temsil eden elastik yay katsayısı
L	: Çelik plakalı perde duvar sistemi uzunluğu

L_{cf}	: Kolon başlıkları arası temiz açıklık
L_h	: Varsayılan plastik mafsalları arası mesafe
L_p	: Akma sınır durumu için yanal olarak desteklenmeyen sınır uzunluk
L_x, L_y	: Eleman burkulma boyu
F_y	: Yapısal çelik karakteristik akma gerilmesi
M_{1t}	: Yapı sisteminin sadece yanal ötelenmesiyle, YDKT ve GKT yük birleşimleri altında hesaplanan birinci mertebe eğilme momenti
M_d	: Elemanın güvenlik katsayısıyla çarpılmış karakteristik eğilme momenti dayanımı
M_n	: Elemanın karakteristik eğilme momenti dayanımı
M_{nt}	: Yatay ötelenmesi önlenmiş sistemde, YDKT ve GKT yük birleşimleri altında hesaplanan birinci mertebe eğilme momenti
M_p	: Karakteristik plastik eğilme momenti
M_{pr}	: Beklenen plastik eğilme momenti
M_r	: Eleman üzerindeki eğilme momenti değeri
M_t	: YDKT ve GKT yük birleşimleri altında hesaplanan ikinci mertebe etkileri içeren gerekli eğilme momenti dayanımı
M_u	: Gerekli moment dayanımı
$M_{DSE(plk)}$	: Çelik plaka etkisiyle DSE üzerindeki toplam eğilme momenti
$M_{DSE(YSE)}$	: YSE etkisiyle DSE üzerindeki toplam eğilme momenti
m_i	: i'nci katın toplam kütlesi [t]
m_t	: Binanın bodrum katları üstündeki <i>üst bölüm</i> 'ünün toplam kütlesi [t]
N	: Yapıdaki kat sayısı
n	: Şerit sayısı
p	: Hava yoğunluğu [1.25 kg/m^3]
P_{1t}	: Yapı sisteminin sadece yanal ötelenmesiyle, YDKT ve GKT yük birleşimleri altında hesaplanan birinci mertebe eksenel kuvvet
P_d	: Elemanın güvenlik katsayısıyla çarpılmış karakteristik basınç kuvveti dayanımı
P_{el}	: Elastik burkulma dayanımı

P_n	: Elemanın karakteristik basınç dayanımı
P_{nt}	: Yatay ötelenmesi önlenmiş sistemde, YDKT ve GKT yük birleşimleri altında hesaplanan birinci mertebe eksenel kuvvet
P_r	: Eleman üzerindeki basınç kuvveti değeri
P_t	: YDKT ve GKT yük birleşimleri altında hesaplanan ikinci mertebe etkileri içeren gerekli eksenel kuvveti dayanımı
P_y	: Plastik eksenel kuvveti
P_{YSE}	: YSE üzerindeki toplam eksenel kuvvet
$P_{YSE(DSE)}$	: DSE etkisiyle YSE üzerindeki toplam eksenel kuvvet
$P_{YSE(plk)}$	: Çelik plaka etkisiyle YSE üzerindeki toplam eksenel kuvvet
Q	: Hareketli yük etkisi
q_p	: Esas hız kaynaklı rüzgra basıncı
R_y	: Olası akma gerilmesinin karakteristik akma gerilmesine oranı
r_x, r_y	: Atalet yarıçapı
S	: Kar yükü etkisi
$S_{ae}(T)$	: Yatay elastik tasarım spektral ivmesi [g]
$S_{aeD}(T)$	: Düşey elastik tasarım spektral ivmesi [g]
$S_{de}(T)$	: Yatay elastik tasarım spektral yerdeğiştirmesi [m]
S_{DS}	: Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı [Boyutsuz]
S_{D1}	: 1 saniye Periyot Tasarım Spektral İvme Katsayısı [Boyutsuz]
S_s	: Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı [Boyutsuz]
S_1	: 1 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı [Boyutsuz]
s_h	: Plastik mafsal noktası ile kolon merkezi arasındaki mesafe
T_A	: Yatay elastik tasarım ivme spektrum köşe periyodu [s]
T_B	: Yatay elastik tasarım ivme spektrum köşe periyodu [s]
T_L	: Yatay elastik tasarım spektrumunda sabit yerdeğiştirme bölgesine geçiş periyodu [s]
T_p	: Binanın hakim doğal titreşim periyodu
t_f	: Kesit başlık kalınlığı
t_{fYSE}	: YSE kesit başlık kalınlığı

t_{plk}	: Çelik plaka kalınlığı
t_w	: Kesit gövde kalınlığı
V	: Çelik plakalı perde duvar sistemi kesme dayanımı
V_b	: Esas rüzgar hızı
$V_{DSE(plk)}$	: Çelik plaka etkisiyle DSE üzerindeki toplam kesme kuvveti
$V_{DSE(YSE)}$	: YSE etkisiyle DSE üzerindeki toplam kesme kuvveti
V_m	: Ortalama rüzgar hızı
V_n	: Elemanın karakteristik kesme kuvveti dayanımı
V_{up}	: DSE gövdesinde YSE-DSE bağlantısı etkisiyle oluşan kesme kuvveti
V_g	: Düşey Yük Etkisine karşı Kesme Kuvveti Dayanımı
V_{pl}	: Plastik mafsal momentinin oluşturduğu kesme kuvveti
V_{tE}^Y	: Y deprem doğrultusunda binanın tümüne etkiyen toplam eşdeğer deprem yükü
V_{tE}^X	: X deprem doğrultusunda binanın tümüne etkiyen toplam eşdeğer deprem yükü
V_u	: Gerekli kesme kuvveti dayanımı
$V_{u(YSE)}$	: YSE etkisine karşı gerekli kesme kuvveti dayanımı
w	: YSE üzerindeki toplam yayılı yük
w_g	: Düşey yük etkisiyle oluşan yayılı yük
w_{yYSE}	: Sismik etkiyle çelik plakadan yse üzerine aktarılan etki
w_{xc}	: Sismik etkiyle çelik plakadan dse üzerine aktarılan etki
Z, Z_x	: Plastik mukavemet momenti
z_0	: Engebelilik uzunluğu
$Z_{enküçük}$	: En düşük yükseklik
α	: Çekme alanlarının açısı
σ_v	: Türbülansın standart sapması
Δ_x	: YSE üzerindeki şerit mesafeleri
ϕ	: Güvenlik katsayısı
ϕ_c	: Dayanım katsayısı



ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 4.1: Yapı üzerindeki yükler.	62
Çizelge 4.2: Tasarım yönetmelikleri.	65
Çizelge 4.3: Çatı katı döşeme yükleri.	67
Çizelge 4.4: Normal kat döşeme yükleri.	67
Çizelge 4.5: Kat ağırlıkları.	69
Çizelge 4.6: X doğrultusu katlara etkiyen deprem yükü.	70
Çizelge 4.7: Y doğrultusu katlara etkiyen deprem yükü.	70
Çizelge 4.8: Revize edilmiş deprem yükleri.	71
Çizelge 4.9: Ortalama rüzgar hızı.	72
Çizelge 4.10: Rüzgar türbülansı.	72
Çizelge 4.11: Rüzgar basıncı.	72
Çizelge 4.12: X doğrultusunda rüzgar basıncı.	73
Çizelge 4.13: Y doğrultusunda rüzgar basıncı.	73
Çizelge 4.14: X-Z düzlemi çelik plakalı perde duvar sistemi boyutları.	73
Çizelge 4.15: Y-Z düzlemi çelik plakalı perde duvar sistemi boyutları.	74
Çizelge 4.16: X-Z düzlemi çelik plaka özellikleri.	74
Çizelge 4.17: Y-Z düzlemi çelik plaka özellikleri.	74
Çizelge 4.18: X-Z düzlemi sınır elemanı profil kesitleri.	75
Çizelge 4.19: Y-Z düzlemi sınır elemanı profil kesitleri.	75
Çizelge 4.20: X-X doğrultusu görelî kat ötelemeleri.	81
Çizelge 4.21: Y-Y doğrultusu görelî kat ötelemeleri.	82
Çizelge 4.22: İtme analizinin deplasman sonuçları.	91
Çizelge 4.23: Zaman tanım alanında kullanılan 3 önemli deprem kaydı ve özellikleri.	93
Çizelge 4.24: X doğrultusu kat ötelenmeleri.	95
Çizelge 4.25: Y doğrultusu kat ötelenmeleri.	96
Çizelge 5.1: Çelik plakalı perde duvar sisteminin yapısal eleman özellikleri. ...	100
Çizelge 5.2: ABAQUS dizaynı ile el hesaplarının karşılaştırılması.	111
Çizelge 5.3: İnce çelik plakalı perde duvar sisteminin kusur büyüklüğüne göre dayanım değerleri.	112
Çizelge 5.4: Kalın çelik plakalı perde duvar sisteminin kusur büyüklüğüne göre dayanım değerleri.	114
Çizelge 5.5: Çelik plakalı perde duvar sistemlerinde farklı burkulma modlarının süperpoze edilmesinin sistem dayanımı üzerindeki etkisi.	115



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1: Çelik plakalı perde duvar sistemi.	3
Şekil 1.2: Çelik plakalı perde duvar sisteminin ötelenme sonucu beklenen davranışı.	3
Şekil 2.1: Çelik plakalı perde duvar sisteminde çekme alanları.	6
Şekil 2.2: Çelik plakalı perde duvar sisteminde yük akışı.	6
Şekil 2.4: Çelik plakalı perde duvar sisteminde oluşan iç kuvvetler.	7
Şekil 2.5: Çelik plakalı perde duvar sisteminde dayanım aşamaları.	8
Şekil 2.6: Çelik plakalı perde duvar sisteminin elemanları.	9
Şekil 2.7: Çelik plakalı perde duvar sisteminin bazı bağlantı elemanları.	9
Şekil 2.8: Çelik plakalı perde duvar sisteminde genişlik/yükseklik oranı.	14
Şekil 2.9: Düşey sınır elemanlarında meydana gelen kum saati şeklinde deformasyon hali.	15
Şekil 2.10: Çelik plakalı perde duvar sistemlerinde bağ kirişi.	17
Şekil 2.11a: Çelik plakalı perde duvar sistemlerinde dış destek sistemi.	18
Şekil 2.11b: Dış destekli çelik plakalı perde duvar sistemlerinde yük akışı.	18
Şekil 2.12: Çelik plakalı perde duvar sistemlerinde kutu profil kullanımı.	20
Şekil 2.13: Çelik plakalı perde duvar sistemlerinde şaşırtma.	21
Şekil 2.14: Dalgalı çelik plakalı perde duvar sistemleri.	23
Şekil 2.15: Çelik plakalı perde duvar sistemlerinde delik.	24
Şekil 2.16: Çelik plakalı perde duvar sistemlerinde yüzük şeklinde delikler.	25
Şekil 2.17: Tabakalı delik açılmış çelik plakalı perde duvar sistemleri.	26
Şekil 2.18: Betonarme ile güçlendirilmiş çelik plakalı perde duvar sistemleri.	29
Şekil 2.19: Kapasitesi düşürülmüş yatay sınır elemanlı çelik plakalı perde duvar sistemleri.	30
Şekil 2.20a: Kısmi bağlantılı çelik plakalı perde duvar sistemleri.	31
Şekil 2.20b: Kısmi bağlantılı çelik plakalı perde duvar sistemleri genel görünümü.	31
Şekil 2.21: Enerji yutma bileşenleriyle güçlendirilmiş çelik plakalı perde duvar sistemleri.	33
Şekil 2.22: Dört yandan ve iki yandan bağlantılı çelik plakalı perde duvar sistemleri.	34
Şekil 2.23a: İkincil düşey elemanlı çelik plakalı perde duvar sistemleri.	35
Şekil 2.23b: İkincil düşey elemanlı çelik plakalı perde duvar sistemlerinde yük akışı.	36
Şekil 3.1: Hesabı yapılacak çelik plakalı perde duvar sistemi.	42
Şekil 3.2: Çelik plakalı perde duvar sisteminde yük akışı.	42
Şekil 3.3: Çelik plakalı perde duvar sisteminde iç kuvvet ve gerilmeler.	43
Şekil 3.4: Çelik plakalı perde duvar sisteminde sınır elemanlarında oluşan gerilme.	43

Şekil 3.5: Çelik plakalı perde duvar sisteminde plastik mafsallık oluştuğu varsayılan noktalar.	47
Şekil 3.6: Çelik plakalı perde duvar sisteminde kolon başlık yüzeyi ve kolon eksenindeki moment hesapları.	48
Şekil 3.7: Düşey sınır elemanı üzerindeki etkiler.	51
Şekil 3.8: Sınır elemanları üzerinde oluşan gerilmeler.	55
Şekil 3.9: Çelik plakalı perde duvar sistemlerinde elastik yay tanımı.	58
Şekil 4.1: Yapının 3 boyutlu görünümü.	63
Şekil 4.2: Yapının planı.	63
Şekil 4.3: Yapının X doğrultusu kesidi.	64
Şekil 4.4: Yapının Y doğrultusu kesidi.	64
Şekil 4.5: Kullanılan malzeme özellikleri.	66
Şekil 4.6: Yapısal malzeme özellikleri.	66
Şekil 4.7: DD-2 deprem düzeyinde yatay elastik spektrumu.	68
Şekil 4.8: Çelik plakalı perde duvar sistemlerinde şerit modeli.	84
Şekil 4.9: Çelik plakalı perde duvar sistemleri şerit modelinin sap2000’de modellenmesi.	84
Şekil 4.10a: Çelik plakalı perde duvar sistemlerinde yüzeysel taşıyıcı modelin SAP2000 üzerinde modellenmesi.	85
Şekil 4.10b: Çelik plakalı perde duvar sistemlerinde yüzeysel taşıyıcı modelin SAP2000 üzerinde modellenmesi.	86
Şekil 4.10c: Çelik plakalı perde duvar sistemlerinde yüzeysel taşıyıcı modelin SAP2000 üzerinde modellenmesi.	86
Şekil 4.11: İtme analizinde yük deplasman eğrisinin idealize edilmiş hali.	87
Şekil 4.12: İtme analizinde genelleştirilmiş yük-şekil değiştirme eğrileri.	88
Şekil 4.13: Şerit elemanları için mafsallık atamaları.	89
Şekil 4.14a: 4 katlı yapının taban kesme kuvveti-çatı katı ötelenmesi grafiği. ...	90
Şekil 4.14b: Referans doküman ile tez çalışmasının grafiksel karşılaştırılması. .	90
Şekil 4.15a: 4 katlı yapının itme analizine göre kat ötelenme oranları.	91
Şekil 4.15b: 4 katlı yapının itme analizine göre kat ötelenme miktarları.	92
Şekil 4.16a: Seçilen 11 depremin 0° doğrultusunda ivme-zaman grafiği.	93
Şekil 4.16b: Seçilen 11 depremin 0° doğrultusunda yatay elastik tasarım spektrumuna göre 0.2 T _p ile 1.5 T _p arasında eşleşmiş ivme-zaman grafiği.	94
Şekil 4.16c: Seçilen 11 depremin 90° doğrultusunda ivme-zaman grafiği.	94
Şekil 4.16d: Seçilen 11 depremin 90° doğrultusunda yatay elastik tasarım spektrumuna göre 0.2 T _p ile 1.5T _p arasında eşleşmiş ivme-zaman grafiği.	95
Şekil 4.17: Zaman tanım alanında analizine göre x doğrultusu kat ötelenmeleri (cm).	96
Şekil 4.18: Zaman tanım alanında analizine göre y doğrultusu kat ötelenmeleri (cm).	96
Şekil 5.1: Çelik plakalı perde duvar sisteminin yatay yük etkisinde şekil değiştirme davranışı.	100
Şekil 5.2: Çelik plakalı perde duvar sisteminin abaqus yazılımı üzerinde modellenmiş hali.	101
Şekil 5.3: ABAQUS standart kabuk elemanları.	102
Şekil 5.4: Çelik plakalı perde duvar sisteminin bazı burkulma modları.	103
Şekil 5.5: Çelik plakalı perde duvar sisteminin bölünmesi.	105
Şekil 5.6: Referans doküman ile tez çalışmasının itme analizlerinin karşılaştırılması.	106

Şekil 5.7a: Çelik plakalı perde duvar sisteminin yatay yük etkisiyle şekil değiştirerek dayanım göstermesi.	107
Şekil 5.7b: Çelik plakalı perde duvar sisteminin yatay yük etkisi sonucu von mises gerilme dağılışı.	108
Şekil 5.7c: Çelik plakalı perde duvar sisteminde çelik plakanın yatay yük etkisi sonucu von mises gerilme dağılışı.	108
Şekil 5.7d: Çelik plakalı perde duvar sisteminin sınır elemanlarının yük etkisi sonucu von mises gerilme dağılışı.	109
Şekil 5.8: Tek katlı çelik plakalı perde duvar sisteminin kesme kuvveti-şekil değiştirme diyagramı.	109
Şekil 5.9: Çelik plakalı perde duvar sistemlerinde kesme kuvveti dayanımı.	110
Şekil 5.10: İnce çelik plakada oluşan kusurun çelik plakalı perde duvar sisteminin dayanım üzerindeki etkisi.	112
Şekil 5.11: Kalın çelik plakada oluşan kusurun çelik plakalı perde duvar sisteminin dayanım üzerindeki etkisi.	113
Şekil 5.12: Çelik plakalı perde duvar sistemlerinde farklı burkulma modlarının süperpoze edilmesinin sistem dayanımı üzerindeki etkisi.	115
Şekil 5.13a: Çelik plakalı perde duvar sistemlerinde sınır elemanları.	116
Şekil 5.13b: Çelik plakalı perde duvar sistemlerinde sınır elemanlarının yatay yük etkisi sonucu von mises gerilme dağılışı.	116
Şekil 5.13c: Çelik plakalı perde duvar sistemlerinde sınır elemanlarının kesme kuvveti-şekil değiştirme grafiği.	117



ÇELİK PLAKALI PERDE DUVAR SİSTEMLERİ

ÖZET

Bu tezde Amerika ve birçok ülkede kodlarda bulunan ama Türkiye’de henüz yönetmeliğe girmemiş çelik plakalı perde duvar sistemleri işlenmektedir. Farklı disiplinlerin gereksinimleri doğrultusunda yapıların yatay kuvvete karşı dayanımında aranan şartları sağlamakta gayet etkin bir sistem olan çelik plakalı perde duvar sistemleri, bu tez içerisinde hem pratikte hem de teoride anlatılmış, avantajları ve dezavantajları üzerinde durulmuştur.

İlk ana bölümde çelik plakalı perde duvar sistemleri açıklanmış, avantajları ve dezavantajları üzerinde durulmuş, yönetmelikte olan ve yönetmeliğe girebilecek sistemler tanıtılmıştır. Tipik çelik plakalı perde duvar sistemleri yatay kuvvete karşı özellikle yüksek binalarda kullanılan bir sistem olsa da, sistemin elemanları veya davranışı gereği farklı tiplerde taşıyıcı istem türleri önerilmiştir. Deneyler ve yazılımlarla desteklenen bazı yeni sistemler yönetmeliklerde bulunmamasına rağmen yapının davranışına göre taşıyıcı sistemde düzelmeler sağlayarak, hem ekonomik olarak hem de yapı elemanı olarak tasarımcıya daha uygun şartlar sağladığı gözlemlenmiştir. Ayrıca tarihte şartlar ve gereksinimler gereği yapılarda kullanılan bu taşıyıcı sistemler örneklenmiş, diğer yatay kuvvete karşı dayanım gösteren diğer taşıyıcı sistemlere göre farklılıkları anlatılmıştır.

İkinci ana bölümde tek katlı çelik plakalı perde duvar sisteminin yönetmeliğe göre hesaplamaları gösterilmiş ve hesaplanan sistemde AISC yönetmeliğince istenen şartlar sağlanmıştır. Ayrıca sistemde söz konusu bazı elemanlar üzerindeki kuvvet değerlerini bulmak için farklı yöntemler önerilmiş ve bu yolların avantaj ve dezavantajları anlatılmıştır.

Üçüncü ana bölümde çok katlı bir çelik yapının ana yatay kuvvete dayanım sistemi çelik plakalı perde duvar sistemi olarak tasarlanmış ve hesaplamaları gösterilmiştir. Katlarda bulunan çelik plakalı perde duvar sistemlerinin birbirleri üzerindeki performans etkileri dolayısıyla hesaplamalar yeniden gösterilmiş ve ikinci ana bölümde olmayan yapıdaki diğer eleman hesaplarını gerektiren diğer hesaplamalar da verilmiştir. Yapının tasarımında esas olarak Türk deprem ve çelik yapılar yönetmeliği

kullanılsa da Amerikan Deprem ve Çelik yönetmeliğine de bazı durumlarda başvurulmuştur. Ayrıca yönetmelikte kullanılması izin verilen iki farklı yöntemden biri seçilerek yapı tasarlanmış ve bunun yanı sıra diğer yöntem de açıklanmıştır.

Dördüncü ana bölümde, ikinci ana bölümde yönetmelikler tarafından verilen formüller kullanarak el hesaplamaları gösterilmiş çelik plakalı perde duvar sisteminin ABAQUS yazılımı ile analizi yapılmıştır. Bu bölümle çelik plakalı perde duvar sistemlerinin yatay yük etkisinde davranışı, çelik plaka ve sınır elemanlarının dayanım üzerindeki etkisi ve çelik plakalardaki geometrik kusurların dayanıma etkisi anlatılmıştır.

Yapılan hesaplamalar, açıklamalar ve örneklemeler üzerine çelik plakalı perde duvar sisteminin yapı üzerinde yatay kuvvete dayanım açısından etkin bir sistem olduğu kanıtlanmış ve gerektiğinde sistem türü değiştirilerek daha ekonomik sonuçlar elde edilebileceği gösterilmiştir. Henüz Türk yönetmeliklerine girmemiş bu taşıyıcı sistemin, ileri tarihlerde Amerikan yönetmeliğindeki yeri ve türleri güncellendiğinde ülkemizin yönetmeliklerine en kısa zamanda girebileceği ve Türk mühendislerine etkin bir tasarım aracı olarak sunulması umulmaktadır

STEEL PLATE SHEAR WALLS

SUMMARY

In this thesis, the steel plate shear wall systems ,which are included in American and other national codes but not in Turkish codes, are discussed. To satisfy the expectation and requirements from other branches like architectures and mechanical engineers, the steel plate shear wall systems that are effective systems against lateral forces in structures, are explained theoratically and practically. Some new steel plate shear walls systems with their advantages and disadvantages are discussed according to reference documents. Also the steel plate shear wall systems, which are used because of strength requirements, easy construction, their advantages in old buildings like hospital and libraries, are shown and explained why these systems are used instead of the other lateral load resisting systems. Finally, advantages and disadvantages of typical steel plate shear walls systems are discussed in this thesis.

In the first main chapter, typical steel plate shear wall systems are explained, advantages and disadvantages are considered, new steel plate shear wall systems, which are not in Turkish codes, are described. Although steel plate shear wall systems are effective lateral load resisting systems especially in tall buildings, some new systems are suggested because of member and behavior of steel plate shear wall systems. Even though new systems ,which are proved as better systems for specific conditions by experiments and some finite element softwares, are not included in other national codes, it is observed that they have better conditions regarding economy and structural member for structural engineers because of their improved systems. Also some building examples in history showing why steel plate shear wall systems are used instead of other bearing systems and why steel plate shear wall systems differ from other lateral load resisting systems, are mainly explained in this chapter.

In the second main chapter, single storey steel plate shear wall system is calculated according to codes and the conditions given in AISC. In that chapter, only main calculations like design of steel plate and boundary members are shown and some other calculations like the connections between steel plate and boundary members, connections between horizontal and vertical boundary elements are not shown. Basic requirements like minimum moment of inertia of boundary elements, minimum

thickness in boundary elements are fulfilled. Besides some methods to find the forces on members of the system are suggested and advantages and disadvantages of these methods are explained.

In the third main chapter, 4 storey steel structure ,where main lateral load is resisted by the steel plate shear wall system, is designed and the calculations are given. The same basic calculations in the second main chapter are demonstrated again to show the effects of the systems in different stories on each other. Some calculations not included in the second main chapter are carried out because these calculations are needed for the other structural members. Although the Turkish seismic code as well as Turkish steel structures code are used in these calculations, American seismic code must be used in some parts of calculations due to necessity. Also even though there are 2 solution methods which are allowed in American codes, one of the method is used where the other method is described. Finally, time history and pushover analyses are used to evaluate the structure behavior and results are discussed and compared to some reference documents.

In the forth main chapter; the steel plate shear wall, which calculations according to formulas from the relevant codes is shown in the second main chapter, is analyzed with ABAQUS software and compared to some reference documents. The lateral load behavior of steel plate shear wall, the effects of steel plate and boundary members on steel plate shear wall, the effects of buckling modes on steel plate shear walls and the effect of initial imperfection of thin and thick steel plate are shown step by step in that chapter. Also the results, which are got from ABAQUS software, are compared to the model data, which is collected from SAP2000 model, and hand calculations.

In summary, behavior of steel plate shear walls is analogous to a vertical plate girder cantilevered from its base. Similar to plate girders, the steel plate shear wall system optimizes component performance by taking advantage of the post-buckling behavior of the steel infill panels. A steel plate shear wall frame can be idealized as a vertical cantilever plate girder, in which the steel plates act as the web, the columns act as the flanges and the cross beams represent the transverse stiffeners. The theory that governs plate design should not be used in the design of SPW structures since the relatively high bending strength and stiffness of the horizontal and vertical boundary elements have a significant effect on the post-buckling behavior. Capacity design of structures is to control failure in a building by pre-selecting localized ductile fuses (or weak links) to act as the primary location for energy dissipation when a building is subjected to extreme loading. The structure is designed such that all inelastic action (or damage) occurs at these critical locations (the fuses), which are designed to behave in a ductile and stable manner. Conversely, all other

structural elements are protected against failure or collapse by limiting the load transfer to these elements to the yield capacity of the fuses. In steel plate shear wall systems, the infill plates are meant to serve as the fuse elements. When damaged during an extreme loading event, they can be replaced at a reasonable cost and restore the full integrity of the building. In general, steel plate shear wall systems are categorized based on their performance, selection of structural and load-bearing systems, and the presence of perforations or stiffeners. Also in this thesis, It is proved that steel plate shear wall systems are effective lateral load resisting system according to calculations, explanations and examples given in this thesis and new bearing systems can be used for specific conditions for economy and better structural behavior. Especially in high buildings, the steel plate shear walls are preferred thanks to high energy dissipation and ductility, high stiffness and architectural advantages. Even though it is temporarily not a part of Turkish codes, it is hopefully expected that this system will be a part of Turkish codes thanks to improvements in other codes.



1. GİRİŞ

Son dönemlerde ilerleyen teknoloji ve gelişip değişen toplumlar sonucu yapı sektöründe, zorlu ve yeni çözümler gerektiren bir süreç içine girilmiştir. Bu zorlukların yanında hız ve kalite kavramları daha da değer kazanınca; geleneksel ve yoğun çaba gerektiren metotlar yerine kolay ve hızlı çözüm arayışları arttırılmıştır.

Mühendis, mimar gibi birçok iş kolunun ortak paydada buluşarak oluşturduğu yapı sistemlerinin, iş kollarının ortak gereksinim ve beklentilerini karşılayacak şekilde tasarımı yapılır. Bu iş kollarının bazı gereksinimleri sonucu, inşaat mühendislerinin de içinde bulunduğu diğer iş kollarında bazı zorluklar ve koşullarla karşılaşmıştır. Bu koşulları ve gereksinimleri yerine getirme amacıyla inşaat mühendisleri, yeni arayışlara itilmiştir. Yapılan deneyler ve araştırmalar sonucu yapı davranışı ve yapı elemanları etkileri daha iyi kavranılmış, bu zorluklarla başa çıkılmaya başlanmıştır.

Bir taşıyıcı yapı sistemi, önceden öngörülen veya belirlenen servis ömrü boyunca etkileneceği değişken yükler altında yönetmeliklerin zorunlu kıldığı şartları yerine getirecek şekilde güvenli bir davranış göstermesi için tasarlanır. Yapının yatay ve düşey dayanım sistemi; yük birleşimlerine, yapının istenilen davranışına ve temel olarak mimari tasarımı üzerine tasarlanır. Yapı tasarımı; bu temel tasarım konularının yanında yapı kodlarının koşulları, yatay ve düşey kuvvet değerleri, azami yer değiştirme gibi birçok faktörden etkilenmiştir. Özellikle deprem bölgelerinde hassas dengeler göz önüne almak ve sağlamak olan inşaat mühendisleri, temel olarak düşey ve yatay yükler etkisi altında yaptıkları boyutlandırma hesaplamalarında uygun yapı davranışı ve dayanımı elde etmeye zorlanmıştır.

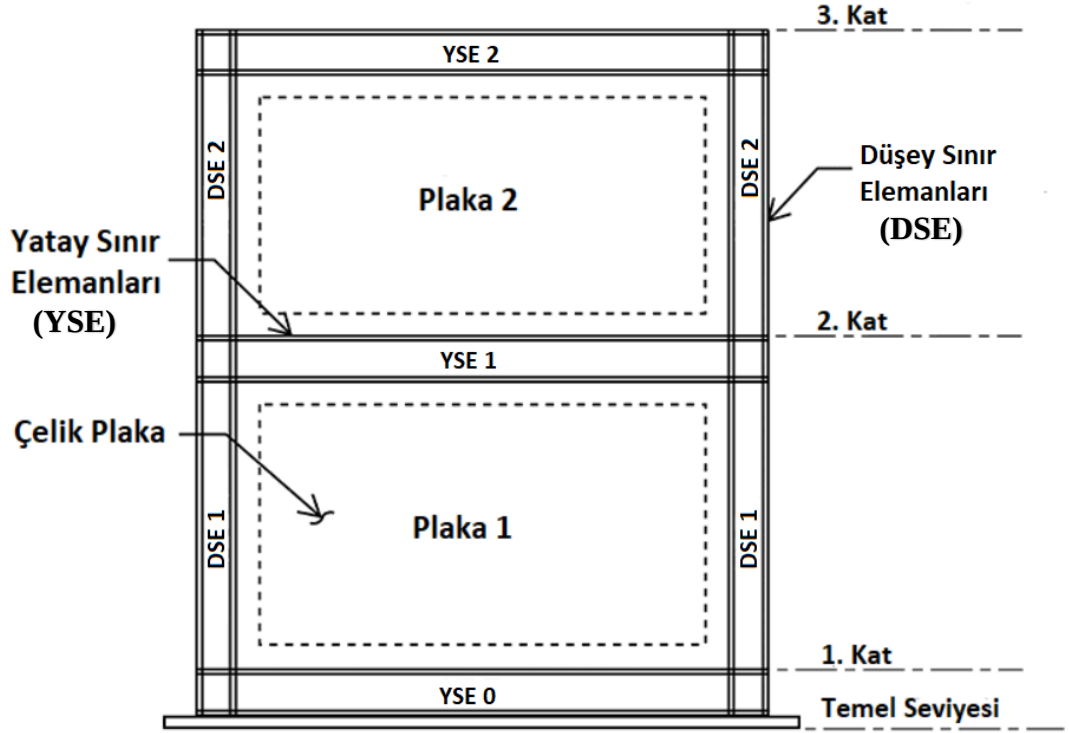
Yapının istenilen davranışı, birçok performans faktöründen etkilenmektedir. Bunlar içerisinde önemli bir faktör olan deprem performansı için deprem mühendisliğinde çalışmalarını 2 konu üzerine yoğunlaşmıştır: Güçlü bir depremin toplum üzerinde oluşturabileceği yıkıcı etki ve yapı sistemlerini bu yıkıcı etkiye karşı bina yapım yönetmeliği gerekleriyle yeterli hale getirmek amaçlardan biri olarak gösterilebilir. Bu sorunların üstesinden gelmek için deprem mühendisliğinde, ya yapının bu maximum

yükler altında elastik davranış göstererek hiçbir hasar almadan ömrünü devam ettirmesi için ya da yapı içerisinde belli yapı elemanları üzerinde sınırlandırılmış hasarlar oluşturarak hasarın belli bölgelerde toplanmasına yönelik tasarım yapılır. Deprem performansının yanında rüzgar yükü altında stabilite problemleri, düşey yükler altında titreşim gibi önemli performans faktörlerin sağlanması gayet sıkı kurallar ve koşullar getirirken, son yıllarda yeni yapı türleri ve tipleri, daha yüksek yapıların inşası gibi birçok zorluğun da eklenmesi, yeni yapı elemanlarından yararlanılması, temel arayışlarından biri haline getirilmiş ve üstünde çalışmalar yürütülmüştür.

Yapı üzerindeki en belirgin yükler olan düşey ve yatay yüklere dayanım açısından çözüm olacak yapı elemanları, üzerinde durulan temel konulardan biri olarak gösterilir. Düşey yükler altında gerekli dayanımı sağlayacak, özellikle deprem ve rüzgar yükleri gibi yatay yükler altında gerekli dayanım ve stabilite şartlarını sağlayacak yapı elemanları; bir yapı sisteminin gücü ve davranışını belirleyen temel unsur olarak gösterilebilir. Özellikle yüksek yapılarda ağır düşey yüklerde dayanım sağlayacak, rüzgar yükünde stabiliteyi sağlayacak dayanıklılıkta ve deprem yükünü sönmüleyici nitelikte olup doğrudan yapı temeli üzerindeki kuvvetleri azaltacak bir yapı elemanı gereksinimi uzun yıllardır araştırılmaktadır. 1970'lerden süregelen bir yapı elemanı olan "Çelik Plakalı Perde Duvar Sistemleri" bu şartları sağlayacak uygun ve etkin elemanlardan biri olarak bilinmektedir.

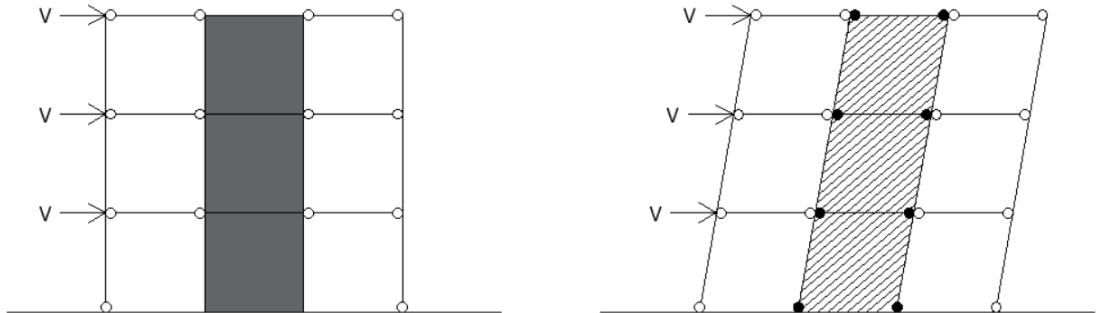
Daha önceki uygulamalarda büyük kalınlıkta veya büyük takviye elemanları kullanılarak elastik olarak tasarlanacak plakalı perde duvar sistemleri, çelik plakanın kesme kuvveti etkisiyle akması sonrası düzlem dışı burkulma gücü dayanımından yararlanılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucu çelik plakanın akma sonrası gücü de kullanılarak daha ince ve etkin kullanılmaya başlanan bu sistemler, deprem bölgelerinde uygun bir alternatif olarak kullanılmaya başlanmıştır. Çelik plakalı perde duvar sistemleri uygun şartlarda kullanıldığında en ekonomik ve en etkin yatay kuvvet taşıyıcı sistemlerinden biri olarak görülmektedir. Tipik bir güçlendirilmemiş çelik plakalı perde duvar sistemi; düşey çelik plakalar, yatay ve düşey sınır elemanları ile bağlantılarından oluşturulur. Bu sistemlerde yatay kuvvete esas olarak kesme kuvveti sonrası burkulma gösteren çelik plakadaki çekme alanları ile dayanım gösterilir. Özellikle yüksek deprem riskli bölgelerde kullanılan bu sistemler, yüksek rijitlik, yüksek deformasyon kapasitesi, yüksek enerji yutma kapasitesi ve ekonomik çözümler

sunması nedeniyle kullanılır. Özellikle Amerika, Kanada, Japonya, Çin'de kullanılan bu sistemler için yönetmeliklerde farklı şartlar belirtilse de sistem tasarım ve hesaplamaları belli ilkelere dayanır.



Şekil 1.1: Çelik plakalı perde duvar sistemi.

Konvansiyonel bir çelik plakalı perde duvar sisteminde ilk olarak çelik plaka, daha sonra yatay ve düşey sınır elemanları, en son olarak ise bağlantı elemanları tasarımı yapılır. Kapasite tasarımı prensibi kullanılan bu sistemlerde amaç; plakanın yatay yük dayanımında kullanılırken, plastik mafsallın yatay sınır elemanları ucunda oluşması ve düşey sınır elemanlarının yeterli eğilme rijitliği şartlarını yerine getirip sistemin uygun davranışı göstermesi olarak planlanır.



Şekil 1.2: Çelik plakalı perde duvar sisteminin ötelenme sonucu beklenen davranışı.

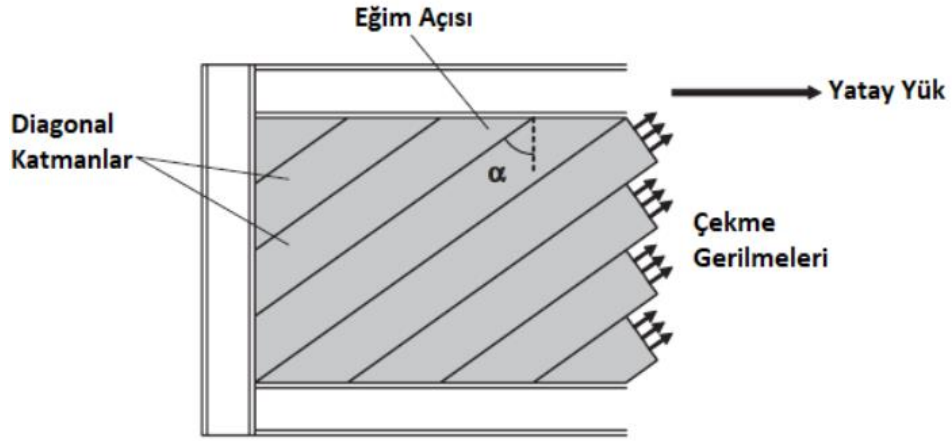


2. ÇELİK PLAKALI PERDE DUVAR SİSTEMLERİ

2.1 Çalışma Prensibi ve Davranışı

Çelik plakalı perde duvar sistemlerinde dayanım prensibi ikiye ayrılır: Sadece kesme dayanımı ve çekme alanları ile dayanım. Sadece kesme dayanımı, yüksek kalınlıkta çelik plakalar kullanılarak çelik plakanın kesme kuvveti etkisi sonucu burkulmasından önce akmasıyla sağlanır ve tersinir yüklerde sabit plastik dayanım kabulü yapılır. Bu dayanım türünde her ne kadar histerik eğride daralma görülmese de, bu davranışı sağlamak için yüksek kalınlıkta çelik plakalar gerektiğinden ekonomik olmayan sonuçlar elde edilir. Bu dayanım prensibi günümüz koşullarında tercih edilmeyen bir dayanım prensibidir.

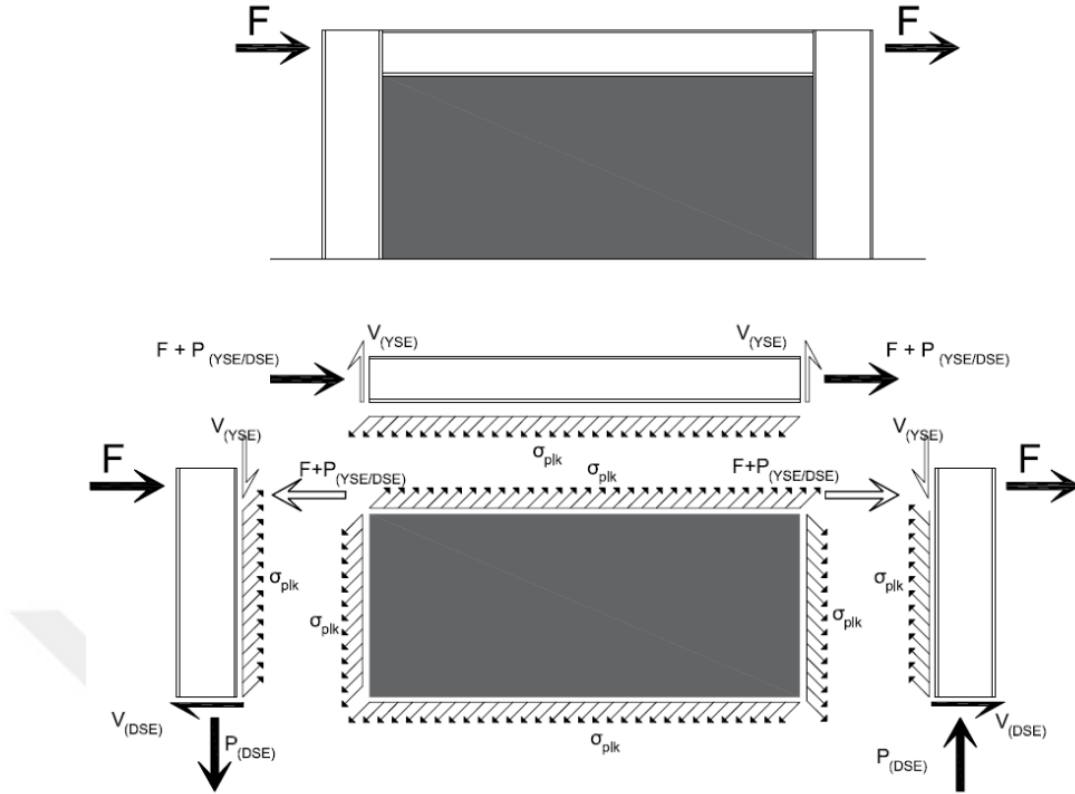
Çekme alanları ile dayanım, çelik plakanın kesme kuvveti etkisi sonucu burkulmasından sonra akmasıyla sağlanır. Yatay ve sınır sınır elemanları tarafından sınırlandırılan çelik plakanın burkulma sonrası gücünü kullanarak yatay yüklere dayanım gösterdiği bu prensipte, çelik plakanın hiçbir koşulda düşey yük taşımadığı ve sadece yatay yük altında deformasyon yaptığı, sınır elemanlarının ise devrilme momentine karşı dayanım sağladığı varsayımı yapılır. Yatay yük sisteme etkideğinde çelik plaka, sadece kesme etkisine maruz kalarak, plakanın "Genişlik/Kalınlık" oranıyla bağıntılı belli eğim derecesinde çekme ve basınç gerilme çizgileri oluşturduğu varsayımıyla hesaplamalar ve kontroller yapılır. Bu basınç gerilme çizgileri altında plaka burkulur ve sistemde plakanın burkulma sonrası dayanımı kullanılır. Burkulma sırasında yatay yükün, plakadan çekme gerilme çizgileriyle bağlantı noktalarına, yatay ve düşey sınır elemanlarına aktarıldığı varsayılır.



Şekil 2.1: Çelik plakalı perde duvar sisteminde çekme alanları. (Ductile Design of Steel Structures, 2011)

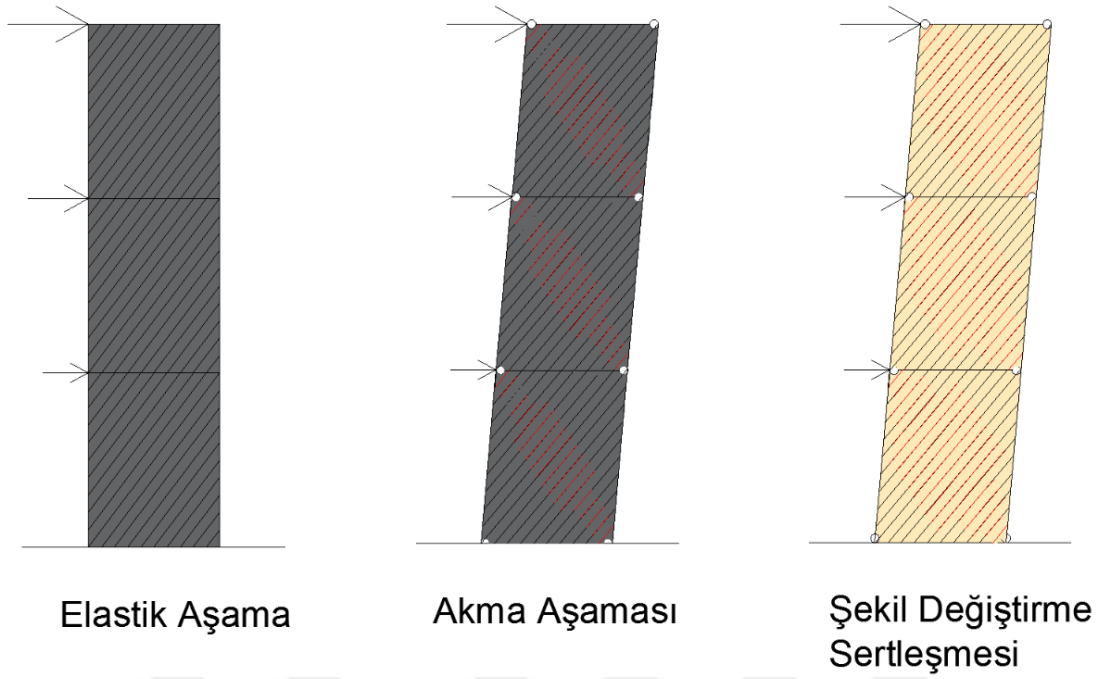


Şekil 2.2: Çelik plakalı perde duvar sisteminde yük akışı. (AISC Design Guide 20, 2006)



Şekil 2.4: Çelik plakalı perde duvar sisteminde oluşan iç kuvvetler. (AISC Design Guide 20, 2006)

Çelik plakalı perde duvar sisteminin yatay kuvvete karşı dayanımı 4 duruma ayrılabilir: Elastik aşama, burkulma aşaması, burkulma sonrası dayanım aşaması ve çökme aşaması. Elastik durum, çelik plakalı perde duvar sistemine gelen yükün yerdeğiştirmeye uyumlu olarak lineer olarak arttığı ve sistem elemanlarında herhangi bir hasarın oluşmadığı evre olarak tanımlanabilir. Bu evrede sistem elemanlarının hepsinin lineer davranış gösterdiği ve yükleme durdurulursa herhangi bir hasar veya önemli ölçüde çatlak oluşmadığı gözlemlenir. Burkulma aşaması, çelik plakalı perde duvar sisteminin yük deplasman eğrisinde meydana gelen zayıflama veya rijitliğine etki eden negatif etki olarak kabul edilebilir. Bu aşamada kesme kuvveti etkisiyle çelik plaka burkulur lakin sistemin kesme kuvvetine karşı dayanım göstermeye başladığı gözlemlenir. Burkulma sonrası dayanım aşaması, plakadaki burkulma sonrası çekme alanlarının meydana geldiği evre olarak tanımlanabilir. Çelik plakalı perde duvar sistemlerinde sünek ve güçlü bir davranış bu evre sayesinde gösterilmektedir. Burkulma sonrası dayanımın belirli bir aşamasından sonra lokal çatlaklar ve yük taşıma kapasitesinde azalma görülür ve sistemin yük taşıma kapasitesi başlangıç kapasitesine göre %80 seviyesine geldiğinde çökmenin gerçekleştiği varsayılır.



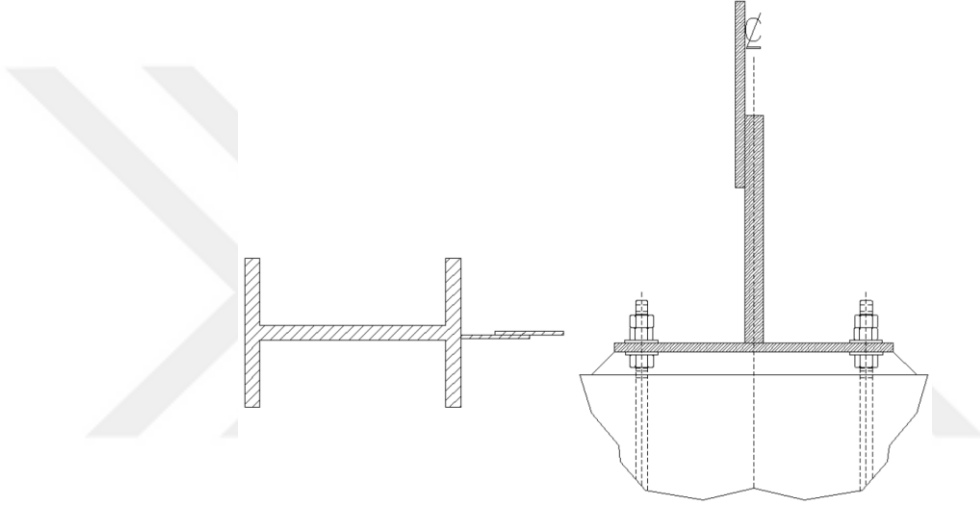
Şekil 2.5: Çelik plakalı perde duvar sisteminde dayanım aşamaları. (Cyclic test of steel plate shear walls using box-shape vertical boundary elements with or without infill concrete, 2017)

Çelik plakalı perde duvar sisteminde çelik plakayı sınırlandırıp destekleme görevini üstlenen yatay ve düşey sınır elemanları, sistemin davranışında ve göçme mekanizmasında önemli bir etkiye sahip olduğu gözlemlenmiştir. Yönetmeliklerle de önemli eğilme kapasitesine sahip olma koşuluna sahip bu elemanlarda, çelik plakada yeterli derecede gerilme dağılımı gözlemlenmeyebilir. Kapasite tasarımına göre kesit boyutları belirlenen bu elemanlar için; yatay sınır elemanının, alt ve üst katın çelik plakalarında oluşan çekme gerilmeleri farkına ve tasarım yapan mühendisin kararına göre yapıdan gelecek düşey yüke dayanım göstermesi beklenirken, düşey sınır elemanlarının kendi katındaki çelik plakanın çekme gerilmesine ek olarak yatay sınır elemanının plastikleşmesi varsayımıyla oluşacak etkilere karşı dayanım sağlayacak kapasitede olması istenir.



Şekil 2.6: Çelik plakalı perde duvar sisteminin elemanları.

Çelik plaka ile sınır elemanları arasındaki yük akışını sağlayan bağlantı elemanlarının tasarımını diğer sünek yapı sistemlerindeki benzer olduğu söylenebilir. Çelik plakanın yatay ve düşey sınır elemanlarını sağlayan bağlantıların çelik plakanın akmasına karşı yeterli bir dayanım göstermesi beklenir. Bu bağlantıların yanında yatay sınır elemanları ile düşey sınır elemanları arasında yük aktarımını sağlayan bağlantıların ise tam kapasiteli moment aktarması, plakanın akması sonucu oluşacak düşey kesme kuvvetine ve yatay sınır elemanının akması sonucu beklenen etkilere dayanım göstermesi beklenir. Bu bağlantıların dışında, yapının en alt ve en üst katlarında çelik plakalı perde duvar sistemlerinin etkilerini, yapının temeline ve çatı sistemine aktaran bağlantıların beklenen etkiler altında yeterli dayanım göstermesi beklenir.



Şekil 2.7: Çelik plakalı perde duvar sisteminin bazı bağlantı elemanları. (AISC Design Guide 20, 2006)

Çelik plakalı perde duvar sisteminde temel, yükü zemine aktaran son yapı elemanı olarak görülür. Temeller, onarılması ve hasar sonrası ulaşımı zor olduğundan elastik olmayan davranış göstermemesine göre dizayn edilir. Her ne kadar yapı temelleri elastik olarak dizayn edilse de, yapı temellerinde elastik olmayan davranışlarla karşılaşılır. Bu sebeple temellerde, bu istenmeyen davranışa karşı enine ve boyuna donatıların tasarımına dikkat edilmelidir.

Çelik plakalı perde duvar sistemleri, konvansiyonel olarak güçlendirilmemiş çelik plaka içerse de; yapı sistemine göre istenilen davranışı elde etmek için tasarımında değişiklik yapılabilir. Çelik plakanın akmasının geciktirilmesi, yatay ve düşey sınır elemanlarına yükün azaltılması için düşük akma gerilmesine sahip plaka kullanılması, çelik plakanın betonarme ile güçlendirilmesi gibi elverişli yöntemler, yapı sisteminde çelik plakalı perde duvar sisteminin etkinliği ve yapı ekonomisinde önemli rol olarak gösterilmektedir.

Yüksek enerji yutma özelliği, çelik plakalı perde duvar sistemlerinin özellikle yüksek deprem olasılığı görülen bölgelerde kullanılmasında önemli bir yarar sağlayıcı görülür. Kapasite dizaynına göre eleman ve bağlantı tasarımı yapılan çelik plakalı perde duvar sistemlerinde, enerji yutma çelik plakanın akması ve yatay sınır elemanlarının ucunda toplanan plastik mafsallarla sağlanır. Optimum tasarımlarla dayanım fazlalığı katsayısı 2-3 arasında değişen bu sistemler, Amerikan Çelik Yapılar Deprem Yönetmeliği'ne göre makul ve yeterli dayanım fazlalığı katsayısına sahip olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca sık meydana gelen depremlerde kodlar tarafından belirlenen yatay kat ötelenme oranlarını sağlayan bu sistemler, uygun bir yatay kuvvete karşı dayanım sistemi olarak seçilebilir.

2.2 Çelik Plakalı Perde Duvar Sistemlerinin Avantajları ve Dezavantajları

2.2.1 Çelik plakalı perde duvar sisteminin avantajları

2.2.1.1 Süneklik

Süneklik; malzemenin veya yapının akma sonrasında oluşan deformasyonlara, nihai gücünde önemli ölçüde azalma göstermeden dayanım göstermesi olarak tanımlanabilir. Bir başka deyişle plastik deformasyonlar sırasında enerji yutma kapasitesi ölçütü olarak görülür. Çelik plakalı perde duvar sistemlerinde, çelik plakanın burkulma sonrası gücünü kullandığından, yüksek süneklik derecesine sahip oldukları ispatlanmıştır. Araştırmalar sonucu çelik plakalı perde duvar sistemlerinin büyük hasarlar almadan %4 yer değiştirmeye dayandığı kanıtlanmıştır.

2.2.1.2 Yatay rijitlik

Yatay rijitlik, yatay kuvvet ve bu kuvvet sonucu oluşan yer değiştirmenin oranı olarak tanımlanabilir. Yatay rijitliği yüksek olmayan yapılarda, önemli yer değiştirmelerin sonucu artık gerilmeler ve ikinci mertebemomentler görülebilir ve yapı elemanlarında istenmeyen davranışların olduğu gözlemlenebilir. Betonarme perdelerle göre daha fazla yatay rijitlik sağlayan çelik plakalı perde duvar sistemleri de, özellikle yüksek yapılarda önemli bir etken olan yatay rijitliği artırmak için kullanılan pratik yollardan biri olarak görülmüştür.

2.2.1.3 Yüksek enerji yutma kapasitesi

Enerji yutma kapasitesi maximum yer değiştirme ve artık gerilme ile yer değiştirmeye etki eden önemli bir özellik olduğundan, deprem bölgelerinde şekil değiştirme kapasitesiyle beraber ciddi avantaj sağlayan özelliklerden biri olarak görülmüştür. Yapının sismik olay sonrasında oluşan plastik deformasyonlarla enerji sönümlenme

kapasitesi olarak tanımlanabilir ve viskoz sönümleme katsayısıyla değerlendirilebilir. Çelik plakalı perde duvar sistemlerinde; çelik plakanın akması ve yatay sınır elemanlarının uç noktalarında oluşan plastik mafsallar, sistemdeki ana enerji yutma kaynakları olarak görülür. Bu sayede yüksek süneklik özelliğine sahip olan bu sistemler, betonarme perdelerle göre büyük avantaj sağlaması önemli bir etken olarak gösterilebilir.

2.2.1.4 Farklı tip çözümler sunma özelliği

Yapı sisteminin davranışına veya elemanın davranış biçimine göre çelik plakalı perde duvar sistemlerinde farklı çözümler sunulabilir. Araştırmalar ve deneyler devam etmekte olup bazı sistemler yönetmeliklere kabul ettirilmiş, bazı sistemler için ise çalışmalar devam ettirilmektedir.

2.2.1.5 Duvar kalınlığı

Mimari tasarım için büyük öncelik olan yapıda gerekli alan kullanımı, çelik plakalı perde duvar sistemlerinin kullanılmasındaki sebeplerden birisi olarak gösterilebilir. Yapılan araştırmalar, çelik plakalı perde duvar sistemlerinin betonarme perdelerle göre %2 daha fazla alan kullanımı sağladığı gösterilmiştir.

2.2.1.6 Sistem ağırlığı

Kullanılan plaka kalınlığının düşük olması ve çeliğin hafif bir malzeme olması avantajıyla özellikle yüksek yapılarda kullanılan çelik plakalı perde duvar sistemleriyle, rüzgara karşı yeterli stabilite ve dayanım özellikleri sağlanırken deprem kuvvetlerinde ciddi bir azalma ve dolayısıyla temel tasarımında düşük kuvvetle tasarım yapma imkanı sağlanır.

2.2.1.7 Hızlı imalat

Fabrika imalatları sayesinde çelik plakalı perde duvar sistemleriyle, yapı inşasının kurulum ve imalat sürecinde ciddi ölçüde kısalma sağlanır. Yapı inşasının daha kısa sürmesini sağlayan bu süreç sayesinde ekonomik kazançlar sağlanır.

2.2.1.8 Mimari avantaj

Betonarme perdelerle karşılaştırıldığında aradaki önemli kalınlık farkından ötürü çelik plakalı perde duvar sistemleri, özellikle yüksek yapılardaki betonarme perdenin sebep olduğu mimari alan kaybına karşı etkili bir sistem olarak görülmüştür. Uygun şartlar sağlandığında kapı gibi mimari elemanlara da olanak sağlayan bu sistemler, mimari ihtiyaçları karşılamakta etkili bir sistem olarak kullanılabilir.

2.2.2 Çelik plakalı perde duvar sisteminin dezavantajları

2.2.2.1 Daralmış histerik davranış

Histerik eğim, bir elemanın sismik davranışını ve dolayısıyla karakteristik gücünü, rijitliğini, sünekliğini ve enerji yutma kapasitesini değerlendirmek için önemli bir araç olarak varsayılır. Tasarım prensibine göre narin ve ince çelik plakalar kullanılan çelik plakalı perde duvar sistemlerinde, düşük kesme kuvvetinde çelik plakanın burkulma sonrası gücüne güvenilse de, bu deformasyon durumunda daralmış histerik davranışa ve dolayısıyla sınırlı enerji yutma kapasitesi gibi sonuçlarla karşılaşılabilir . Bu davranışı iyileştirmek için çelik plakaya bazı destek sistemleri kullanılabilir.

2.2.2.2 Üst katlarda aşırı tasarım

Kapasite prensibine göre sınır elemanları boyutlandırılan çelik plakalı perde duvar sistemlerinde, çatı katına yakın katlarda çok düşük kalınlıkta plakalar yeterli olmasına rağmen, önerilen minimum atalet momenti değerinin altına düşülmemesi istendiğinden sınır elemanları gereksiz büyük boyutlarda hesaplanabilir ve ekonomik olarak uygun olmayan sonuçlar elde edilebilir. Ayrıca yapılan çalışmalarda çok katlı yapılarda, alt katlardaki sistemlerin erken burkulmanın etkisiyle daha fazla deformasyon gösterip bunun sonucunda üst katların etkin şekilde çalışmadığı gözlemlenmiş ve bu aşırı tasarım şeklinin yapı davranışı açısından da önemli bir faktör olmadığı gözlemlenmiştir.

2.2.2.3 Ses sorunu

Çelik plakalı perde duvar sistemlerinin uygulandığı bazı yapılarda, yatay etkiler sırasında çelik plakanın burkulmasının etkiyle rahatsız edici sesler duyulmuştur. Bu seslerin ses yalıtım malzemeleri kullanıldığında, betonarme ve güçlendirme detaylarıyla rijitliği artırıldığında ve uygun tasarım yapıldığında ortadan kalktığı görülmüştür.

2.2.2.4 Onarım

Özellikle yüksek deprem etkileri sonrası çelik perde duvar sistemlerinde plaka değişimi gibi temel onarımlar işçilik açısından zorluk çıkardığı deneyimlenmiştir.

2.2.2.5 Yapısal olmayan elemanlara etkisi

Kesme kuvveti etkisiyle çelik plakanın düzlem dışı burkulması sonrası dayanım performansına dayanan bu sistemlerde, çelik plakadaki düzlem dışı yerdeğiştirmeler ile, yapısal olmayan elemanlarda istenmeyen zararlar gözlemlenebilir.

2.2.2.6 Yapım aşaması

Çelik perdeli duvar sistemlerinin yapım aşamasında oluşabilecek aksenel kuvvetle, çelik plakada çekme alanlarının oluşmasında uygun davranışın oluşmaması gözlemlenebilir. Yapım aşaması sırasında çelik plakalı perde duvar sisteminin, davranışına etki edecek yapım tekniklerinden kaçınılabılır veya sınır elemanlarının montajından sonra çelik plaka montajı yapılabilir.

2.3 Çelik Plakalı Perde Duvar Sistemlerinde Parametreler

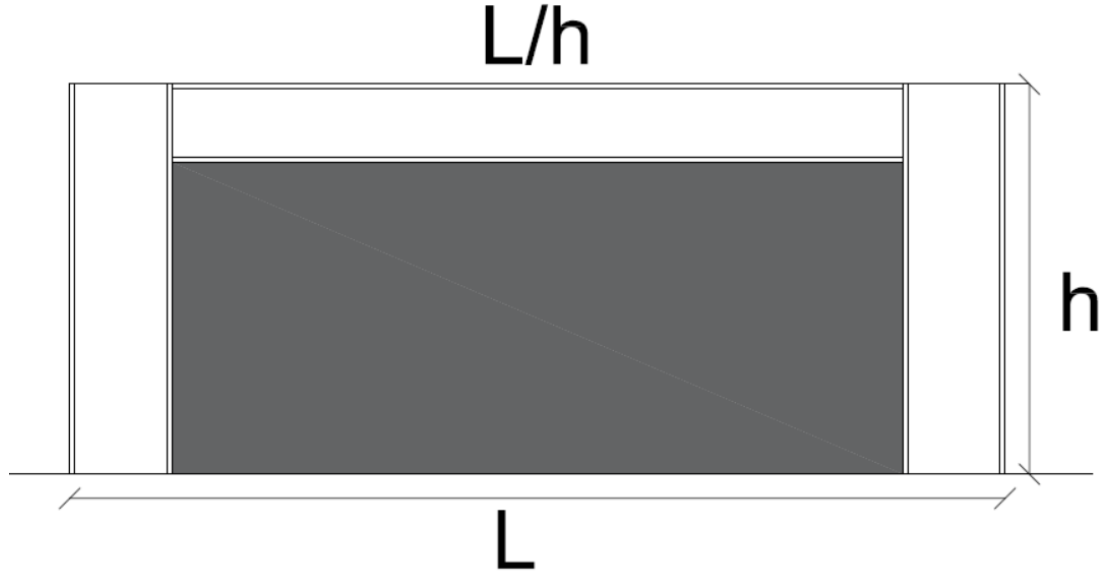
2.3.1 Çelik plaka kalınlığı

Çelik plakalı perde duvar sistemlerindeki davranışı etkileyen ana parametre çelik plaka kalınlığı olarak gösterilir. Çelik plaka kalınlığı artırılarak aksenel kuvvet, kesme kuvveti, yatay rijitlik, deformasyon ve eğilme momenti dayanımı artırılabilir; lakin çelik plakanın fazla kalın kullanılması hem sınır elemanlarındaki gerilmeyi artırıp hem de düşey sınır elemanlarında gevrek kırılmaya sebep olabileceğinden optimum kalınlık seçimi önemli bir etken olarak gösterilmiştir. Çelik plakalardaki temel mantık olan sınır elemanlarının ana görevinin devrilme momentine dayanım sağlaması esası, çok kalın çelik plaka seçimiyle sağlanmayabilir. Ayrıca kalınlığın çok artırılmasıyla çelik plakada burkulma gözlemlenmemesi ve dolayısıyla sistemin tam kapasiteli kullanılmayarak sistemin süneklik seviyesinin düşmesi deneyimlenebilir. Bu sebeple çelik plakada kalınlık artırmak yerine rijitlik levhalarıyla çelik plakayı güçlendirmek daha etkin bir yol olarak tercih edilebilir.

2.3.2 Genişlik / yükseklik oranı

Çelik plakalı perde duvar sistemlerinde çelik plaka, genel olarak tek bir parça olarak imal edilir. Özellikle yüksek dayanım ve genel rijitlik elde edebilmek için büyük genişlikte kullanılan çelik plakalı perde duvar sistemlerinde bu oran, düşey sınır elemanlarının aksenel yükü üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu belirlenmiştir. Amerikan Çelik Yapılar için 2016 Deprem Yönetmeliği'nde (AISC 341-16) 0.8 ile 2.5 arasında kısıtlanmış genişlik-yükseklik oranı aşılsa, çelik plaka daha narin olacak ve kesme kuvveti dayanımı, yatay rijitlik ve taşıma kapasitesinde azalma görülecektir. Ayrıca bu oran büyük olursa eğilme etkisi altında, küçük olursa ise kesme etkisi altında çökme olacağından, optimum değeri ayarlamamanın son derece önemli olduğu söylenebilir. Optimum değer seçilerek hızlı güç düşmesi önlenir, çekme alanlarının açısı artırılarak enerji yutma ve kapasitesi artırılabilir.

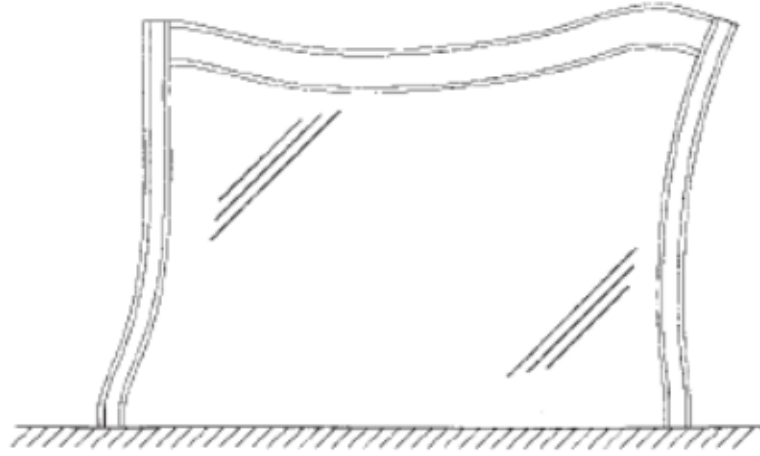
Genişlik-yükseklik oranının yanında yükseklik-kalınlık oranı da önemli etkenlerden biri olarak belirlenmiştir. Yükseklik-kalınlık oranının yüksek olması durumunda daha az başlangıç rijitliği ve çelik plakada daha fazla dışa burkulma gözlemlenebilir.



Şekil 2.8: Çelik plakalı perde duvar sisteminde genişlik/yükseklik oranı.

2.3.3 Düşey sınır elemanlarında eksenel yük etkisi

Çelik plakalı perde duvar sistemlerinin performansını önemli derecede etkileyen düşey sınır elemanları, sistem üzerinde plastikleşme oluşmaması koşulu aranan tek yapısal elemanı olarak belirlenmiştir. Kesme etkisi sonrası çelik plakada oluşan çekme alanlarının etkisiyle içe doğru eğilme deformasyonu gösteren düşey sınır elemanları, çelik plakanın merkezindeki gerilme değerini bu deformasyon sonucu düşürse de, köşe noktalarındaki gerilme değerinin artıp bu noktaların plastikleşmesi etkisiyle kum saati şekline deforme olma eğilimi gösterdiği gözlemlenmiştir. Yönetmelikler tarafından minimum atalet momenti koşulları getirilen bu elemanların, Amerikan Çelik Yapılar için 2016 Deprem Yönetmeliği'nde (AISC 341-16) sahip olması gereken minimum atalet momenti değeri verilmektedir. Bu formülde her ne kadar eksenel yük etkisi dikkate alınmasa da, bu değerlerle sağlanan düşey sınır elemanlarıyla istenen sistem davranışı sağlanmıştır.



Şekil 2.9: Düşey sınır elemanlarında meydana gelen kum saati şeklinde deformasyon hali. (AISC Design Guide 20, 2006)

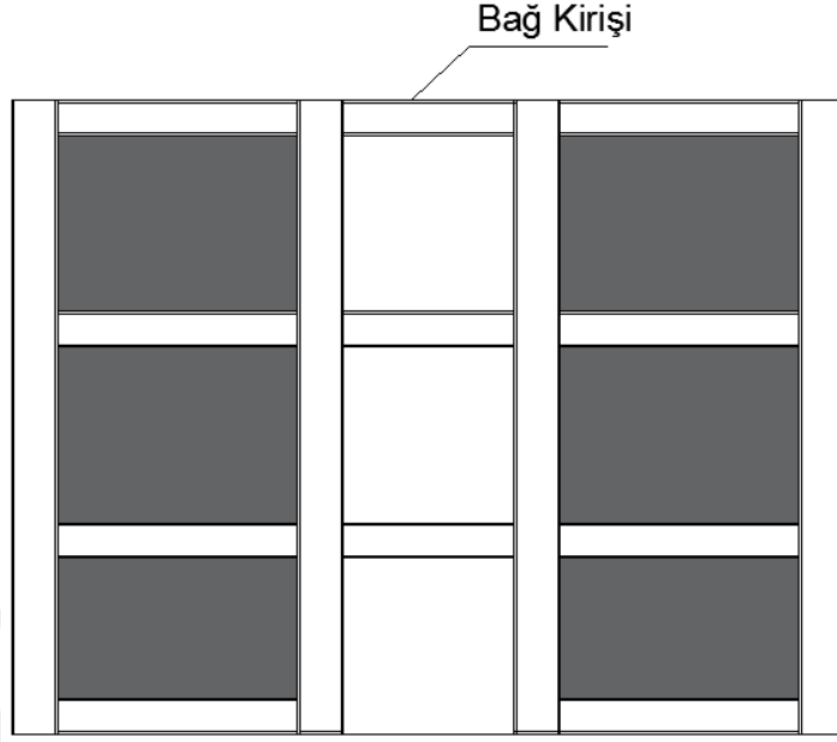
Çelik plakalı perde duvar sistemlerinde, çelik plakanın kesme kuvvetine tamamiyle dayanım gösterdiği ve eksenel yüke katkısının ihmal edilebilir olduğu varsayımı yapılmıştır. Yapılan araştırmalar çelik plakaya eksenel kuvvet etkisinin ciddi derecede olmaması için düşey sınır elemanlarının doğru seçiminin önemi kanıtlanmıştır. Özellikle montaj sırasında önemli bir ölçüt olan çelik plaka üzerindeki eksenel yük değeri, yüksek güçte düşey sınır elemanları kullanılmasıyla ihmal edilebilir seviyelere düşürülmüştür. Analizler sonucu montaj sırasında çelik plakaya fazla eksenel yük etkiyeceği belirlenirse, ilk başta sınır elemanlarının montajı yapılarak düşey yük etkisi çelik plaka üzerinden kaldırılır ve ihmal edilebilir seviyelere getirilebilir.

Eksenel yükün çelik plakadaki etkisinin yanında düşey sınır elemanları üzerindeki etkisi de dikkate alınmalıdır. Yapılan araştırmalar sonucu düşey sınır elemanları üzerindeki eksenel yük oranının artmasıyla, çelik plakalı perde duvar sisteminin kesme kuvveti kapasitesinin azaldığı ve çelik plakada düzensiz çekme alanları oluştuğu gözlemlenmiştir. Özellikle çok katlı yapılarda orta katlardaki düşey sınır elemanlarında üst katlardan gelen düşey kuvvet veya kat yüksekliğinin artmasıyla oluşan etkiler sonucu, eksenel yük oranı kaçınılmaz bir sorun olarak gözlemlenebilir. Eksenel yük sorunu ile genel rijitlik problemini çözmek için yönetmeliklerce belirlenen formülle sağlanan, düşey sınır elemanları için öngörülen minimum atalet momenti değeri, istenen davranışın sağlanmasında yeterli bulunmuş ve düşey sınır elemanlarında kum saati şeklindeki deformasyonun oluşmaması sağlanmıştır. Yönetmelikler bu katsayıyı yeterli bulsa da bazı çalışmalar, özellikle büyük genişlik/yükseklik değerine sahip çelik plakalı perde duvar sistemlerinde 2.5 katsayısının yeterli olmadığı deneylerde gözlemlenmiştir. Yönetmeliklerce standart olarak belirlenen 2.5 katsayısının küçük genişlik/yükseklik değerinde kullanılabileceği ama büyük genişlik/yükseklik değeri için 2.1 katsayısının kullanılmasının daha uygun

olacağı halen tartışılmaktadır. Son olarak eksenel yük oranının artmasının düşey sınır elemanlarını üzerindeki etkisiyle düşük enerji yutma kapasitesi gözlemlenebilir.

2.3.4 Bağ kirişi etkisi

Yatay yüke karşı perde sistemleriyle beraber çalışıp devrilme momenti etkisini azaltan ve global rijitliğe katkı sağlayan bağ kirişleri, çelik plakalı perde duvar sistemlerinde de kesme gücünü artırarak yatay dirence katkı sağlayan yapı elemanları olarak değerlendirilmektedir. 2 çelik plakalı perde duvar sistemini yüksek kesme dayanımı ile birbirine bağlayan bu bileşenler, esas olarak yüksek yapılarda çekirdek duvar sistemi olarak kullanılırlar. Sınır elemanlarının çelik plakalı perde duvar sistemi üzerindeki katkısını artıran bu bileşenler sayesinde çelik plakanın kalınlığı azaltılabilir ve dolayısıyla sınır elemanlarının kesit boyutlarında da değişim yapılabilir. Yapı ekonomisine, enerji yutma kapasitesine, kat ötelenmesine ve dolayısıyla kat ötelenme açısına, eş dağılımlı plastikleşmeye ve mimari alana hizmet eden bu sistemlerin seviyesindeki değişimle düşey sınır elemanlarındaki eksenel kuvvet değerinde azalma sağlanır ve taban bağlantılarındaki etkiyi azaltılır. Çelik plakalı perde duvar sistemlerinde ihmal edilemez etkisi bulunan bu bileşenlerin tasarımına özellikle dönme kapasitesine ve davranışına dikkate edilmelidir; çünkü bağ kirişlerinin seviyesi optimum seviyeye getirildikten sonra seviyenin artırılması yapı sistemi üzerinde negatif etki bile oluşturabilir. Örneğin çok büyük profil kesiti veya çok kısa uzunlukta kullanılarak dönme talebi azaltılan bağ kirişlerinde deformasyon modu, kesme akmasından eğilme akmasına geçtiği ve çelik plakada çekme gerilmelerinin düzensiz oluşumu, bağlantılarda göçme ve tabanda devrilme momentinde artış gibi birçok istenmeyen durumun olduğu gözlemlenir. Bu etkilerle düşey sınır elemanlarının dayanımında azalma, sistem dayanımında hızlı düşüş ve istenmeyen göçmeler görülebilir. Yüksek gerilme yığılmaları görülen bu sistemlerde önemli derecede eğilme veya kesme akması deneyimlenebilir.



Şekil 2.10: Çelik plakalı perde duvar sistemlerinde bağ kirişi. (Hysteretic behavior of coupled steel plate shear walls, 2017)

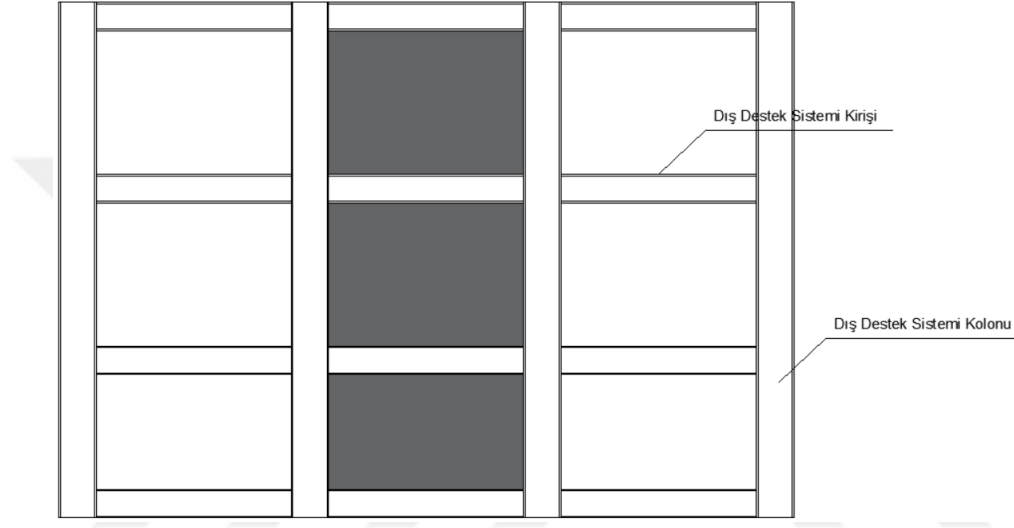
2.3.5 Sınır elemanlarında bağlantı

Amerikan Çelik Yapılar için 2016 Deprem Yönetmeliği'nin içeriğinde, çelik plakalı perde duvar sistemlerinde sınır elemanları arasında moment aktaran bağlantıları tam performans sağlamak için zorunlu tutulur. Yapılan deneyler ve çalışmalar, uygun şartlar sağlandığında moment aktaran bağlantılar yerine kısmi bağlantılı ve hatta moment aktarmayan bağlantıların da yeterli performans gösterdiğini kanıtlamıştır. Örneğin iyi tasarlanmış sınır elemanları arasındaki kısmi bağlantıların lineer olmayan davranışa ihmal edilemeyecek şekilde katkı sağladığı ve sünekliği artırdığı gözlemlenmiştir.

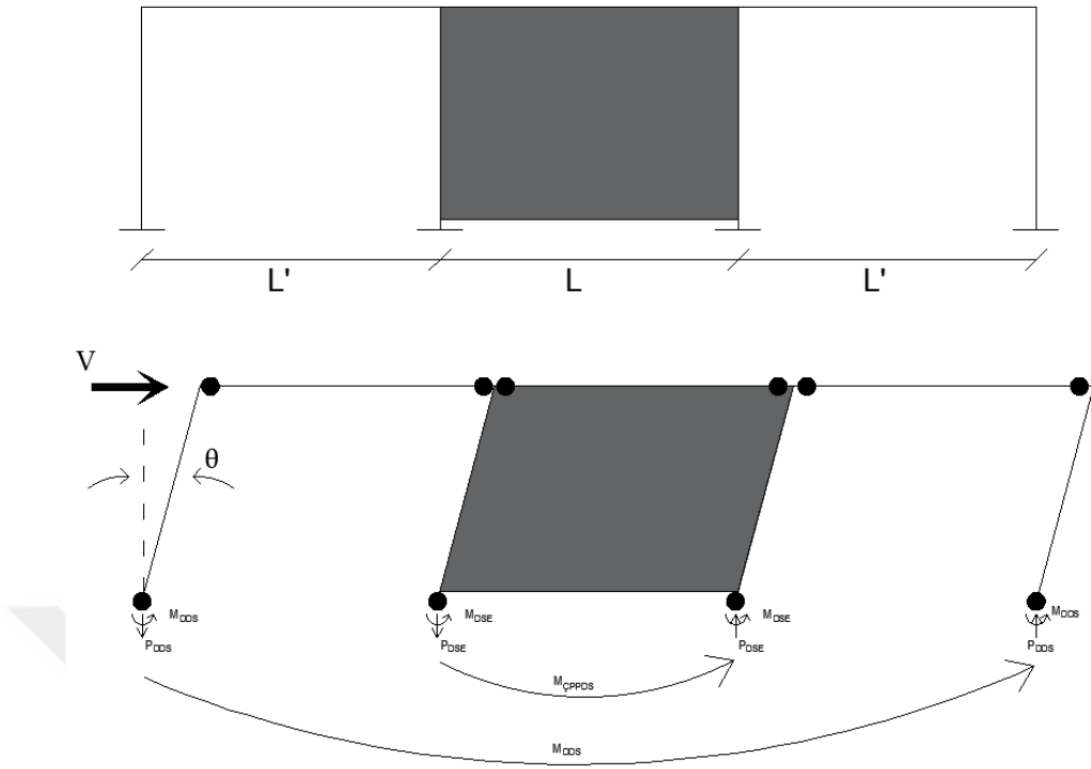
2.3.6 Dış destek sistemleri

Yüksek yapılarda özellikle rüzgar kuvveti faktörüyle kesme etkisinin yerine eğilme etkisinin baskın olması, yapı sisteminde rijitlik artırıcı eleman sistemleri arayışını güçlendirmiştir. Bu çözüm önerilerinden biri olan dış destek sistemleri, yapılarındaki çekirdek perde istemle kuşak makaslar kullanarak ve dış kolonları birbirine bağlayarak, çekirdek sistemdeki eğilme etkisini azaltıp bu etkileri yapının dış kolonlarına eksenel kuvvet olarak aktarılması için tasarlanır. Eğilme etkisinin azaltılmasıyla yapıların üst katlarındaki yatay yerdeğiştirmeyi azaltma, etkin

kullanımla yapının diğer elemanlarında kesit ve malzeme kullanımını daha etkin hale getirme, eğilme etkisinin azaltılmasıyla temeldeki kuvveti düşürerek daha ekonomik tasarım elde edebilme, dış kolonlar arasındaki kuşak makaslarıyla yapıdaki düşey yükün paylaşımını sağlama, yapıya kuşak makaslarıyla burulma rijitliği sağlama ve mimari kazançlar sağlamak gibi birçok avantajı olan bu sistemler, çelik plakalı perde duvar sistemleriyle de etkin olarak kullanılır. Bu karma sistemlerle yatay kuvvete çelik plakadaki çekme alanlarıyla, moment dayanımlı sınır elemanlarıyla ve moment dayanımlı dış destek sistemleriyle dayanım oluşturulur. Bu sayede daha kat ötelenmesi daha düzenli dağılır ve sismik performans artırılmış olur.



Şekil 2.11a: Çelik plakalı perde duvar sistemlerinde dış destek sistemi. (Steel plate shear walls with outriggers. Part 1: Plastic analysis and behavior, 2017)



Şekil 2.11b: Dış destekli çelik plakalı perde duvar sistemlerinde yük akışı. (Steel plate shear walls with outriggers. Part 1: Plastic analysis and behavior, 2017)

Çelik plakalı perde duvar sistemlerinin dış destek sistemleri ile kullanımının birçok avantajı gözlemlenmiştir. İlk olarak çelik plakalı perde duvar sistemleri üzerindeki eğilme etkisini azaltarak düşey sınır elemanları üzerindeki aksel kuvvet etkisini düşüren bu sistemler sayesinde, daha düşük kesitte düşey sınır elemanları kullanılabilir. Bu etkiyi sağlamak için çelik plakalı perde duvar sistemiyle dış destek sistemleri arasındaki ilişki iyi kurulmalı ve çelik plakalı perde duvar sisteminin düşey elemanlarıyla dış destek sistemlerinin kolonları arasındaki bağlantıların rijitliğine dikkat edilmelidir. Bu sistemler arasında moment aktaran bağlantılar kullanılarak, hem çelik plakalı perde duvar sistemi üzerindeki eğilme etkisi azaltılabilir hem de yapının yatay rijitliğini artırılabilir. Moment aktarmayan bağlantılar kullanılarak, çelik plakalı perde duvar sistemleri üzerindeki eğilme etkisi azaltılabilir ve yatay yer değiştirmeleri düşürülebilir. Başka bir avantaj olarak mimari tercihlerden dolayı uzun çelik plakalı perde kullanılmadığında, bu karma sistemler kullanılarak kapı, pencere gibi mimari elemanlara yer açılabilir.

2.3.7 Yatay sınır elemanlarının ankraje edilmesi

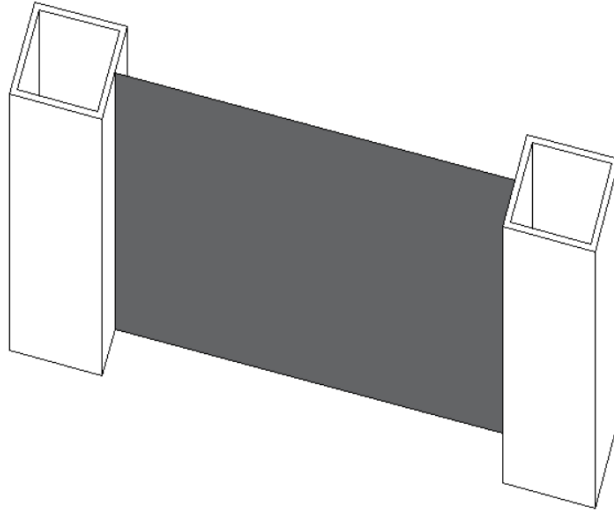
Yatay kuvvetler dolayısıyla çelik plakanın burkulması sonucu oluşan çekme alanlarının ve eğilen sınır elemanlarının etkisiyle, çekme alanlarının çelik plakada

merkezden köşe noktalara düzenli bir şekilde yayılmasında sorun görülebilir. Bu sorunun çözümü için sınır elemanlarının yeterli rijitlikte olması önemli bir faktör olarak değerlendirilmektedir. Özellikle katlar arası çelik plakaların etkisine maruz kalan ve genelde kesme kuvvetine çelik plakanın akmasından sonra dayanım gösteren yatay sınır elemanlarında, hem bu etkilere dayanacak yeterli eğilme rijitliği hem de plastikleşmenin uç noktalarda oluşması sağlanmalıdır.

Çok katlı yapılarda yatay sınır elemanları, alt ve üst katın çelik plakalarının aksiyonu sonucu dengeleyici etkiler alsa da; en üst ve en alt kattaki yatay sınır elemanları, tek bir çelik plaka tarafından etkilendiğinden dengelenmeyen kuvvetlerden etkilenmektedir. Bu etkilerle özellikle gövde kısmında deformasyon sonucu kesme dayanımında düşüş meydana gelen en alt kattaki yatay sınır elemanlarının ankrajlanması, bu kuvvetlere karşı dayanıma önemli bir katkı sağladığı belirlenmiştir. Bu elemanların dayanımını belirlerken düşey sınır elemanlarının da etkisi göz önüne alınmalıdır.

2.3.8 Düşey sınır elemanlarında kutu profil kullanımı

Çelik plakalı perde duvar sistemlerinde tipik olarak kullanılan geniş başlıklı profiller yerine, oluşan yatay kuvvetler sonucu elemanın uç noktalarındaki yüksek kesme kuvvetine dayanım elde edebilmek için kutu profil kullanımı daha etkin bir yöntem olarak seçilebilir. Yapılan çalışmalarda çelik plakanın etkisiyle iç başlıklarında ciddi derecede dışa çekim etkisi görülen bu çelik profillerin tasarımı doğru yapılırsa, düşey sınır elemanlarının uç noktalarındaki akma problemi geniş başlıklı profillere göre daha kolay çözülebilir.



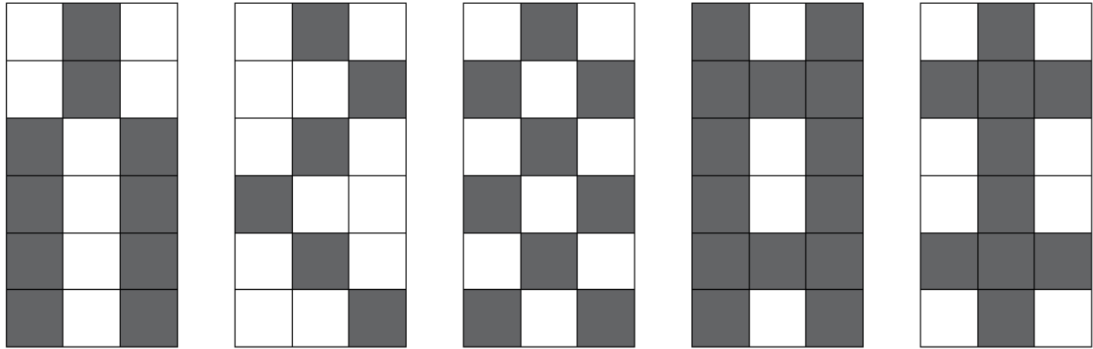
Şekil 2.12: Çelik plakalı perde duvar sistemlerinde kutu profil kullanımı. (Cyclic test of steel plate shear walls using box shape vertical boundary elements with or without infill concrete, 2017)

2.3.9 Çelik Plakalı Perde Duvar Sistemlerinin Betonarme Çerçeve ile Kullanımı

Çelik plakalı perde duvar sistemleri, betonarme yatay ve düşey sınır elemanları kullanılarak betonarme çerçeve ile birlikte de uygulanabilir. Betonarme sistemin rijitliğini, yük kapasitesini, sünekliğini ve dolayısıyla enerji yutma kapasitesini artıran bu sistemler, betonarme sınır elemanlarının da yatay kuvvete karşı dayanım katkısı vermesiyle kompozit sistem özelliği gözlemlenebilir. Özellikle çelik plakanın betonarme sisteme bağlanmasında dikkat edilmesi gereken bu sistemlerde, bağlantı dayanımı da temel faktörlerden biridir. Günümüz koşullarında yeni yapı sistemlerinde kullanılan bu sistemler ayrıca eski yapıları güçlendirmek için de yararlanılmıştır.

2.3.10 Şaşırtmalı çelik plakalı perde duvar sistemleri

Özellikle yüksek yapılardaki etkin yatay kuvvet sonucu oluşan büyük devrilme momentleriyle, çelik plakalı perde duvar sistemlerinde düşey sınır elemanlarının büyük boyutlarda seçilmesi deneyimlenebilmektedir. Bu büyük devrilme momentinin düşey sınır elemanları üzerinde oluşan etkilerini azaltmak ve sismik hareket sırasında uygun yer değiştirmeyi elde etmek için tercih edilen bu sistemlerin, yatay rijitliği artırmak ve düşey sınır elemanları ve dolayısıyla temel üzerindeki üzerindeki eksenel kuvveti azaltmak gibi birçok yarar sağladığı belirlenmiştir. Bu sistemleri oluşturmak için ek olarak bir düşey sınır elemanı daha gerektiğinden, yatay kuvvete dayanımda katkı sağlayan düşey sınır elemanı sayısında artış gözlemlenebilir.



Şekil 2.13: Çelik plakalı perde duvar sistemlerinde şaşırtma. (Seismic behavior of steel plate shear wall systems with staggered web configurations, 2017)

2.3.11 Çelik plakalarda çatlak etkisi

Çelik plakanın kaynaklanması ve düşük kalınlığından dolayı oluşan dışa doğru yüksek burkulma gibi sebeplerden dolayı, çelik plakalı perde duvar sistemlerinde istenmeyen çatlaklar görülmüştür. Bu çatlakları engellemek neredeyse imkansız olsa da, sistemin davranışında ihmal edilebilir derecede etki edecek kontrollü çatlaklara müsaade edilebilir. Eğer bu çatlaklar müsaade edilen seviyenin üzerine çıkarsa sistemin elastik

ve elastik olmayan davranışında ciddi değişimler ve hatta gevrek kırılmalar görülebilir. Sistemin enerji yutma kapasitesini azaltma, rijitlik seviyesini ciddi derecede düşürme ve çelik plakanın burkulma dayanımına negatif etki gibi önemli davranış değişikliğine neden olan bu sorunun çözümü için, çelik plakanın kalınlığının artırılması yerine rijitlik levhalarıyla güçlendirme daha etkin bir uygulama olarak seçilebilir. Çelik plakanın kalınlığının artırılması sınır elemanları ve bağlantılar üzerinde daha büyük etkilere sebep olacağından, daha kalın rijitlik levhaları daha ekonomik bir çözüm olarak görülmüştür. Rijitlik levhalarıyla güçlendirme uygulamasıyla enerji yutma kapasitesini artırma ve ani göçmeleri engellemek gibi birçok avantaj elde edilebilir.

2.3.12 Düşey sınır elemanlarında kompozit kesit kullanımı

Çelik plakalı perde duvar sistemlerinde; çelik plakanın burkulması sonrasındaki düşey elemanları üzerindeki etkisiyle, özellikle geniş başlıklı profillerde birçok yerden burkulmalar gözlemlenebilir. Bu burkulmaları minimize etmek için kullanılan kompozit elemanlarda, çelik profili betonarme içine gömmek etkin bir yol olarak görülür. Kompozit etkiyle daha yüksek rijitliğe ve dayanıma sahip olan bu elemanlarla ayrıca yangın dayanımında da etkili bir sonuç elde edildiği görülmüştür. Yapılan araştırmalarda yüksek süneklik ve performans gösteren bu elemanlar, ayrıca daha yüksek rijitliğe sahip olduğundan sınır elemanlarının kesme kuvveti dayanımı üzerindeki etkisini de arttırdığı belirlenmiştir.

2.4 Çelik Plakalı Perde Duvar Sistemleri Türleri

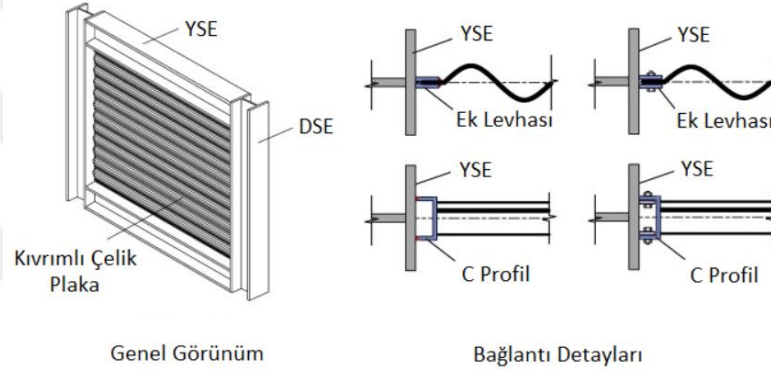
2.4.1 Konvansiyonel çelik plakalı perde duvar sistemleri

Güçlendirilmemiş plaka, yatay ve düşey sınır elemanları ile bağlantılarından oluşan bu sistem, yönetmeliklerin izin verdiği güvenli sistemlerden biri olarak seçilebilir. Üzerinde yeterince araştırma ve deney yapılan bu sistemler, günümüzde birçok yapı sisteminde gerekli dayanımı sağlayacak şekilde kullanılmaktadır.

2.4.2 Dalgalı çelik plakalı perde duvar sistemleri

Yatay kuvvetin etkisiyle neredeyse hemen burkulma seviyesine gelen güçlendirilmemiş çelik plakalara alternatif bir çözüm olan dalgalı çelik plakalı perde duvar sistemlerinde, kıvrımlar sayesinde daha düşük plaka kalınlığında bile daha yüksek düzlem dışı rijitlik, başlangıç rijitliği ve kesme burkulması gücü elde edilmiştir. Sınır elemanları üzerinde daha az etki, düzenli histerik davranış, burkulma sırasında istenmeyen sesleri engelleme, daha yüksek enerji yutma kapasitesi sağlayan

bu sistemlerin, burkulma sonrası performansta da düzgün davranış sergiledikleri gözlemlenmiştir. Kıvrımları yatay veya düşey olarak verilebilen bu sistemlerde; kıvrımlar yatay verilirse kesme dayanımında artış olduğu, kıvrımlar düşey verilirse çelik plakanın düşey yük aktardığı ve dolayısıyla güçlendirilmemiş çelik plakanın aksine sınır elemanları ile birlikte montajının yapılabildiği gözlemlenmiştir. Bu avantajların yanında dalgalı çelik plakalı perde duvar sistemlerinin yüksek deformasyon kapasitesine sahip olmasıyla, doğru tasarım yapılmazsa güçlendirilmemiş çelik plakalı perde duvar sistemine göre daha düşük kapasiteye sahip olması gözlemlenebilir. Ayrıca kat arası ötelenmelere, kıvrımlar üzerindeki kuvvet etkisine ve başlangıç kusurlarına karşı hassas olan bu sistemlerin optimum performansı için gerekli koşullar, karmaşık bir davranış gösterdiğinden tam olarak belirlenememiş ve özellikle sınır elemanları üzerindeki etkisine dair çalışmalar halen sürdürülmektedir.



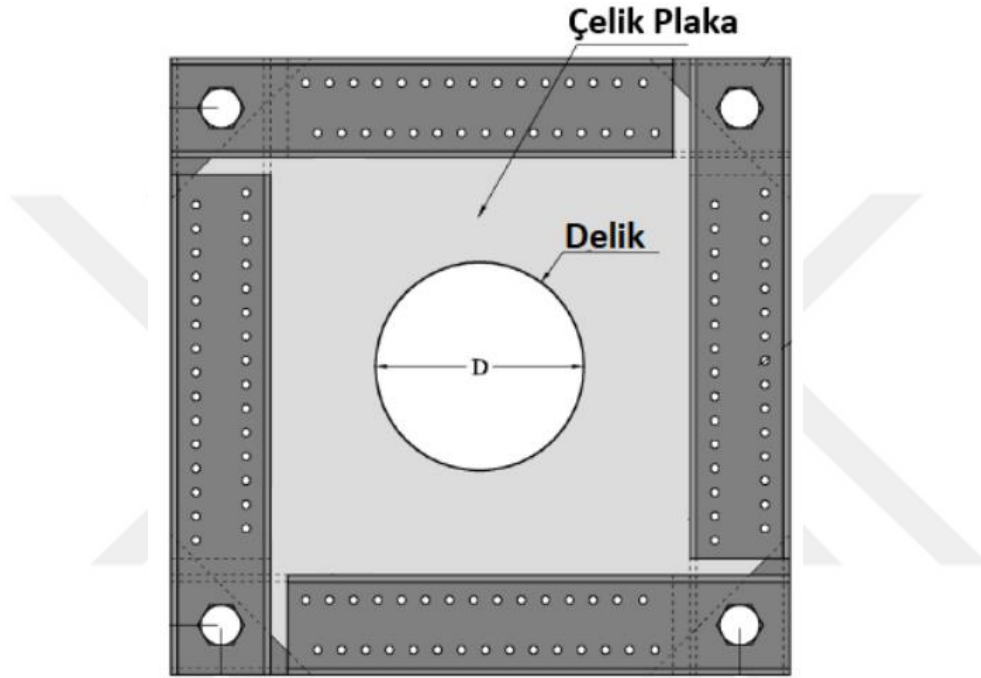
Şekil 2.14: Dalgalı çelik plakalı perde duvar sistemleri. (Elastic shear buckling of sinusoidally corrugated steel plate shear wall, 2016)

2.4.3 Oluklu çelik plakalı perde duvar sistemleri

Tipik çelik perdeli duvar sistemlerinin tasarımında kapasite prensibine göre yatay ve düşey sınır elemanları, tasarım yükünden bağımsız uygun davranışı elde etmek için büyük boyutlara sahip olarak projelendirilebilir. Hem ekonomik olarak hem yapı ağırlığı olarak uygunsuz olan bu sistemler yerine çelik plakalarda değişen şekil ve boyutlarda delikler açılarak sınır elemanlarındaki koşullar daha uygun bir seviyeye getirilebilir. Üzerinde araştırma ve çalışmalar yürütülen bu sistemlerin, başlangıç dayanımı ve yük taşıma kapasitesi bakımından tipik taşıyıcı sistemlere göre dezavantajları olabileceği gibi daha kalın plakalar kullanılarak tipik taşıyıcı sistemdekinin aksine global burkulma ve burkulma sonrası hasarların geciktirilmesi sonucu geliştirilmiş ve istikrarlı enerji yutma kapasitesi ile daha yüksek rijitlik elde

edilebileceği gözlemlenmiş, makul deliklerle taşıma kapasitesinde ve rijitliğinde ihmal edilebilir değişimler gösterdiği kanıtlanmıştır.

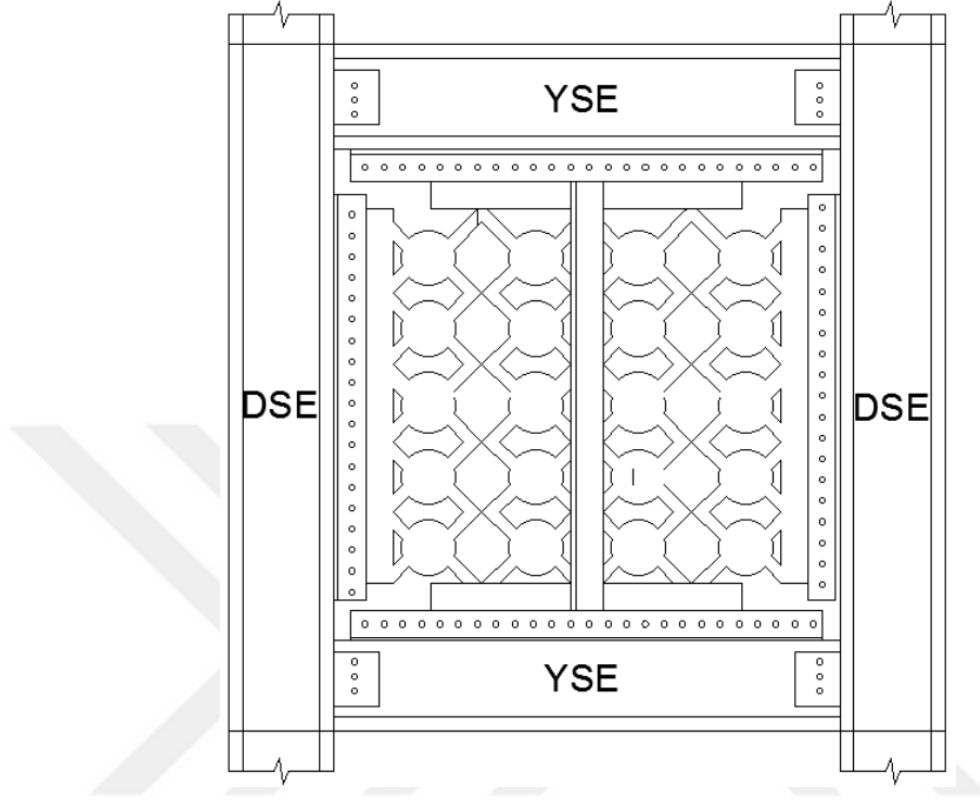
Amerikan Çelik Yapılar için 2016 Deprem Yönetmeliği'nde (AISC 341-16) tipik oluklu çelik plakalı perde duvar sistemi, çelik plaka üzerinde düzenli delikler oluşturulması üzerine dayanır. Bu düzenli deliklere izin verilse de yapılan çalışmalarda başka tip deliklerin de oluşturulabileceği ve bu deliklerle de sistemin yeterli davranışı gösterdiğini gözlemlenmiştir.



Şekil 2.15: Çelik plakalı perde duvar sistemlerinde delik. (Shear strength degradation of steel plate shear walls with optional located opening, 2018)

Örneğin çelik plakalı perde duvar sisteminde düzenli ve stratejik olarak yüzük şeklinde delikler açılarak, çelik plakanın burkulma sonrası gücü değil de lokal akma mekanizmalarıyla yatay kuvvete karşı dayanım sistemi oluşturulmuştur. Bu sistemlerle hem kesme kuvveti sonucu oluşan burkulma yavaşlatılmış hem de bu burkulma sonucunda yük taşıma kapasitesinde önemli bir düşüş gözlemlenmemiştir. Bu sayede histerik davranışta önemli bir kısıtlanma gözlenmemiş ve enerji yutma kapasitesi olarak daha iyi bir sonuç elde edilmiştir. Bu avantajların yanında; bu sistemlerin tersinir kuvvet etkilerinde yüksek rijitlik göstermesiyle, tipik çelik plakalı perde duvar sistemlerinde yönetmelikçe öngörülen sınır elemanları arasındaki moment aktaran bağlantı yerine, moment aktarmayan bağlantıların kullanılmasına olanak

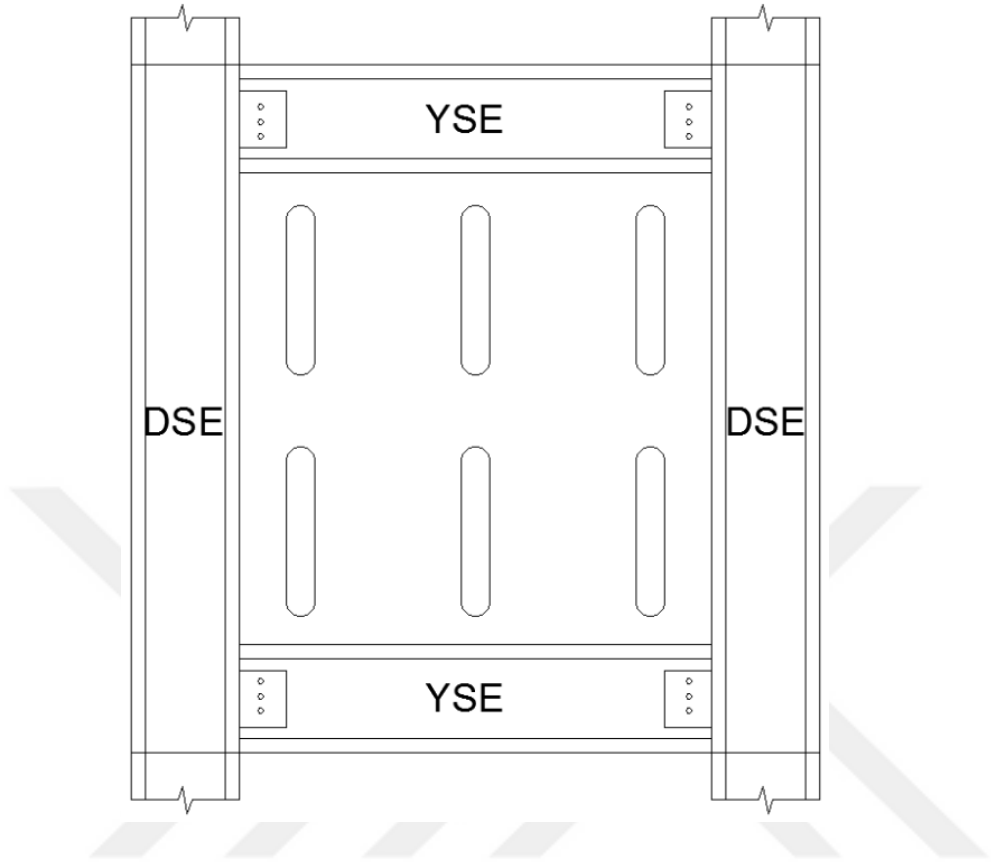
sağlanmıştır. Böylece hem ek masraflardan kurtulma hem de montaj hızında artış sağlanmıştır. Son olarak, akma öncesi burkulma göstermemesiyle de alternatif bir sistem olarak kullanılmasında yeterli şartı sağlanmıştır.



Şekil 2.16: Çelik plakalı perde duvar sistemlerinde yüzük şeklinde delikler. (Large Scale Experimental Study of Ring Shaped- Steel Plate Shear Walls, 2018)

Çelik plakanın akma sonrası dayanımı değil de lokal akma mekanizmalarıyla yatay kuvvete karşı dayanım sağlayan başka bir sistem örneği olan tabakalı delik açılmış çelik plakalı perde duvar sistemlerinde, deliklerin içe doğru deformasyonları kullanılarak daha yüksek süneklik ve dolayısıyla enerji yutma kapasitesi ile istikrarlı histerik performans elde edilmiştir. Özellikle deliklerin uç noktalarında oluşan plastik mafsallarla yüksek miktarda enerji yutan bu sistemlerin saha öncesi montaj kolaylığı da kullanılmasında önemli bir etken olarak görülebilir. Çok tabakalı delik açılmış çelik plakalı perde duvar sistemlerinde delik şekillerini değiştirerek daha iyi yatay rijitlik ve azami dayanım elde edebilmek gibi avantajlar sunulabilir. İmal edilme ve montaj sırasında kolaylık sağlayan bu delikler ayrıca çelik plaka içinde sigorta eleman yerleşimine olanak sağlaması ve sismik hareket sonrası tamirat kolaylığıyla başka bir avantaj sağladığı da kabul edilir. Bu avantajların yanında, bu sistemlerde açılan delik alanına dikkat edilmezse çelik plakanın dışa doğru fazla burkulmasından dolayı sistem

performansında istenmeyen sonuçlar görülebilir. Tasarım mühendisliğinde, bu etken konusunda dikkatli olunmalıdır.



Şekil 2.17: Tabakalı delik açılmış çelik plakalı perde duvar sistemleri. (Experimental study on Low Cyclic Loading Test of Steel Plate Shear Walls with Multilayer Slits, 2018)

Uygun şartlar oluşturulduğunda gayet etkin olan bu sistemin bazı dezavantajları da bulunmaktadır. Çelik plakadaki narinlik azaldığı için düşey yüke karşı hassas olan bu sistemde, düşey yüke dayanımda düşey sınır elemanlarının etkisi dikkate alınmalı ve bu yük paylaşımı üzerinde hassas olunmalıdır. Düşey yük etkisinin yanında kapasite prensibine göre tasarlanması gereken sınır elemanlarının da kesme kuvveti üzerinde önemli bir etkisi olduğu bilinmektedir. Örneğin düşey sınır elemanları belli bir rijitliğe sahip olmazsa, çelik plakanın varsayılan çekme gerilme çizgilerindeki gerilme değerinin arttığı ve çelik plakada akmanın merkezden kenara değil de düzensiz olduğu gözlemlenmiştir. Kısaca düşey sınır elemanlarının rijitliği, oluklu çelik plakalı perde duvar sistemlerinin yatay rijitliği üzerinde önemli bir etkiye sahip olarak görülür ve tutarlı bir değerle seçilmelidir.

Temel olarak sınır elemanlarındaki akma sonrası etkiyi azaltmak amaçlı kullanılan bu sistemlerde, oluk genişliği veya derinliğinin artması çelik plakalı perde duvar sisteminin aksel, kesme ve moment kapasitesini azaltacağından, büyük boyutlarda delik kullanmakla sistem yararsız ve ekonomik olmayan hale sokulabilir.

2.4.4 Betonarme ile güçlendirilmiş çelik plakalı perde duvar sistemleri

Çelik plakanın erken burkulma sorununa çözüm yöntemlerinden biri olan bu sistemde çelik plaka, betonarme içine gömülerek, tek bir taraftan desteklenerek veya çoklu betonarme ile desteklenerek kompozit davranış elde edilir. Tipik güçlendirilmemiş çelik plakalı perde duvar sistemlerindeki çelik plakanın burkulması yerine daha etkin olan akması sağlanarak, burkulmanın neden olduğu kesme kuvveti dayanımında ve kesme rijitliğinde azalma engellenir. Ayrıca çelik plakanın burkulması önleninceğinden düzenli histerik davranış gözlenir ve çevrimsel davranışta daralma görülmez. Çekme alanlarının dağılımına da pozitif etkisi olan betonarme kullanımının etkisiyle geç burkulma sayesinde sismik davranış performansı artırılan çelik plaka, ayrıca korozyona karşı da korunur, ses ve ısı yalıtımı sağlanır. Mekanik davranış düzeltilen bu sistemlerle katlardaki enerji dağılımı daha düzgün olur ve her katın enerji yutma kapasitesinden yararlanır. Son olarak sınır elemanları üzerindeki etki çelik plakanın burkulmasını engelleyerek azaltılan membran çekme gerilmesiyle tipik sistemlere göre daha düşük gözlenir ve kum saati deformasyonu etkisinin de azaltılmasıyla daha küçük kesitler kullanılmasını sağlar ve maliyete etki edilir.

Çelik plakayı güçlendiren betonarme, tek veya çift taraflı olabileceği gibi parçalara ayrılmış bir sistem halinde tasarlanabilir. Betonarme sayesinde parça parça desteklenen çelik plakanın genişlik-yükseklik gibi oranları değişeceğinden tipik sistemlere göre daha iyi düzlem dışı rijitliği ve mekanik davranış elde edilir.

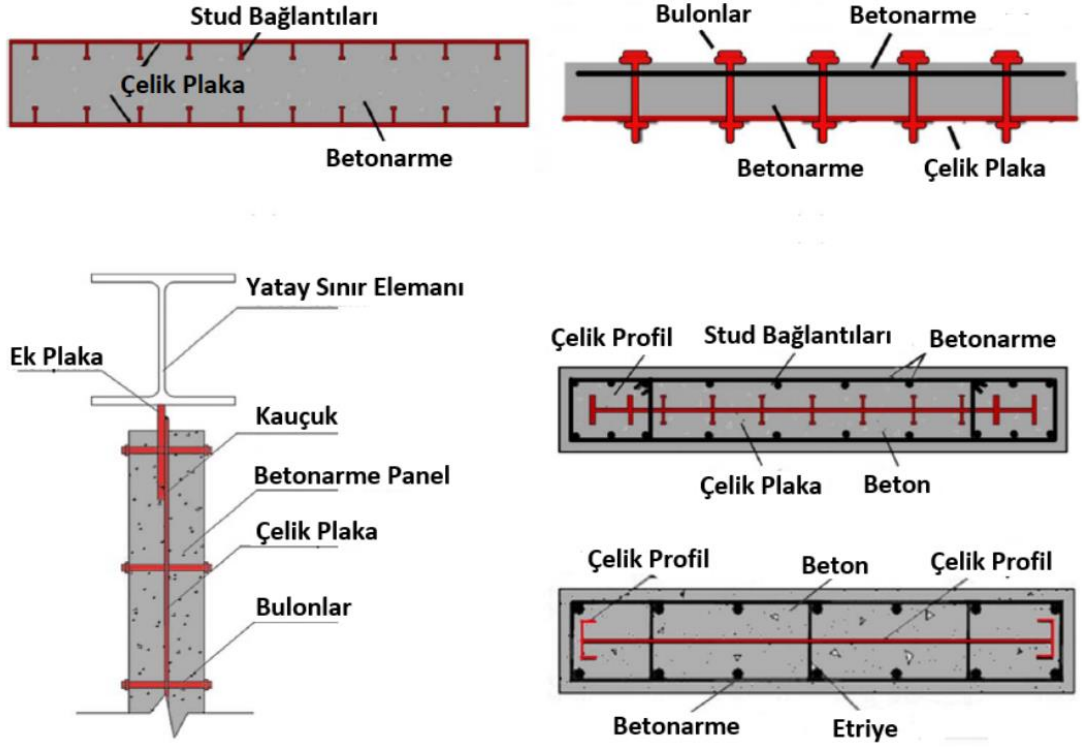
Bu sistemlerde çok önemli bir faktör olan betonarme ile çelik plaka arasındaki boşluk, üzerinde titizlikle durulması gereken konulardan biri olarak belirlenmiştir. Bu boşluğun az veya çok bırakılmasının birçok negatif etkisi olabileceğinden optimum boşluk mesafesini bulmakla birçok problem engellenebilir. İlk olarak optimum boşluk, betonarmenin kesme kuvvetine karşı dayanım göstermemesi için ayarlanmalıdır. Ayrıca fabrika hatası sonucu sistemin burkulma modunu direkt değiştirebilecek bu boşluklara özen gösterilmelidir. Burkulma modunun değişmesiyle kesme kuvveti dayanımında ciddi değişimler olabilecek bu sistemlerde, aradaki boşluğun

betonarmeye zarar vermeyecek şekilde de ayarlanmalıdır. Bunlarla beraber boşluk olması gerekenden fazla olursa, çelik plakanın köşe noktaları desteklenmez ve burkulma deformasyonu görülebilir.

Betonarme perdeler kesme kuvvetine karşı dayanım gösterirken çekme ve belirli basınç bölgelerinde çatlaklar görülmektedir. Bu çatlakların etkisiyle ani dayanım ve rijitlik düşmesi gözlemlenebilir. Betonarme perdeler yerine kullanılabilecek bu sistemler, daha düşük kalınlığa sahip olmasına rağmen daha fazla kesme rijitliğine sahip olarak hesaplanır. Daha düşük kalınlığın yanında hafif beton kullanılmasıyla ağırlıkta ciddi kazanç sağlanabilir.

Kompozit davranış elde etmek için önemli bir faktör olan betonarme ile çelik plaka arasındaki bağlantılar, stud veya kaynaklanmış başlı bulonlardan oluşturulabilir. Yüksek düzlem dışı burkulma özelliği ve çatlakları önlemede etkin bir yöntem olan studlar, çelik plakada oluşan etkileri betonarme üzerinden sınır elemanlarına aktarmak için kullanılır. Çelik plakanın kalınlığı gibi birçok faktöre bağlı olan stud aralıkları, genelde çelik plakaya kaynaklı olarak montajlanır ve yeterli aralıkta kaynaklanmazsa çelik plakanın düzlem dışı burkulmasında sorun deneyimlenebilir.

Betonarme ile güçlendirilmiş çelik plakalı perde duvar sistemlerinde duruma göre 4 yandan veya 2 yandan bağlantılı sistem kullanılabilir. 4 yandan bağlantılarda daha yüksek kapasite elde edilirken, 2 yandan bağlantılarda kapı ve pencere gibi mimari alanlar açma ve kolay yükleme gibi avantajlar elde edilebilir. Ayrıca 2 yandan bağlantılı sistemlerde hem düşey sınır elemanlarındaki etki azaltılmış olur hem de betona erken zarar gelme durumunda iyileşme görülür. Betonarme ile güçlendirilmiş çelik plakalı perde duvar sistemlerinin de bazı dezavantajları bulunmaktadır. Genel olarak tek taraflı destekle kurulan bu sistemlerde, betonarmenin taşınması sırasında çatlaklar gibi istenmeyen etkiler elde edilebilir. Ayrıca gerekli düzlem dışı burkulma dayanımını sağlamak için hem betonarmenin hem de düşey sınır elemanlarının sahip olması gereken rijitlikleri sağlanmalıdır. Bu şartlar sağlanmazsa istenmeyen davranış görülebilir. Son olarak ise bu sistemler yatay kat ötelenmelerine karşı betonda çatlama gerçekleşebileceğinden hassas olarak değerlendirilmelidir.

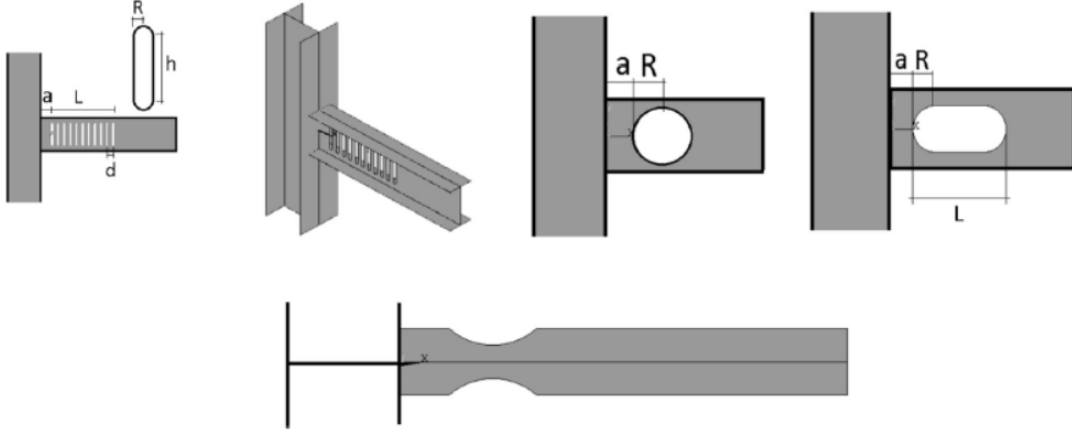


Şekil 2.18: Betonarme ile güçlendirilmiş çelik plakalı perde duvar sistemleri.
(Experimental study on seismic behavior of steel plate reinforced concrete composite shear wall, 2018)

2.4.5 Kapasitesi düşürülmüş yatay sınır elemanlı çelik plakalı perde duvar sistemleri

Çelik plakalı perde duvar sistemlerinin süneklik davranışında yatay ve düşey sınır elemanlarının davranışının başrol oynadığı belirlenmiştir. Kapasite tasarımına göre eleman boyutları belirlenen bu sistemlerde, eleman boyutları ve bağlantı noktalarının güvenilirliği önemli bir etken olarak görülmüştür. Bazen yükten bağımsız olarak bu elemanların boyutları sünek davranışı sağlamak için gereksiz büyük olarak tasarlanabilir. Bu gibi sorunlarda bağlantıları güçlendirmek yerine alternatif çözüm seçeneklerinden biri olan bu kapasitesi düşük yatay sınır eleman kullanımında; yatay sınır elemanları, çeşitli yöntemlerle mukavemet olarak zayıflatılıp hem düşey sınır elemanları üzerindeki hem de bağlantılar üzerindeki yükte azalma sağlanır. Bu yöntemle hem çelik plakadan aktarılan etkiler düzgün bir şekilde yayılabilir hem de ekonomik bir sonuç elde edilir. Ayrıca çelik plakalı perde duvar sistemlerinde aranan şartlardan biri olan yatay sınır elemanlarının sonunda oluşması beklenen plastik mafsallar, zayıf kiriş-güçlü kolon prensibine dayanarak daha kolay çözülür. Bu sistemler uygun şartlarda dizayn edildiğinde yüksek süneklik, düzenli histerik eğri

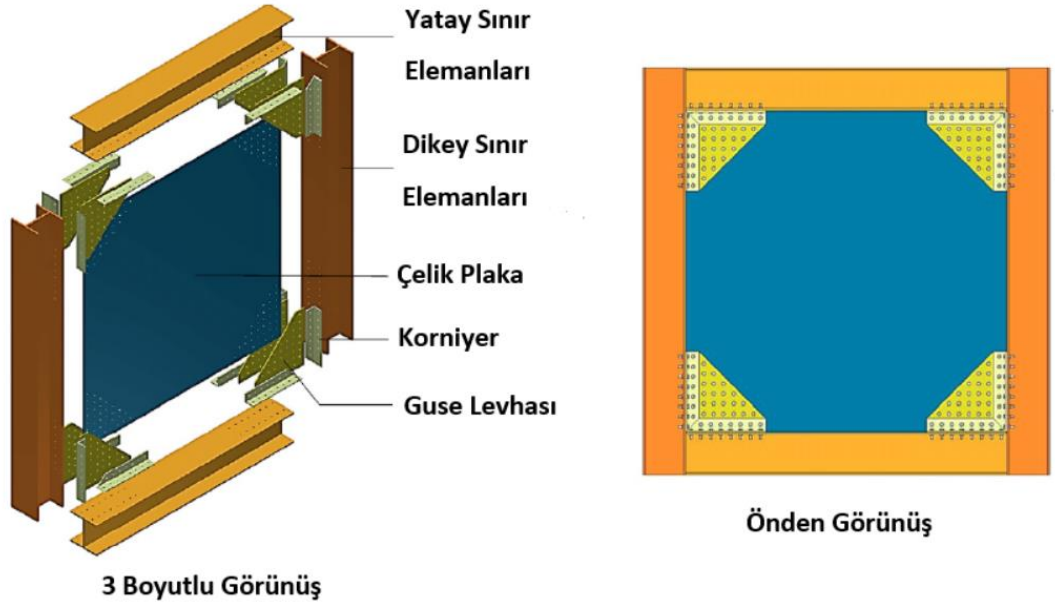
özelliklerini ve gerekli davranışı sağladığı kanıtlanmıştır. Bu avatajlarının yanında, yatay sınır elemanlarının özellikle profil başlıklarından zayıflatılması sonucu sistemdeki yatay rijitliğin ve başlangıç rijitliğinin düşmesi, sistemde istenmeyen sonuçlara neden olabileceğinden doğru tasarım ve davranışı sağlamakla önemli sorunların önüne geçilebilir.



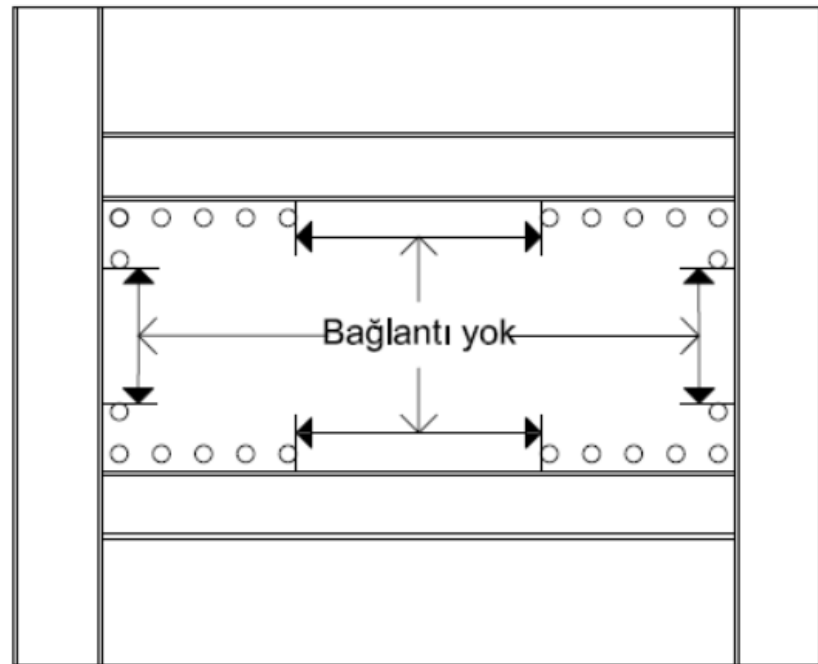
Şekil 2.19: Kapasitesi düşürülmüş yatay sınır elemanlı çelik plakalı perde duvar sistemleri. (Seismic behavior of steel plate shear wall with reduced boundary beam section, 2017)

2.4.6 Kısmi bağlantılı çelik plakalı perde duvar sistemleri

Çelik plakalı perde duvar sistemlerinde plakanın burkulması sonrasında yatay ve düşey sınır elemanlarında oluşabilecek hasarı ve sınır elemanlarında rijitlik gereksinimlerini azaltmak için kullanılan sistemlerden olan kısmi bağlantılı bu sistemlerde; çelik plaka, sınır elemanlarına tüm köşe noktalarından değil de kısmi olarak bağlanır. Özellikle bulonlarla bağlandığında kolay montaj ve taşınma avantajı sağlayan bu sistemlerin, tamirat sırasında da kolaylıklar sağladığı belirlenmiştir. Yüksek başlangıç rijitliği, yeterli süneklik, yüksek enerji yutma kapasitesi ve stabil histerik çevrimine sahip bu sistemler, tipik çelik plakalı perde duvar sistemlerine göre uygun bir sistem olarak seçilebilir.



Şekil 2.20a: Kısmi bağlantılı çelik plakalı perde duvar sistemleri. (Experimental and numerical investigation of novel partially connected steel plate shear walls, 2017)



Şekil 2.20b: Kısmi bağlantılı çelik plakalı perde duvar sistemleri genel görünüm. (Seismic behavior of novel partially connected buckling restrained steel plate shear walls, 2017)

2.4.7 Rijitlik levhalarıyla güçlendirilmiş çelik plakalı perde duvar sistemleri

Çelik plakalı perde duvar sistemlerindeki önemli bir problem olan çelik plakanın erken burkulmasını engellemenin yollarından biri olan bu sistemde, çelik plaka ceplere bölünerek değiştirilen yükseklik-kalınlık oranıyla global burkulma yerine lokal burkulma sağlanır. Bu bölünmelerle hem daha iyi gerilme dağılımı hem de düzlem dışı burkulmada azalma sağlanır. Rijitlik levhalarıyla hem çelik plakanın ani rijitlik değişimleri ve histerik eğrisinde daralma gibi mekanik davranışları düzeltilir hem de çelik plakanın köşe kısımlarındaki gerilme değerleri azaltılarak bağlantılardaki etki azaltılır.

Rijitlik levhalarıyla güçlendirilmiş çelik plakalı perde duvar sistemlerinin en büyük avantajları tipik sisteme göre daha yüksek başlangıç rijitliği ve burkulma stabilitesi, katların görelî yerdeğiştirmesini azaltma, düzlem dışı rijitliği ve yüksek enerji yutma kapasitesine sahip olması gösterilebilir. Ayrıca çelik plakalarda çatlak sorunu için etkin kullanılan metotlardan biri olarak değeriendirilmektedir. Son olarak çelik plakalı perde duvar sistemlerinde temel göçme sebeplerinden biri olan düşey sınır elemanlarındaki kum saati şeklindeki deformasyon etkisini azaltarak, sistem davranışında iyileştirme sağlanır.

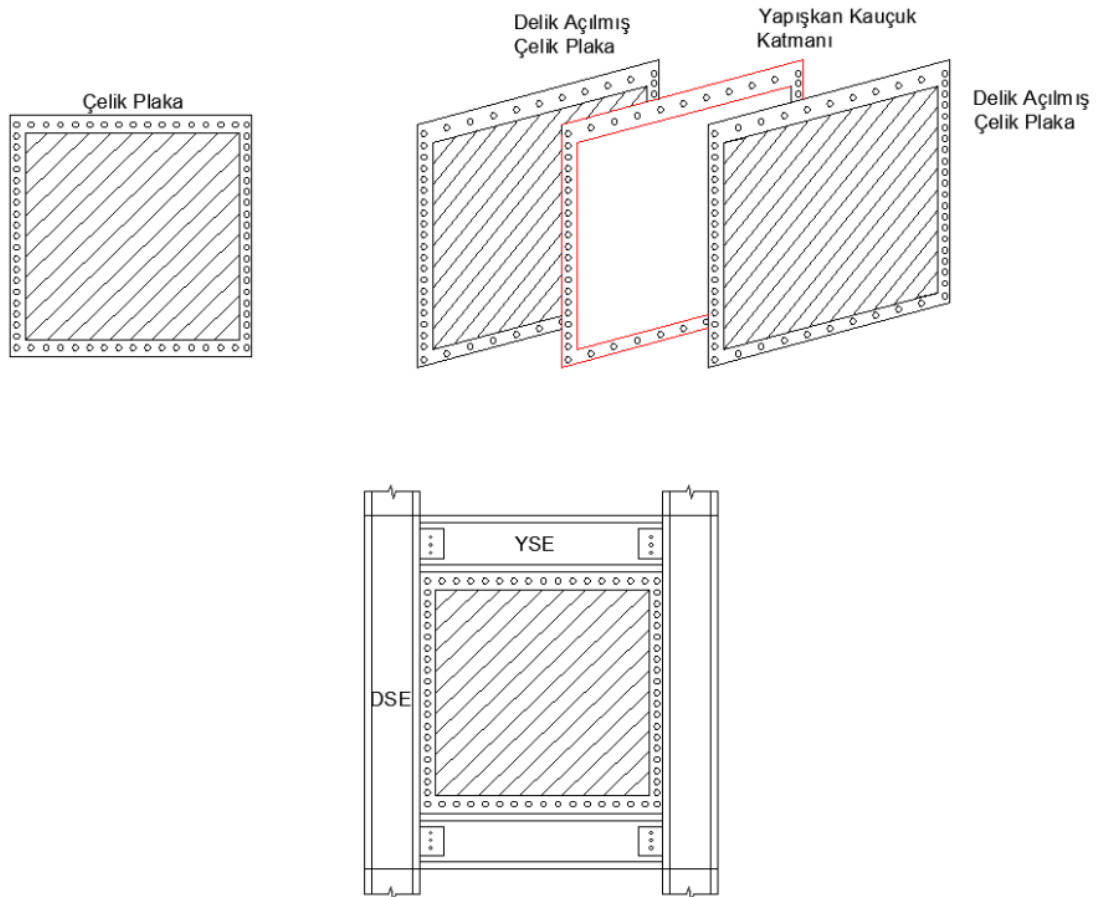
Mimari gereksinimler nedeniyle çelik plakalı perde duvar sistemlerindeki çelik plakada açılan kapı, pencere gibi boşluklarla, çelik plakanın davranışında negatif etkiler gözlemlenebilir. Erken burkulma gibi sorunlara çözüm olarak kullanılabilecek yollardan biri olan bu sistem, çelik plakanın mekanik özelliklerine doğrudan etki edecek uygun bir metot olarak değeriendirilebilir.

Güçlendirilmiş çelik plakalı perde duvar sistemleri temel taşıyıcı sistem olarak etkili bir çözüm olsa da dezavantajları da tasarımın seçiminde dikkate alınmalıdır. Bu dezavantajlardan en belirgin olanı çelik plaka üzerine güçlendirici detayları bağlamak için ek iş gücü sarf edilmesinin yanı sıra rijitlik levhaları ölçülerindeki belli kısıtlamalar nedeniyle artan maliyet olarak gösterilebilir. Ayrıca ek olarak kullanılan rijitlik levhalarıyla oluşacak fazladan ağırlık da dikkate alınmalıdır.

2.4.8 Enerji yutma bileşenleriyle güçlendirilmiş çelik plakalı perde duvar sistemleri

Deprem kuvvetlerinden oluşan yüksek enerjilerin çelik plakalı perde duvar sistemi üzerinde oluşturduğu plastik deformasyonları minimize etmek için kullanılan

yöntemlerden biri olan enerji yutma bileşenleri; çelik plakalı perde duvar sistemi üzerinde enerji yutma çarprazları, çelik plakalar arasına bağlanan çeşitli malzemeler ve yatay-düşey sınır elemanları arasında kullanılan kendinden merkezlenen sonradan gerilmeli halatlar gibi farklı tiplerde tasarlanabilir. Tipik sistemlere göre yüksek rijitlik ve dayanım özelliği gösteren, enerji yutma kapasitesi ciddi oranda artırılmış bu sistemler, yüksek başlangıç rijitliği ve iyi derecede süneklik özellikleriyle yüksek deprem riski içeren bölgeler için iyi bir alternatif olarak görülmektedir. Çelik plakalardaki çatlakları önleme, çelik plakanın sınır elemanları üzerindeki etkisini azaltma, çelik plakada daha düzenli gerilme dağılışı sağlama, artık gerilmeleri ihmal edilebilir seviyeye getirme, düzenli histerik davranış gibi avantajları bulunan bu sistemlerde, enerji yutma sorunu ortadan kalktığından yatay ve düşey sınır elemanları arasında moment aktarmayan bağlantılar kullanılabilir. Kompleks davranış gösteren bu sistemlerin iyi analiz ve sıkı testlerle davranışı kontrol edilmelidir

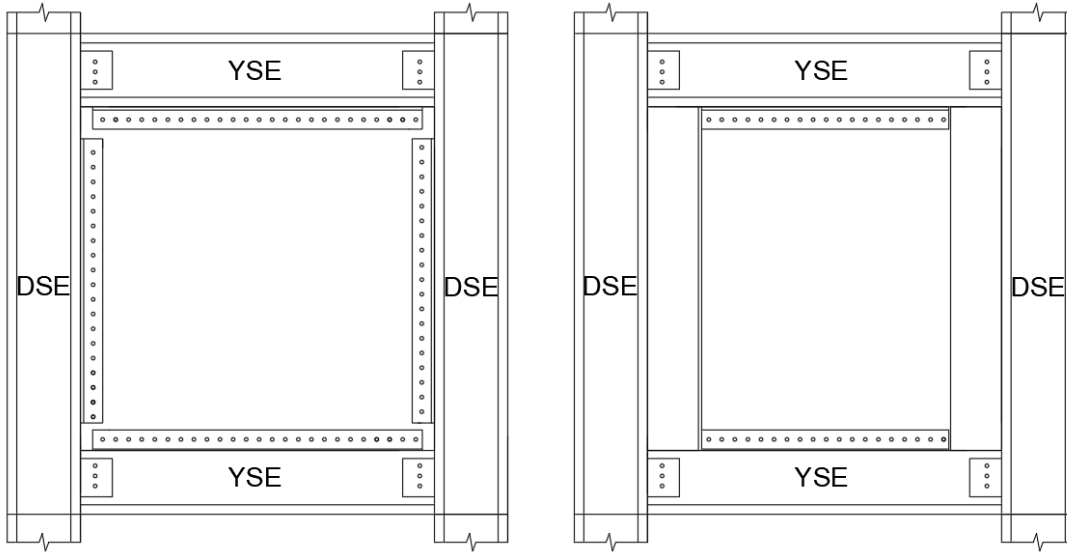


Şekil 2.21: Enerji yutma bileşenleriyle güçlendirilmiş çelik plakalı perde duvar sistemleri. (Seismic behavior of Self-Buckling-Restrained Steel Plate Shear Wall made by two incline-slotted infill plates, 2017)

2.4.9 İki yandan bağlantılı çelik plakalı perde duvar sistemleri

Tipik sistemlerden farkı, çelik plakanın sadece yatay sınır elemanlarına bağlı olması olan bu sistemler, henüz deney aşamasında olup halen test edilmektedir. Tek yönden etkiyle düşey sınır elemanları üzerinde olumsuz etkiler gözlemleneceğinden sadece yatay sınır elemanlarına bağlanması seçilen bu sistemlerde, hem mimari alan kazanımı sağlanabilir hem de 4 yandan bağlantılı sistemlere göre düşey sınır elemanları üzerindeki etki azaltılabilir. Bu sistemlerin deney aşamasında çelik plakanın tıpkı tipik sistemlerdeki gibi sadece kesme kuvvetine maruz kaldığı gözlemlenmiştir. Bu sistemlerin avantajları yanında kesme kuvveti kapasitesinde düşüş gibi etkiler de göz önüne alınmalıdır.

Kiriş kolon bağlantısı moment aktarmayacak şekilde yapılarak düşey sınır elemanları sadece eksenel yüke çalıştırılabilecek bu sistemlerde, düşey sınır elemanlarının yatay kuvvete karşı stabilite dayanımı yok olacağından bu yöntem önerilmemektedir.



4 Yandan Bağlantılı Sistem

2 Yandan Bağlantılı Sistem

Şekil 2.22: Dört yandan ve iki yandan bağlantılı çelik plakalı perde duvar sistemleri.

(Mechanical behavior of buckling restrained steel plate shear walls with two-sided connections, 2017)

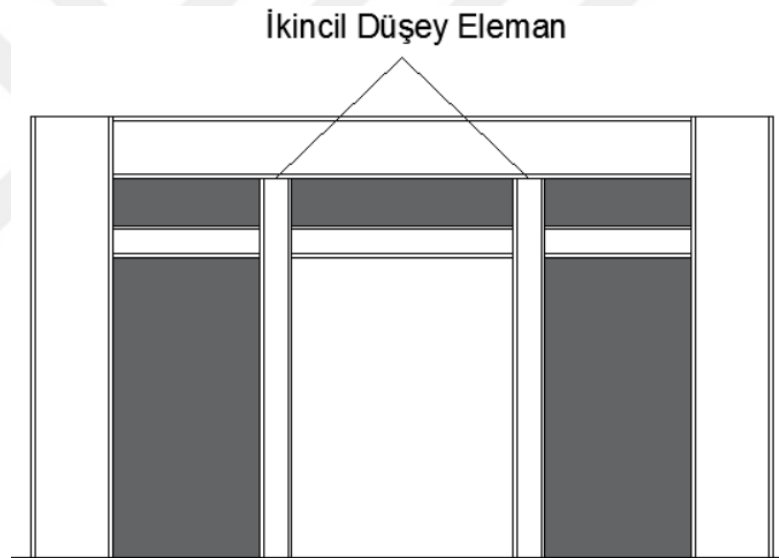
2.4.10 İkincil düşey elemanlı çelik plakalı perde duvar sistemleri

Çelik plakaların genelde tek parça kullanılmasıyla düşey sınır elemanları üzerindeki fazla kesme etkisini azaltmak için ikincil kolonların kullanıldığı bu sistemlerde, erken göçme ve ikincil kolonların eğilme rijitliği etkisiyle çelik plakada burkulma engellenir.

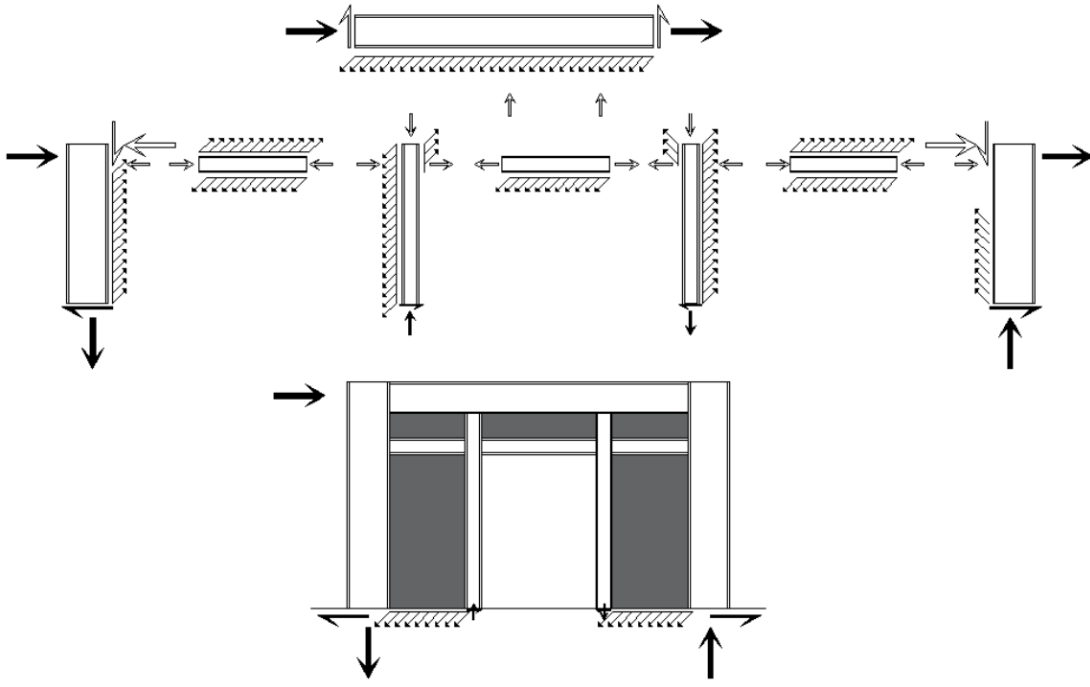
Bu sistemlerde her ne kadar kesme etkisi ikincil kolonlara aktarılsa da dışa doğru burkulma gözlemlenebilir ve dolayısıyla enerji yutma kapasitesi etkilenebilir.

Kesme etkisini ikincil kolonlara aktarmak bu sistemlerde sorun olarak gözlemlenmektedir. Bu sorunu engellemek için kullanılan; düşey sınır elemanlarıyla ikincil kolonları bağlayan çekme elemanları, düşey sınır elemanlarıyla çerçeve etkisi oluşturarak hem kesme etkisinin paylaştırılmasını hem de ikincil kolonlarda burkulma boyundan dolayı oluşan dışa burkulmayı engelleme görevini üstlenmektedir. Bu elemanların asıl amacı çerçeve etkisi oluşturmak olup kapasiteye etkisi ihmal edilebilir.

İkincil kolonlar her ne kadar düşey sınır elemanlarındaki kesme etkisini azaltsa da bu kolonlardaki plastikleşmenin stabiliteye etkisi ihmal edilebilir. Ayrıca bu kolonların montajı sistemin montajından sonra yapılmaktadır.



Şekil 2.23a: İkinci düşey elemanlı çelik plakalı perde duvar sistemleri.



Şekil 2.23b: İkincil düşey elemanlı çelik plakalı perde duvar sistemlerinde yük akışı.
(AISC Design Guide 20, 2006)

2.4.11 Akma gerilmesi düşük çelik plakalı perde duvar sistemleri

Kapasite tasarımına göre tasarımı yapılan sınır elemanlarındaki etkiyi azaltmak için kullanılan yöntemlerden biri olan bu sistemlerde, tipik sistemden farklı olarak sadece çelik plaka daha düşük akma dayanımına sahip olarak tasarlanır. Tipik sistemler gibi erken burkulma gösteren bu sistemlerde, sınır elemanlarına etki azalacağından takviye elemanları yerine daha kalın plaka kullanılabilir ve erken burkulma önlenir. Yüksek süneklik ve enerji yutma özelliği, yeterli güç ve iyi derecede uzama gösteren bu sistemler sayesinde özellikle düşey sınır elemanlarındaki rijitlik gereksinimleri önemli ölçüde azaltılabilir.

2.5 Çelik Plakalı Perde Duvar Sistemlerinin Kullanıldığı Yapı Sistemleri

Çelik Plakalı Perde Duvar Sistemleri, 1970 yılından beri hastane, hotel, kütüphane gibi birçok yapıda kullanılan bir taşıyıcı sistem elemanıdır. Yapı sistemi içinde bulunduğu koşullara göre; yapıyı yeniden güçlendirmek, yapının inşaa süresini kısaltmak, mimari amaçlara hizmet etmek, yapı elemanlarındaki fazla yükü azaltmak gibi birçok sebepten dolayı yapının temel elemanlarından biri olarak kullanılmıştır.

2.5.1 San Fransisco Hastanesi genişletme çalışmaları

Deprem sonrası bina taşıyıcı elemanlarında yapısal hasarın meydana gelmemesi veya ihmal edilebilir seviyede olması için tasarlanan bu ek yapı, hem pratik hem uygun yapı sistemi seçimini zorlaştırmıştır. Yüksek deprem kuvveti ve yapıdaki yer değiştirmenin sıkı bir şekilde kısıtlanması sonucu, mimari alanın etkin kullanımı için hesaplarla belirlenen ve kabul edilemez olan 4 feet (122 cm) kalınlıktaki betonarme perde duvar sistemi yerine çelik plakalı perde duvar sistemi kullanılmıştır. Yapı sisteminde çelik plakalı perde duvar sistemindeki plakadaki boşluklar (pencere vb.), plakanın betonarme ile güçlendirilmesini zorunlu kılmıştır.

2.5.2 Hyatt Regency Hotel Towers (Dallas)

Çelik çarpraz sisteminin istenen mimari gereksinimleri sağlamaması ve betonarme perde duvar sistemine göre daha hızlı bir imalat süresine sahip olması, bu sistem için çelik plakalı perde duvar sisteminin kullanılmasına sebep olmuştur. Düşük deprem riskli bölgede bulunan bu yapı için hem yüksek rüzgar kuvvetine hem de düşey kuvvete dayanım sağlayan çelik plakalı perde duvar sistemi sayesinde moment aktaran çelik çerçeve sistemine göre yaklaşık %33 çelik tasarrufu sağlanmıştır.

2.5.3 Olive View Tıp Merkezi

Kaliforniya'daki 1971 San Fernando Valley depreminden sonra büyük zarar görmüş betonarme perde duvar sistemlerinin yerine, bu yapıda çelik plakalı perde duvar sistemi kullanılmıştır. Moment aktaran çelik çerçeve sistemine göre daha az masraflı olduğu düşünülerek, ilk 2 katta betonarme perde duvar sistemi, son 4 katta ise çelik plakalı perde duvar sistemi kullanılarak yapı sisteminin ağırlığı düşürülmüştür. 1994 Northridge depremine maruz kaldıktan sonra yapı incelenmiş ve sadece yapısal olmayan sistem elemanlarında hasar tespit edilmiştir.

2.5.4 San Fransisco hastanesi genişletme çalışmaları

Deprem sonrası bina taşıyıcı elemanlarında yapısal hasarın meydana gelmemesi veya ihmal edilebilir seviyede olması için tasarlanan bu ek yapı, hem pratik hem uygun yapı sistemi seçimini zorlaştırmıştır. Yüksek deprem kuvveti ve yapıdaki yer değiştirmenin sıkı bir şekilde kısıtlanması sonucu, mimari alanın etkin kullanımı için hesaplarla belirlenen ve kabul edilemez olan 4 feet (122 cm) kalınlıktaki betonarme perde duvar sistemi yerine çelik plakalı perde duvar sistemi kullanılmıştır. Yapı sisteminde çelik

plakalı perde duvar sistemindeki plakadaki boşluklar (pencere vb.), plakanın betonarme ile güçlendirilmesini zorunlu kılmıştır.

2.5.5 8 katlı yapı (British Columbia)

Daha maliyetli bir yapı sistemi elde edilmesine rağmen, yeterli sismik davranışı elde edebilmek için; yapının bir yönünde çelik çarpraz sistemi kullanılmış, diğer yönde ise sadece yatay kuvvete dayanım gösterecek sistemin kaplayacağı kadar dar bir alan olduğundan plakası güçlendirilmiş çelik plakalı perde duvar sistemi kullanılmıştır.

2.5.6 6 katlı yapı (Quebec)

Düzensiz bir kat planına sahip olan bu yapıda, asansör perdelerinde maliyet olarak daha ucuz olan çelik plakalı perde duvar sistemi kullanılmıştır. Sistemin 2 katının perde sistemleri fabrikada imal edilmiş ve sahada bulonlarla montajı tamamlanmıştır.

2.5.7 7 katlı yapı (Quebec)

Hızlı imalat ve etkin mimari alan kullanımının verdiği avantajlar sonucu bu yapıda, çelik plakalı perde duvar sistemi kullanılmıştır. Yapının çekirdek sistemi olarak kullanılan çelik plakalı perde duvar sistemleri, fabrikada imal edilmiş ve sahada birleştirilerek hızlı bir montaj süreci elde edilmiştir.

2.5.8 23 katlı yapı (Seattle)

1994 Northridge depreminin verdiği büyük hasar sonrası çelik plakalı perde duvar sistemleri, birçok yapıyı güçlendirmek için etkin bir sistem olmuştur. Burkulma sonrası yüksek dayanıma ve yüksek sünekliğe sahip olması, bu sistemlerin yapıda güçlendirici olarak kullanılmasının temel sebeplerinden biridir Seattle'da deprem sonrası büyük hasar gören betonarme perde duvar sistemleri yerine kullanılan çelik plakalı perde duvar sistemleri, yapıya yaklaşık %2 daha fazla mimari alan kazandırmış ve yapının ağırlığını yaklaşık %18 düşürerek, yapının temelinde oluşan hem ölü ağırlığı hem de dolaylı yoldan deprem etkisini azaltmıştır. Yapım aşamasında fabrikada imal edilip sahada hızlı montajlanan bu sistemler, inşa süresini kısaltmıştır.

2.5.9 54 katlı otel (Los Angeles)

2010 yılında yapımı çelik plakalı perde duvar sistemleri kullanılarak bitirilen bu otelde, betonarme perde duvar sistemine göre hem maliyet açısından hem de mimari

alan kazanımı sağlanmıştır. Yapılan hesaplara göre belirlenen 36 inch (91.44 cm) betonarme perde sistemi kalınlığının yerine 1 inch (2.54 cm) plaka kalınlığında çelik plakalı perde duvar sistemi kullanılarak, hem yapının ağırlığı %30 azaltılmış hem de yaklaşık 129 m² mimari alan kazancı sağlamıştır. Çelik plakalı perde duvar sistemi sayesinde işveren, hem mimari alanın etkin kullanımından 20 milyon dolar kazanmış hem de betonarme perde sistemine göre 4 ay daha önce bitirilen yapım aşamasının etkisiyle zamandan tasarruf edilmiş ve otel daha kısa sürede hizmete sunulmuş olarak kazanç sağlanmıştır.

2.5.10 Oregon Eyalet Kütüphanesi (Oregon State library)

Yapının güçlendirilmesi amacıyla betonarme çerçeveye yerleştirilen çelik plakalı perde duvar sistemi, betonarme inşaa aşamalarının aksine kitaplara zarar vermeyecek şekilde montajlanıp, kitapların yer değiştirilmesine gerek kalmadan kurulumu tamamlanmıştır. Kurulum sırasında ağır makinelerle ihtiyaç duyulmadan montajı tamamlanmıştır. Yapının statik hesapları betonarme çerçevenin yatay kuvvete hiç direnç göstermediği varsayılarak yapılmış ve gerekli davranış elde edilmiştir

2.5.11 Tıp merkezi (Charleston)

Betonarme perde duvar sistemine göre daha pahalı olmasına rağmen hem hastanedeki kullanım sırasında rahat servis alanı olması hem de gelecekte olabilecek herhangi bir genişletme çalışmalarını daha uygun şartlarda yapabilmek için çelik plakalı perde duvar sistemi kullanılmıştır. Çelik plakalı perde duvar sisteminin maliyeti daha fazla gözükse de, açılan mimari alan sayesinde maliyet ciddi derecede fark etmemiştir. Bu yapı için düşük kalınlıkta plaka kalınlığı ve daha küçük boyutta takviye elemanları gerekse de, daha sonraki genişletme vb. çalışmalar için kalınlıklar ve kullanılan profiller büyütülmüştür.

2.5.12 Rezidanslar (San Mateo şirketi)

İşverenin deprem sonrası yapı elemanlarında hasar olmaması isteği üzerine yapılan hesaplamalarda moment aktaran çelik çerçeve sistemi elemanları aşırı büyük boyutta tasarlanınca, çelik plakalı perde duvar sistemi kullanılmıştır. Yönetmeliklerin belirlediği taban kesme kuvveti değerinin birkaç katı kadar dayanıklılıkta tasarlanan bu sistemle, istenen mimari alan da sağlanmıştır.

2.5.13 4 katlı rezidans (San Fransisco)

Çelik çarprazlı sisteme göre daha ekonomik olması ve geniş mimari alanı sağlaması, bu sistemde çelik plakalı perde duvar sisteminin kullanımının tercih edilmesine neden olmuştur.

2.5.14 7 katlı ING yapısı (Ste-Hyacinthe)

Yapım süresinin kısa olması ve yeterli mimari alanın kullanımı için diğer yapı sistem elemanlarına göre daha uygun olmasından dolayı, bu yapıda çelik plakalı perde duvar sistemi kullanılmıştır.



3. ÇELİK PLAKALI PERDE DUVAR SİSTEMLERİNİN HESAPLANMASI

3.1 Giriş

Bu bölümde, çelik plakalı perde duvar sisteminin tasarımı için AISC 341-16 yönetmeliğine göre gerekli hesaplamaları gösterilmektedir. Bu bölümde; çelik plakalı perde duvar sistemin uygulanması için tüm tasarım hesaplamaları yerine, sünek bir tasarım için gereken temel hesaplamalar gösterilmektedir.

Hesaplamalarda çelik plakanın yeterli dayanımda olduğu, yatay ve düşey sınır elemanlarının çelik plaka akmasına karşı hasar almadığı ve yönetmelik gereksinimlerini yerine getirdiği, plastik mafsallın yatay sınır elemanının uç noktalarında olduğu gösterilecektir. Sistem elemanının tasarımı "Yük ve Dayanım Katsayıları ile Tasarım" metoduna göre yapılmıştır.

Hesaplamalarda esas olarak AISC 341-16 baz alınsa da, "Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları" ve "Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği" de dikkate alınmıştır.

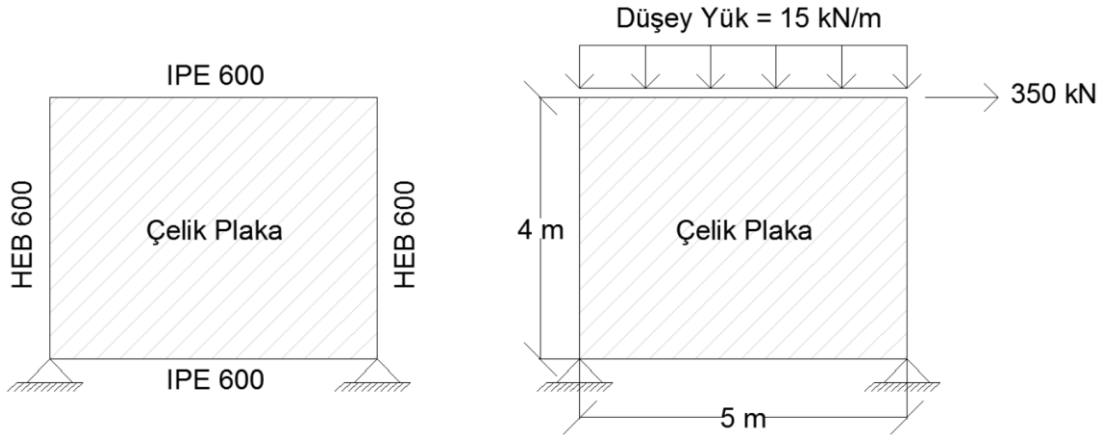
3.2 Tasarım Esasları

Çelik plakalı perde duvar sistemlerinin tasarımı çelik plakanın çekme sırasında akması ve plastik mafsalların yatay sınır elemanları uçlarında oluşması beklentisiyle yapılır. Hesaplamalarda çelik plaka "plk" olarak, yatay sınır elemanı "YSE" olarak, düşey sınır elemanı "DSE" olarak kısaltılmıştır. Sistemde:

Plk = 1 mm kalınlıkta S235 Çelik Plaka

YSE = IPE 600 (S355)

DSE = HEB 600 (S355)



Şekil 3.1: Hesabı yapılacak çelik plakalı perde duvar sistemi.

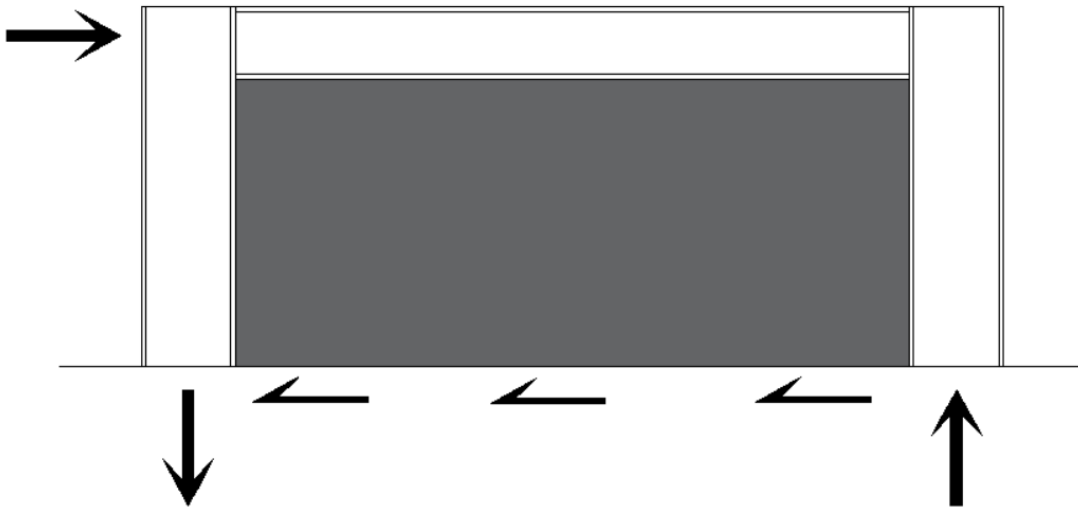
AISC 341-16 yönetmeliğinde, çelik plakalı perde duvar sistemleri için genişlik ve yükseklik boyutları ile ilgili $0.8 < L/h \leq 2.5$ oranında bir kısıtlama bulunmaktadır. Hesaplamalar ilk olarak bu koşulun sağlanmasıyla başlatılacaktır:

$$0.8 < 5/4 = 1.25 \leq 2.5$$

Koşul sağlandıktan sonra sistem tasarımına başlanabilir.

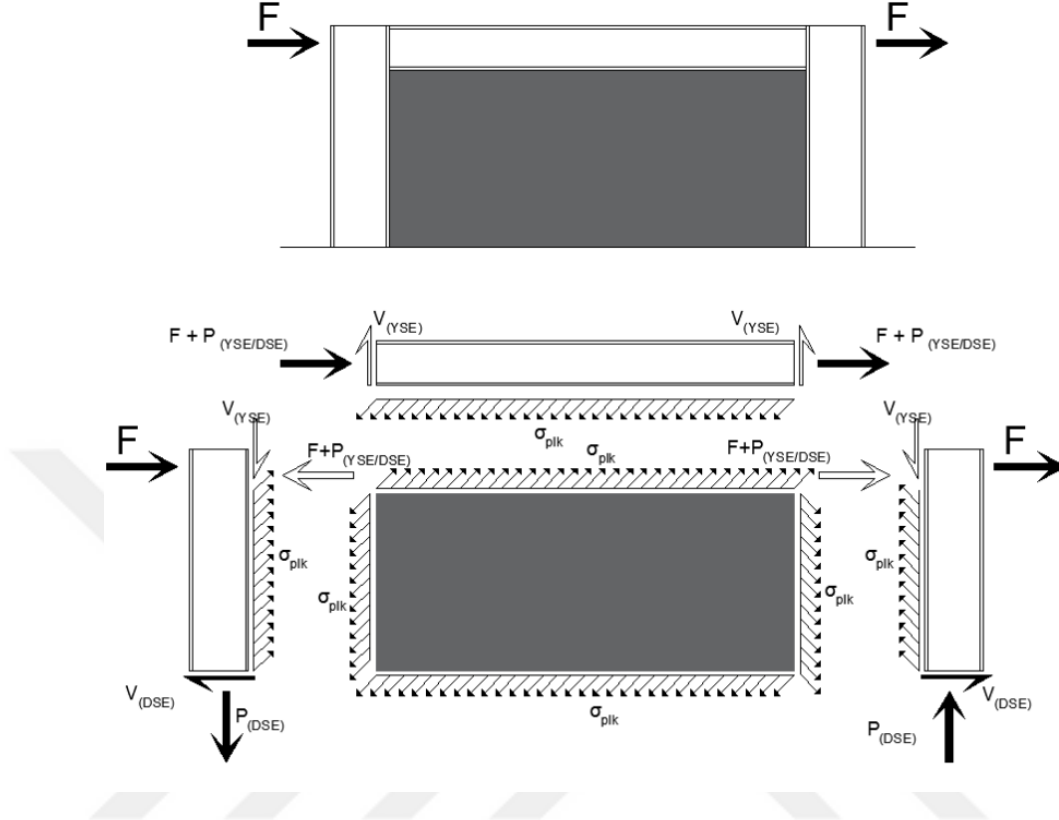
3.3 Sistem Analizi

Çelik plakalı perde duvar sistemlerinde çelik plaka, sistemin ilk savunma hattı olarak görülür. Sisteme etki eden kesme kuvvetine direkt dayanım gösterdiği varsayılan çelik plaka, çekme alanlarının etkisiyle yatay ve sınır elemanlarına oluşan etkiyi aktardığı varsayılır.



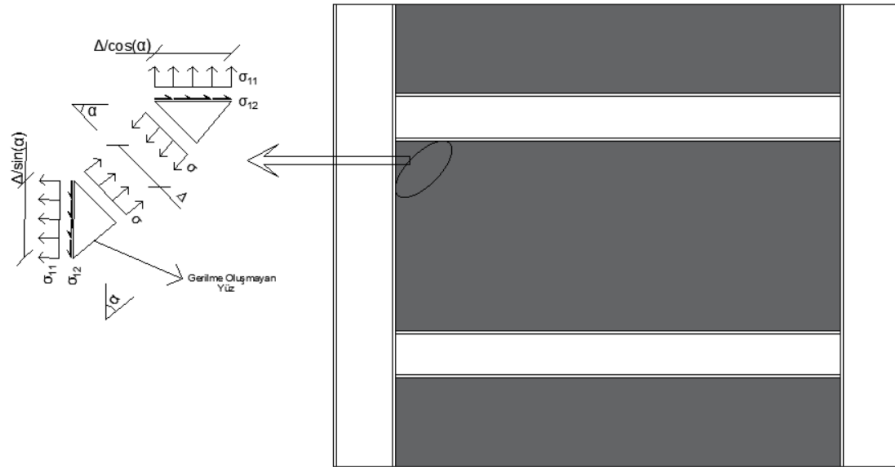
Şekil 3.2: Çelik plakalı perde duvar sisteminde yük akışı. (AISC Design Guide 20, 2006)

Sisteme etkiyen kuvvetin etkisiyle çelik plakanın burkulması ve akması sonucu sistemde iç gerilmeler oluştuğu gözlemlenir ve sınır elemanları bu etkilere dayanım gösterecek şekilde kapasite prensibine göre tasarımı yapılır.



Şekil 3.3: Çelik plakalı perde duvar sisteminde iç kuvvet ve gerilmeler. (AISC Design Guide 20, 2006)

Sınır elemanlarına ek olarak çelik plakanın etkisiyle bağlantılar, oluşacak gerilmelere dayanım gösterecek şekilde kapasite prensibine göre tasarımı yapılır.



Şekil 3.4: Çelik plakalı perde duvar sisteminde sınır elemanlarında oluşan gerilme (AISC Design Guide 20, 2006)

3.4 Çelik Plaka Dizaynı

AISC 341-16 Çelik Yapılar için Deprem Yönetmeliğine göre, çelik plakalar sisteme gelen kesme kuvvetinin tamamına dayanacak şekilde tasarımı yapılmalıdır. Bu tasarım sayesinde sistemde dayanım fazlalığı sağlanarak, güvenli bir sistem elemanı oluşturulur.

$$\phi V = 0.9 * 0.42 * F_y * t_{plk} * L_{cf} * \sin(2\alpha) \quad (3.1)$$

$$\tan^4 \alpha = \frac{1 + \frac{t_{plk} * L}{2 * A_{DSE}}}{1 + t_{plk} * h * \left(\frac{1}{A_{YSE}} + \frac{h^3}{360 * I_{DSE} * L} \right)} \quad (3.2)$$

Formüle göre:

$$\tan^4 \alpha = \frac{1 + \frac{1 * 5000}{2 * 27000}}{1 + 1 * 4000 * \left(\frac{1}{15600} + \frac{4000^3}{360 * 171000 * 10^4 * 5000} \right)} = 0.356$$

$$\alpha = 39.42^\circ$$

$$L_{cf} = 5 - (0.3 + 0.3) = 4.4 \text{ m}$$

$$\phi V = 0.9 * 0.42 * 235 * 1 * 4400 * \sin(2 * 39.42) = 383.46 \text{ kN} > 350 \text{ kN}$$

Çelik Plaka, sisteme gelen kesme kuvvetine karşı yeterli dayanıma sahiptir.

3.5 Yatay Sınır Elemanı Dizaynı

Yatay sınır elemanları; çelik plakanın çekmesinden dolayı oluşacak akma gerilmesinin oluşturduğu kuvvete, yapıda üstüne düşen düşey kuvvete ve düşey sınır elemanının etkisine dayanım gösterecek şekilde tasarlanır. Bu etkilerden dolayı yatay sınır elemanı; eğilme momenti, kesme kuvveti ve eksenel kuvvete dayanım gösterecek şekilde tasarlanmalıdır. Çelik plakalı perde duvar sistemlerinde yatay sınır elemanlarının dizaynındaki temel amaç, hedeflenen ötelenmede oluşacak çelik plakanın akmasına yeterli rijitlikte yatay sınır elemanı tasarlanmasıdır. Tipik çelik plakalı perde duvar sisteminde plastik mafsallar, yatay sınır elemanlarının uç noktalarında oluşacak şekilde tasarlanır. Aşağıdaki hesaplamalarda hem çelik plakanın yatay sınır elemanları üzerindeki etkisi gösterilmiş, hem de yatay sınır elemanının plastikleşmesi sonucu oluşacak etkiler hesaplanmıştır.

Yatay sınır elemanları üzerindeki etkileri doğru anlamak eleman tasarımında önemli bir faktör olarak gösterilir. Yatay sınır elemanı üzerindeki eksenel kuvvet; çelik plakanın akması sonucu düşey sınır elemanları üzerinde oluşan çekme etkisiyle yatay sınır elemanları üzerindeki basınç kuvveti ve çelik plakanın akması sonucu oluşan

düşey etkiler olarak sınıflandırılabilir. Yatay sınır elemanları üzerindeki kesme kuvveti ise çelik plakanın akması sonucu oluşan kuvvet ve çerçeve yatay ötelenmesi ile oluşan etki olarak sınıflandırılabilir.

3.5.1 Yatay sınır elemanının sahip olması gereken moment dayanımı

$$M_u = \frac{w * L_{cf}}{4} \quad (3.3)$$

$$w = w_{yYSE} + w_g \quad (3.4)$$

$$w_{yYSE} = R_y * F_y * (t_{plk} * \cos^2(\alpha)) \quad (3.5)$$

Formüle göre:

$$w_{yYSE} = 1.4 * 235 * (1 * \cos^2(39.42)) = 196.34 \text{ N/mm} = 196.34 \text{ kN/m}$$

$$w_g = 15 \text{ kN/m}$$

$$w = 196.34 + 15 = 211.34 \text{ kN/m}$$

$$M_u = \frac{211.34 * 4.4}{4} = 1022.89 \text{ kNm}$$

Çelik Plaka, sisteme gelen kesme kuvvetine karşı yeterli dayanıma sahiptir.

3.5.2 Yatay sınır elemanının sahip olması gereken eksenel kuvvet dayanımı

Yatay sınır elemanlarındaki eksenel kuvvetin 2 ana sebebi gösterilebilir. Bunlardan biri çelik plakadan düşey sınır elemanına, çelik plakanın akması sonrası aktarılan kuvvetin sebep olduğu iç kuvvetken; diğeri bu kuvvete ek olarak, çelik plakadan akma sonrası direkt aktarılan ek kuvvet olarak gösterilebilir.

$$P_{YSE} = P_{YSE(DSE)} \pm \frac{1}{2} P_{YSE(plk)} \quad (3.6)$$

$$P_{YSE(DSE)} = \frac{1}{2} * h_{DSE} * R_y * F_y * t_{plk} * \sin^2(\alpha) \quad (3.7)$$

$$P_{YSE(plk)} = \frac{1}{2} * L_{cf} * R_y * F_y * t_{plk} * \sin(2\alpha) \quad (3.8)$$

Formüle göre:

$$P_{YSE(DSE)} = \frac{1}{2} * 4000 * 1.4 * 235 * 1 * \sin^2(39.42) = 265.32 \text{ kN}$$

$$P_{YSE(plk)} = \frac{1}{2} * 4400 * 1.4 * 235 * 1 * \sin(2 * 39.42) = 710.11 \text{ kN}$$

Yatay sınır elemanının sol tarafındaki eksenel kuvvet değeri:

$$P_{YSE(sol)} = 265.32 + \frac{1}{2} * 710.11 = 620.38 \text{ kN (Basınç)}$$

Yatay sınır elemanının sağ tarafındaki eksenel kuvvet değeri:

$$P_{YSE(sol)} = 265.32 - \frac{1}{2} * 710.11 = -89.74 \text{ kN (Çekme)}$$

Eleman üzerindeki basınç kuvveti ve kat ötelenmesinin neden olduğu 2. mertebe etkilerin hesaplanması için, birinci mertebe analiz ile elde edilen kuvvetler ÇYTHYE 2018 Bölüm 6.5'in belirlediği katsayılar ile çarpılacaktır

$$M_r = B_1 * M_{nt} + B_2 * M_{1t} \cong B_1 * M_{nt} \quad (3.9)$$

$$P_r = P_{nt} + B_2 * P_{1t} \cong P_{nt} \quad (3.10)$$

$$B_1 = \frac{C_m}{1 - \frac{\alpha * P_r}{P_{el}}} \quad (3.11)$$

$$P_{el} = \frac{\pi^2 * E * I}{K * L^2} \quad (3.12)$$

Formüle göre:

$$C_m = 1$$

$$KL = 1 * 5000 = 5000 \text{ mm}$$

$$P_{el} = \frac{\pi^2 * 200000 * 92080 * 10^4}{5000^2} = 72703 \text{ kN}$$

$$B_1 = \frac{1}{1 - \frac{620.38}{72703}} = 1.01$$

$$M_r = 1.01 * 1022.89 = 1033.12 \text{ kNm}$$

$$P_r = 620.38 \text{ kN}$$

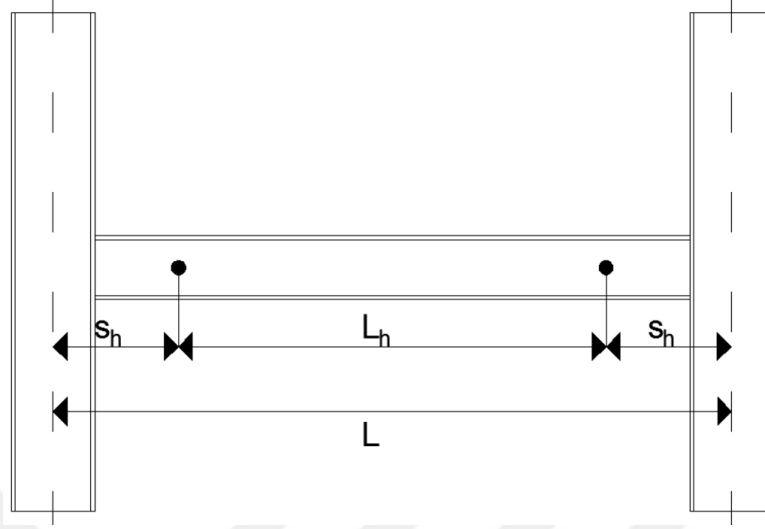
3.5.3 Yatay sınır elemanının sahip olması gereken kesme kuvveti dayanımı

$$V_u = V_g + V_{u(YSE)} + \frac{w_{yYSE} * L_{cf}}{2} \quad (3.13)$$

$$V_{u(YSE)} = \frac{M_{pr(sol)} + M_{pr(sağ)}}{L_h} \quad (3.14)$$

$$M_{pr} = 1.1 * R_y * Z * F_y \quad (3.15)$$

$$L_h = L - 2 * sh = L - 2 * \left(\frac{1}{2} * (d_{DSE} + d_{YSE})\right) \quad (3.16)$$



Şekil 3.5: Çelik plakalı perde duvar sisteminde plastik mafsall oluştuğu varsayılan noktalar.

Formüle göre:

$$\frac{w_{yYSE} * L_{cf}}{2} = \frac{196.34 * 4.4}{2} = 431.95 \text{ kN}$$

$$V_g = \frac{15 * 4.4}{2} = 33 \text{ kN}$$

$$M_{pr} = 1.1 * 235 * 3512000 * 355 = 1714.3 \text{ kNm}$$

$$P_y = F_y * A_g = 355 * 15600 = 5538 \text{ kN}$$

$$P_u / P_y = 620.38 / 5538 = 0.11 < 0.2$$

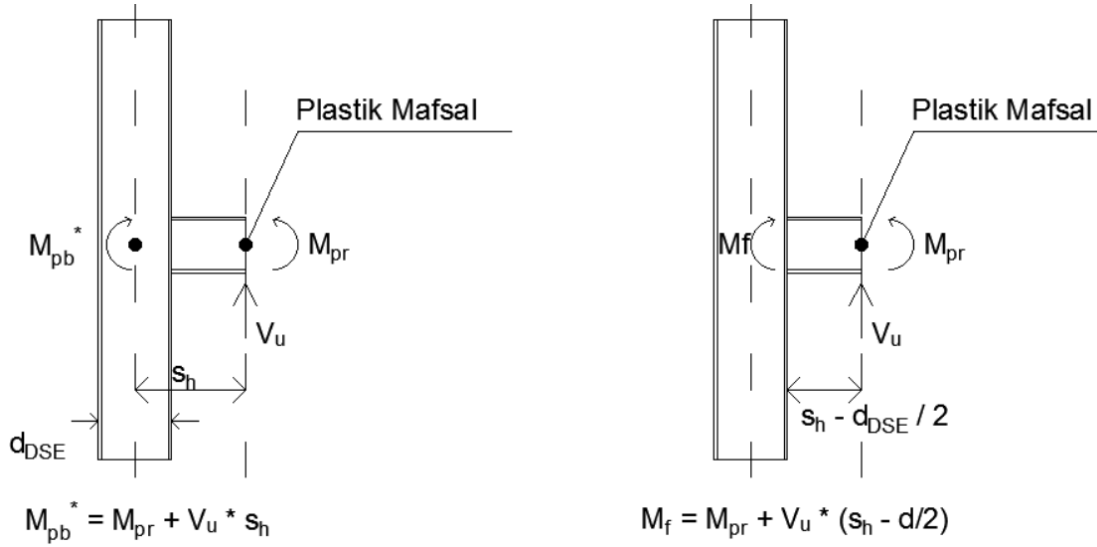
$$M_{pr(sol)}^* = (1.1 * 235 * 3512000 * 355) * \left(1 - \frac{1}{2} * \frac{620.38}{5538}\right) = 1618.28 \text{ kNm}$$

$$M_{pr(sağ)}^* = (1.1 * 235 * 3512000 * 355) = 1714.3 \text{ kNm}$$

$$L_h = 5 - 2 * \left(\frac{1}{2} * (0.6 + 0.6)\right) = 3.8 \text{ m}$$

$$V_{u(YSE)} = \frac{1714.3 + 1618.28}{3.8} = 877 \text{ kN}$$

$$V_u = 33 + 877 + 431.95 = 1341.95 \text{ kN}$$



Şekil 3.6: Çelik plakalı perde duvar sisteminde kolon başlık yüzeyi ve kolon eksenindeki moment hesaplamaları.

3.5.4 Yatay sınır elemanında enkesit narinlikleri kontrolleri

$$\frac{b_f}{2 * t_f} = \frac{220}{2 * 19} = 5.79 < 0.38 * \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0.38 * \sqrt{\frac{200000}{355}} = 9.01$$

$$\frac{d}{t_w} = \frac{514}{12} = 42.83 < 3.76 * \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 3.76 * \sqrt{\frac{200000}{355}} = 89.25$$

Yapılan tahkikler sonucu düşey sınır elemanının başlık ve gövdesinin kompakt olduğu kanıtlanmıştır.

3.5.5 Yatay sınır elemanının kesme kuvveti dayanımı

$$\frac{d}{t_w} = \frac{512}{12} = 42.83 < 2.24 * \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 2.24 * \sqrt{\frac{200000}{355}} = 53.17$$

$$\phi = 1, C_{v1} = 1$$

$$\phi V_n = 1 * 0.6 * F_y * A_w * C_{v1} = 1 * 0.6 * 355 * 600 * 12 * 1 = 1533.6 \text{ kN}$$

$$\phi V_n = 1533.6 \text{ kN} > 1341.95 \text{ kN}$$

Yapılan tahkikler sonucu yatay sınır elemanı yeterli kesme kuvveti dayanımına sahip olduğu gölemlenmiştir.

3.5.6 Yatay sınır elemanının birleşik etkilere karşı dayanımı

3.5.6.1 Basınç dayanımı

Basınç dayanımı için tali kirişlerin 1.25 m'de bir kullanıldığı varsayılırsa:

$$KL_x/r_x = 1 * 5000/243 = 20.58$$

$$KL_y/r_y = 1 * (5000/4) / 46.6 = 26.82$$

$$F_e = \frac{\pi^2 * E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} = \frac{\pi^2 * 200000}{26.82^2} = 2744.18 \text{ N/mm}^2$$

$$F_y/F_e = \frac{355}{2744.18} = 0.13 < 2.25$$

$$F_{cr} = \left(0.658^{\frac{F_y}{F_e}}\right) * F_y = (0.658^{0.13}) * 355 = 336.29 \text{ N/mm}^2$$

$$\phi P_n = 0.9 * 336.29 * 15600 = 4721.5 \text{ kN}$$

$$\phi P_n = 4721.5 \text{ kN} > 620.38 \text{ kN}$$

3.5.6.2 Eğilme dayanımı

$$L_p = 1.76 * r_x * \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1.76 * 243 * \sqrt{\frac{200000}{355}} = 10.15 \text{ m} > 5 \text{ m}$$

L_p , yanal tutulma boyu L değerinden daha büyük olduğu için yanal burulmalı burkulma etkisi göz önüne alınmamalıdır.

$$\phi M_n = \phi * F_y * Z_x = 0.9 * 355 * 3512000 = 1122.08 \text{ kNm}$$

3.5.6.3 Birleşik etkiye karşı dayanım tahkiki

$$P_r/P_d = \frac{620.38}{4721.5} = 0.13 < 0.2$$

$$\frac{P_r}{2 * P_c} + \frac{M_r}{M_d} = \frac{620.38}{2 * 4721.5} + \frac{1033.12}{1122.08} = 0.99 < 1$$

Yapılan hesaplamalar sonucu YSE'nin yeterli dayanıma sahip olduğu hesaplanmıştır.

3.5.7 Diğer kontroller

3.5.7.1 YSE atalet momenti kontrolü

$$I_{YSE} \geq 0.003 * \frac{t_{plk} * L^4}{h} \quad (3.17)$$

Formüle göre:

$$I_{YSE} = 92080 * 10^4 \text{ mm}^4 \geq 0.003 * \frac{1 * 5000^4}{4000} = 46785 * 10^4 \text{ mm}^4$$

3.5.7.2 YSE gövde kalınlığı kontrolü

$$t_{gYSE} \geq \frac{t_{plk} * R_y * F_{yplk}}{F_{yYSE}} \quad (3.18)$$

Formüle göre:

$$t_{gYSE} = 12 \text{ mm} \geq \frac{1 * 1.4 * 235}{355} = 0.93 \text{ mm}$$

3.6 Düşey Sınır Elemanı Dizaynı

Çelik plakalı perde duvar sisteminde plastikleşme oluşmaması beklenen tek eleman olan düşey sınır elemanlarında, hem çelik plakadan hem de yatay sınır elemanlarından gelecek etkiye karşı yeterli dayanımda tasarlanmalıdır. Sistem etkisiyle yüksek eksenel yüke ve çerçeve etkisiyle yüksek devrilme momentine maruz kalan bu elemanlar, yönetmelikçe sıkı koşullarla kısıtlanmıştır. Aşağıdaki hesaplamalarda hem çelik plakanın ve yatay sınır elemanlarının etkisi hesaplanmış, hem de eksenel yük etkisinin eleman üzerindeki dayanım değişimine etkisi gösterilmiştir.

3.6.1 Düşey sınır elemanının sahip olması gereken eksenel kuvvet dayanımı

Düşey Sınır Elemanındaki maximum basınç kuvveti:

$$E_m^- = \frac{1}{2} * R_y * F_y * \sin(2\alpha) + \left(\sum t_{plk} * h + t_{plk} * \frac{L_{cf}}{2} \right) + \sum \frac{2 * M_{pr}}{L_h} \quad (3.19)$$

Düşey Sınır Elemanındaki maximum çekme kuvveti:

$$E_m^+ = \frac{1}{2} * R_y * F_y * \sin(2\alpha) + \left(\sum t_{plk} * h - t_{plk} * \frac{L_{cf}}{2} \right) + \sum \frac{2 * M_{pr}}{L_h} \quad (3.20)$$

Düşey Sınır Elemanındaki maximum basınç ve çekme kuvveti:

$$E_m = \frac{1}{2} * 1.4 * 235 * \sin(2 * 39.42) * 1 * 4000 \pm \frac{1}{2} * 1.4 * 235 * \sin(2 * 39.42) * 1 * \frac{4400}{2} + 2 * \frac{1714.3}{3.8}$$

$$E_m^- = 1901.8 \text{ kN}$$

$$E_m^+ = 1192.4 \text{ kN}$$

Çok katlı yapılarda bu etkilerin yanında düşey sınır elemanına ayrıca kombinasyondan gelen eksenel yük etkileri de dahil edilir. Bu hesaplarda bu etkiler gösterilmemiştir.

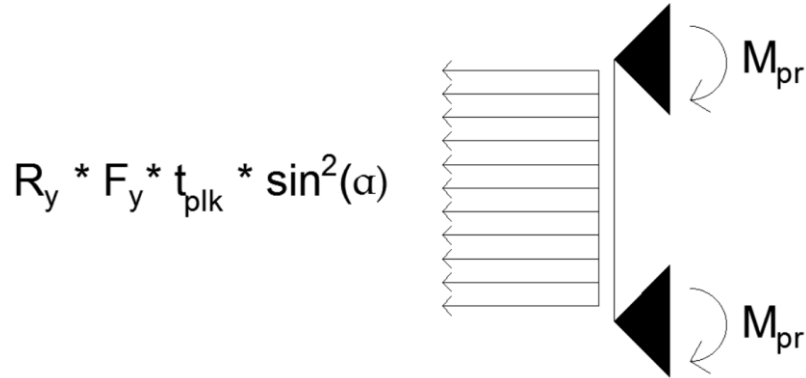
3.6.2 Düşey sınır elemanının sahip olması gereken eğilme momenti dayanımı

$$M_u = M_{DSE(plk)} + M_{DSE(YSE)} \quad (3.21)$$

$$M_{DSE(plk)} = R_y * F_y * \sin^2(\alpha) * t_{plk} * \frac{h_{DSE}^2}{12} \quad (3.22)$$

$$M_{DSE(YSE)} = \frac{1}{2} * \sum M_{p(YSE)} \quad (3.23)$$

$$M_{p(YSE)} = \frac{M_{pr}}{1.1 * R_y} + V_{pl} * s_h \quad (3.24)$$



Şekil 3.7: Düşey sınır elemanı üzerindeki etkiler. (Ductile Design of Steel Structures, 2011)

Formüle göre:

$$M_{DSE(plk)} = 1.4 * 235 * \sin^2(39.42) * 1 * \frac{4000^2}{12} = 176.88 \text{ kNm}$$

$$M_{DSE(YSE)} = \frac{1714.3}{1.1 * 1.25} + \frac{1714.3}{3.8} * \frac{1}{2} * (0.6 + 0.6) = 1517.39 \text{ kNm}$$

$$P_y = F_y * A_g = 9585 \text{ kN}$$

$$P_u = P_{YSE(plk)}/2 = 710.11/2 = 355.06 \text{ kN}$$

$$P_u/P_y = 355.06/9585 = 0.04 < 0.2$$

$$M_{pr}^* = (1.1 * 1.25 * 355 * 3512000) * \left(1 - \frac{1}{2} * \frac{355.06}{9585}\right) = 1682.54 \text{ kNm}$$

$$M_{DSE(YSE)}^* = \frac{1682.54}{1.1 * 1.25} + \frac{1714.3}{3.8} * \frac{1}{2} * (0.6 + 0.6) = 1494.34 \text{ kNm}$$

$$M_u = 176.88 + 1494.34 = 1671.22 \text{ kNm}$$

Eleman üzerindeki basınç kuvveti ve kat ötelenmesinin neden olduğu ikinci mertebe etkilerin hesaplanması için, birinci mertebe analiz ile elde edilen kuvvetler ÇYTHYE 2018 Bölüm 6.5'in belirlediği katsayılar ile çarpılacaktır

Formüle göre:

$$C_m = 1$$

$$KL = 1 * 4000 = 4000 \text{ mm}$$

$$P_{el} = \frac{\pi^2 * 200000 * 171000 * 10^4}{4000^2} = 210962 \text{ kN}$$

$$B_1 = \frac{1}{1 - \frac{1901.8}{210962}} = 1.01$$

$$M_r = 1.01 * 1671.22 = 1687.93 \text{ kNm}$$

$$P_r = 1901.8 \text{ kN}$$

3.6.3 Düşey sınır elemanının sahip olması gereken kesme kuvveti dayanımı

$$V_u = V_{DSE(plk)} + V_{DSE(YSE)} \quad (3.25)$$

$$V_{DSE(plk)} = \frac{1}{2} * R_y * F_y * \sin^2(\alpha) * t_{plk} * h_{DSE} \quad (3.26)$$

$$V_{DSE(YSE)} = \sum \frac{1}{2} * \frac{M_{pYSE}}{h_{DSE}} \quad (3.27)$$

Formüle göre:

$$V_{DSE(plk)} = \frac{1}{2} * 1.4 * 235 * \sin^2(39.42) * 1 * 4000 = 265.32 \text{ kN}$$

$$V_{DSE(YSE)} = \frac{1}{2} * \frac{1494.34 + 1682.54}{4} = 397.11 \text{ kN}$$

$$V_u = 265.32 + 397.11 = 662.43 \text{ kN}$$

3.6.4 Düşey sınır elemanının enkesit narinlikleri kontrolleri

$$\frac{b_f}{2 * t_f} = \frac{300}{2 * 30} = 5 < 0.38 * \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0.56 * \sqrt{\frac{200000}{355}} = 9.01$$

$$\frac{d}{t_w} = \frac{486}{15.5} = 31.35 < 3.76 * \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1.49 * \sqrt{\frac{200000}{355}} = 89.25$$

Yapılan tahkikler sonucu düşey sınır elemanının başlık ve gövdesinin kompakt olduğu gözlemlenmiştir.

3.6.5 Düşey sınır elemanının narinlik kontrolleri

$$\frac{b_f}{2 * t_f} = \frac{300}{2 * 30} = 5 < 0.56 * \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0.56 * \sqrt{\frac{200000}{355}} = 13.29$$

$$\frac{d}{t_w} = \frac{486}{15.5} = 31.35 < 1.49 * \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1.49 * \sqrt{\frac{200000}{355}} = 35.37$$

Yapılan tahkikler sonucu düşey sınır elemanının başlık ve gövdesinin narin olmadığı gösterilmiştir. Bu tahkiklerin yanında TBDY 2018 Tablo 9.3'e göre ayrıca narinlik kontrolü yapılacaktır.

$$C_a = \frac{P_r}{\phi_c * F_y * A_g} = \frac{1901.8 * 10^3}{0.9 * 355 * 27000} = 0.22 > 0.125$$

$$3.76 * \sqrt{\frac{E}{F_y}} * (1 - 2.75 * C_a) = 3.76 * \sqrt{\frac{200000}{355}} * (1 - 2.75 * 0.22) = 35.25$$

$$\frac{d}{t_w} = \frac{486}{15.5} = 31.35 < C_a = 35.25$$

3.6.6 Düşey sınır elemanının kesme kuvveti dayanımı

$$\frac{d}{t_w} = \frac{486}{15.5} = 31.35 < 2.24 * \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 2.24 * \sqrt{\frac{200000}{355}} = 53.17$$

$$\phi = 1, C_{v1} = 1$$

$$\phi V_n = 1 * 0.6 * F_y * A_w * C_{v1} = 1 * 0.6 * 355 * 600 * 15.5 * 1 = 1980.9 \text{ kN}$$

$$\phi V_n = 1980.9 \text{ kN} > 662.43 \text{ kN}$$

Yapılan tahkikler sonucu düşey sınır elemanının yeterli kesme kuvveti dayanımına sahip olduğu hesaplanmıştır

3.6.7 Düşey sınır elemanının birleşik etkilere karşı dayanımı

3.6.7.1 Basınç dayanımı

$$KL_x/r_x = 1 * 4000/251.7 = 15.89$$

$$F_e = \frac{\pi^2 * E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} = \frac{\pi^2 * 200000}{15.89^2} = 7817.75 \text{ N/mm}^2$$

$$F_y/F_e = \frac{355}{7817.75} = 0.05 < 2.25$$

$$F_{cr} = \left(0.658^{\frac{F_y}{F_e}}\right) * F_y = (0.658^{0.05}) * 355 = 348.32 \text{ N/mm}^2$$

$$\phi P_n = 0.9 * 348.32 * 27000 = 8464.1 \text{ kN}$$

$$\phi P_n = 8464.1 \text{ kN} > 1901.8 \text{ kN}$$

3.6.7.2 Eğilme dayanımı

$$L_p = 1.76 * r_x * \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1.76 * 251.7 * \sqrt{\frac{200000}{355}} = 10.51 \text{ m} > 4 \text{ m}$$

L_p , yanal tutulma boyu L değerinden daha büyük olduğu için yanal burulmalı burkulma etkisi göz önüne alınmamalıdır

$$\phi M_n = \phi * F_y * Z_x = 0.9 * 355 * 6425000 = 2052.79 \text{ kNm}$$

3.6.7.3 Birleşik etkiye karşı dayanımı

$$P_r/P_d = \frac{1901.8}{8464.1} = 0.22 > 0.2$$

$$\frac{P_r}{\phi * P_c} + \frac{8 * M_r}{9 * M_d} = \frac{1901.8}{8464.1} + \frac{8 * 1687.93}{9 * 1122.08} = 0.6 < 1$$

Yapılan hesaplamalar sonucu YSE yeterli dayanıma sahip olduğu hesaplanmıştır.

3.6.8 DSE atalet momenti kontrolü

$$I_{DSE} \geq 0.00307 * \frac{t_{plk} * h^4}{L} \quad (3.28)$$

Formüle göre:

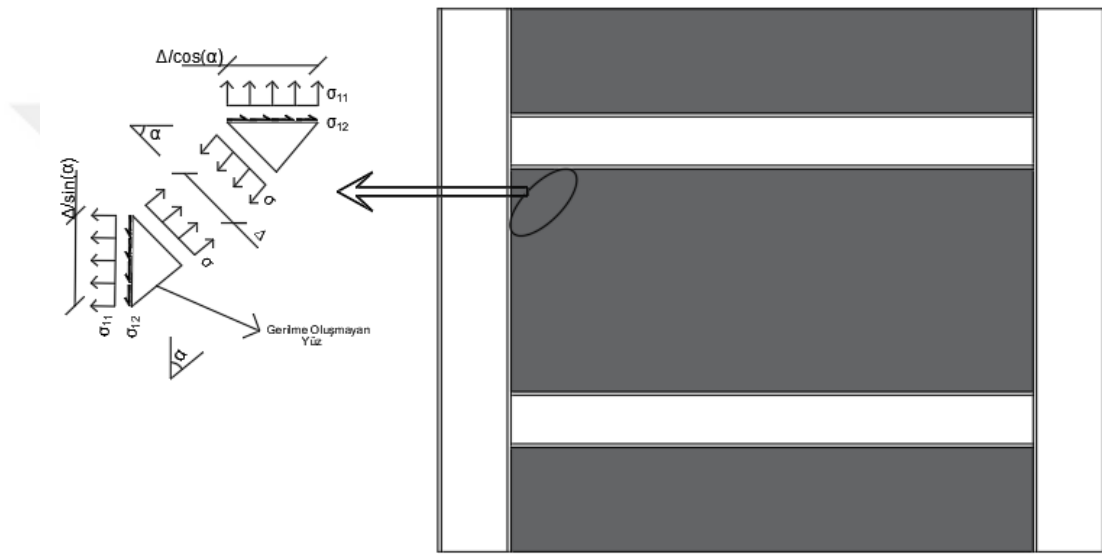
$$I_{DSE} = 171000 * 10^4 \text{ mm}^4 \geq 0.00307 * \frac{1 * 4000^4}{5000} = 15718 * 10^4 \text{ mm}^4$$

3.6.9 Güçlü DSE zayıf YSE kontrolü

Çelik plakalı perde duvar sistemlerinde güçlü kolon-zayıf kiriş kontrolü yapılırken, sisteme bitişik halde bulunan kirişlerin de plastik moment kapasitesi dikkate alınması gerektiğinden bu bölümde bu kontrol yapılmamıştır. Bir sonraki bölümdeki çok katlı yapı için hesap gösterilmiştir.

3.6.10 Çelik plakanın sınır elemanlarına bağlantısı

Çelik plakalı perde duvar sistemlerinde çelik plakanın sınır elemanları üzerinde oluşturduğu gerilmeler:



Şekil 3.8: Sınır elemanları üzerinde oluşan gerilmeler (AISC Design Guide 20,2006).

$$a_{plk(YSE)} = \frac{R_y * F_y * \cos(\alpha) * t_{plk} * \sqrt{2}}{\phi * 0.6 * F_{EXX} * (1 + 0.5 * \cos^{1.5}(\alpha))} \quad (3.28)$$

$$a_{plk(DSE)} = \frac{R_y * F_y * \sin(\alpha) * t_{plk} * \sqrt{2}}{\phi * 0.6 * F_{EXX} * (1 + 0.5 * \sin^{1.5}(\alpha))} \quad (3.29)$$

Formüle göre:

$$a_{plk(YSE)} = \frac{1.4 * 235 * \cos(39.42) * 1 * \sqrt{2}}{\phi * 0.6 * 490 * (1 + 0.5 * \cos^{1.5}(39.42))} = 1.01 \text{ mm}$$

$$a_{plk(DSE)} = \frac{1.4 * 235 * \sin(39.42) * 1 * \sqrt{2}}{\phi * 0.6 * 490 * (1 + 0.5 * \sin^{1.5}(39.42))} = 0.89 \text{ mm}$$

3.6.11 YSE-DSE başlıklarının sınırladığı kayma bölgesinin gerekli kesme dayanımı

$$V_{up} = \sum M_f \left(\frac{1}{d_{YSE} - t_{fYSE}} - \frac{1}{h} \right) \quad (3.30)$$

Formüle göre:

$$V_{up} = 1914.31 * \left(\frac{1}{0.6 - 0.019} - \frac{1}{4} \right) = 2816.28 \text{ kN}$$

YSE-DSE arasındaki diğer bağlantılar moment aktaran çerçevedeki bağlantılarla aynı olduğundan gösterilmemiştir.

3.6.12 DSE bağlantıları

3.6.12.1 DSE-DSE birleşim bağlantıları

Çelik yapılarda hem fabrika üretimi hem de taşıma sorununu çözmek için kullanılan bu bağlantılar, kapasite prensibine göre hesaplanır ve dizayn edilir. Bağlantı üzerindeki eksenel yük, kesme kuvveti ve eğilme momenti değeri daha önceden düşey sınır elemanı üzerindeki hesaplanan değerler olarak kullanılabilir. Bu sistem için:

Basınç Kuvveti: 1901.8 kN

Çekme Kuvveti: 1192.4 kN

Kesme Kuvveti: 662.43 kN

Eğilme Momenti: 1671.22 kNm

3.6.12.2 DSE taban plakası bağlantıları

Çelik plakalı perde duvar sistemlerindeki DSE üzerindeki yükü temele aktarmak için kullanılan bu bağlantılar, kapasite prensibine göre hesaplanır ve dizayn edilir. Bağlantı üzerindeki eksenel yük, kesme kuvveti ve eğilme momenti değeri daha önceden düşey sınır elemanı üzerindeki hesaplanan değerler olarak kullanılabilir. Bu sistem için:

Basınç Kuvveti: 1901.8 kN

Çekme Kuvveti: 1192.4 kN

Kesme Kuvveti: 662.43 kN

Eğilme Momenti: 1671.22 kNm

3.6.13 Sistem ötelenmesi

Çelik plakalı perde duvar sistemlerinde zayıf noktalardan biri olmasa da sistemin ötelenmesi kabul edilebilir seviyelerde sınırlandırılmalıdır. Yapılan deneylerde, bu sınırların üstüne çıkıldığında rahatsız edici seslerin meydana geldiği, yatay ve düşey sınır elemanlarında elastik olmayan hasarların oluştuğu ve yüksek plastik dönmeler gözlemlenmiştir.

3.6.14 Sınır elemanlarının dayanıma minimum katkısı

AISC 341-16 yönetmeliğinin çelik plakalı perde duvar sistemlerinin dayanım hesabı kısmında; sisteme etkileyen kesme kuvvetine karşı sadece çelik plakanın dayanım gösterdiği varsayımı yapılırsa da, tüm hesaplamalar yapıp sistem tasarımı bitirildikten sonra sınır elemanlarının sistem dayanımında en az yüzde 25 katkısı olması koşulu verilmektedir. Bu hesaplamalar bu bölümde gösterilmemiş olup 5. bölümde gösterilmiştir

3.6.15 Diğer hesaplamalar

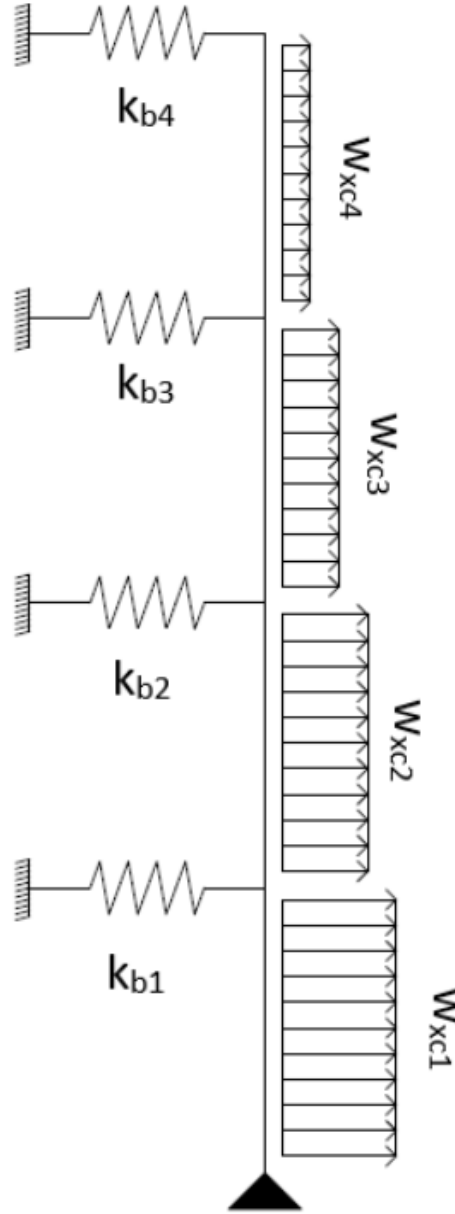
Bu bölümde çelik plakalı perde duvar sisteminin temel hesaplamaları gösterilmiş olup, sünek bir sistem elde etmek için yapılacak adımlar gösterilmiş ve tasarımların hepsinin detayına girilmemiştir. Bu hesaplamaların dışında, mevcut yönetmelikler kullanılarak yapılacak diğer hesaplar, çelik plakalı perde duvar sistemlerinde temel hesapları ve YSE-DSE arası hesapta gösterilmemiştir.

3.6.16 Düşey sınır elemanı tasarımında çözüm seçenekleri

3.6.16.1 Elastik yay tanımı

Yatay sınır elemanı üzerine elastik yay tanımlanarak yapılan bu dizaynda, çelik plakanın düşey sınır elemanı üzerindeki etkisi kullanılarak yatay sınır elemanı üzerindeki eksenel kuvvet ve düşey sınır elemanı üzerindeki kesme kuvveti ile eğilme momenti hesaplanabilir. Elde edilen sonuçlar kesin sonuçlar olmasa da mantıklı sonuçlar elde edilebilir.

Çok katlı yapılarda zeminde yatay sınır elemanı kullanılırsa, bu tasarım için düşey sınır elemanı zemine sabitlendiğinden elastik yay tanımlanmasına gerek görülmez.



Şekil 3.9: Çelik plakalı perde duvar sistemlerinde elastik yay tanımı. (Ductile Design of Steel Structures, 2011)

$$k_{bi} = \frac{A_{YSE} * E}{L/2} \quad (3.31)$$

$$w_{xc} = R_y * F_y * t_{plk} * \sin^2(\alpha) \quad (3.32)$$

3.6.16.2 Çelik plakalı perde duvar sistemlerinde itme analizi

Yatay ve düşey sınır elemanları üzerindeki kuvvetleri bulmak için kullanılan bu yöntem, makul sonuçlar verse de birçok tekrar ve varsayım gerektirdiğinden zaman kaybettiren bir yöntem olarak görülür. Kapasite tasarımına göre elde edilen değerlere

yakın bir değ er elde edilebilecek bu yöntemle elde edilen sonuçları kar ıla tırmak,
hesap güvenilirliğini sağlamak için kullanılabilir





4. ÇOK KATLI YAPIDA ÇELİK PLAKALI PERDE DUVAR SİSTEMİ

4.1 Yapının Tanımlanması

Bu bölümde 4 katlı bir ofis yapısı ana yatay taşıyıcı sistemlerinden biri çelik plakalı perde duvar sistemi olarak çözülecektir. Yapıda yatay ve düşey kuvvetler yönetmeliklere uygun olarak hesaplanacak ve etkiletilecek, daha sonra yapının detaylı incelemesi yapılarak çelik plakalı perde duvar sisteminin yapı elemanı olarak kullanılmasının yararları gösterilecektir.

Sistemin düşey yüklerinde "Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri(TS498) ", rüzgar yükünde EN 1991-1-4:2005 Wind Actions, deprem yükünde ise Türkiye Bina Deprem yönetmeliği 2018 (TBDY 2018) ve Amerikan Çelik Yapılarda Sismik Koşullar 2016 (AISC 341-16) kullanılacaktır. Hesapların karmaşıklığı açısından sadece temel değerler verilecek ve detaylı hesaplamalar gösterilmeyecektir. Sistem için yük kombinasyonları, Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları yönetmeliğinden alınacaktır.

Yapı imalat çizimlerinde Revit 2019 kullanılmış olup yapı sisteminin analizi için SAP2000 yazılımı ile yapılmıştır.

4.2 Yapı Sistemi Bilgileri

4.2.1 Genel özellikler

Yapı 4 katlı bir ofis yapısı olup yatay ve düşey yük taşıyıcıları çelik olarak tasarlanmıştır. Yapının uzun doğrultusunun uzunluğu 24 m olup kısa doğrultusunun uzunluğu 18 m olarak tasarlanmıştır. Yapının kısa ve uzun doğrultusunda yatay taşıyıcı sistem olarak çelik plakalı perde duvar sistemi kullanılmıştır.

Kullanılan Malzemeler:

- S235
- S275
- S355

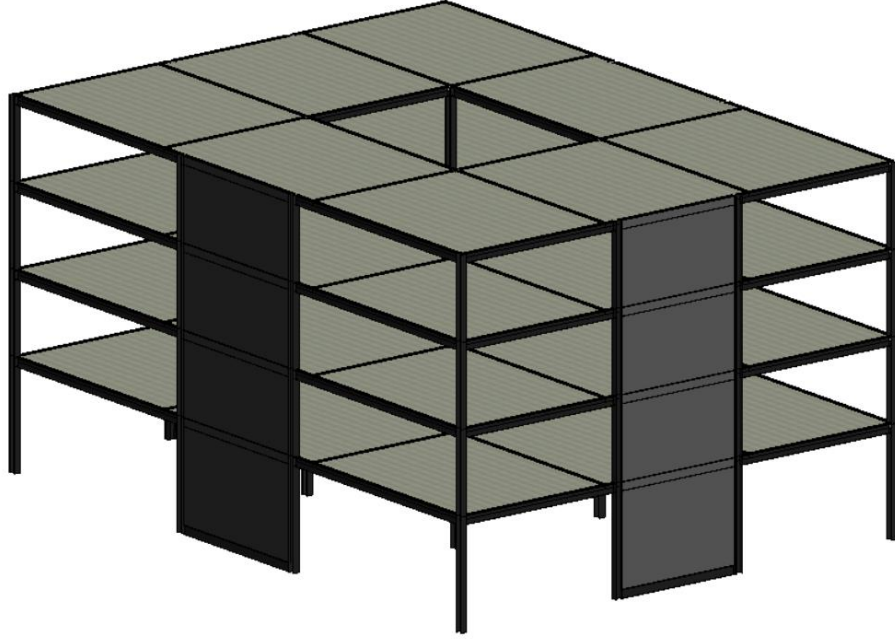
Sistem Yükleri:

- Ölü Yük
- Hareketli Yük
- Rüzgar Yükü
- Deprem Yükü
- Kar Yükü

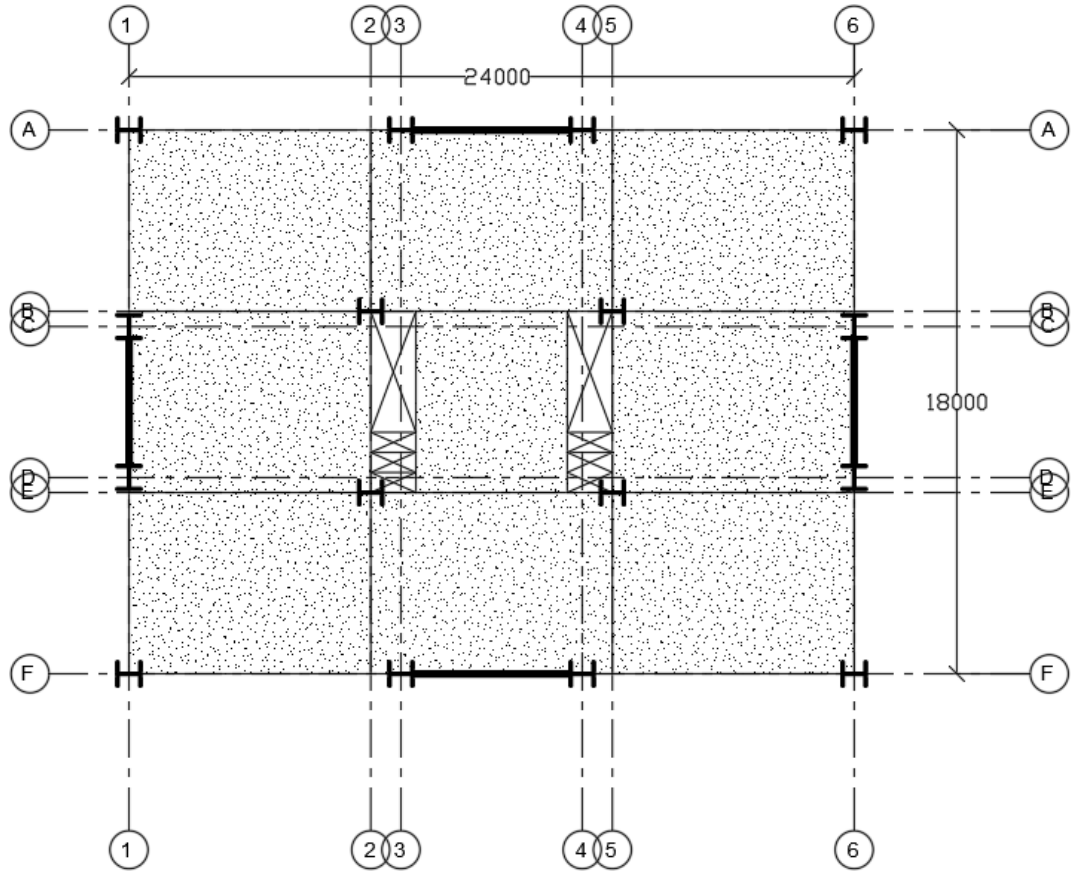
Çizelge 4.1: Yapı üzerindeki yükler.

Ölü Yük	Hareketli Yük	Rüzgar Yükü	Deprem Yükü
Normal Kat Döşeme Yükü (DL Floor)	Normal Kat Hareketli Yük (LLFloor)	X Doğrultusu Rüzgar Yükü (Wxp, Wxn)	X Doğrultusu Eksantriksiz (Exp, Exn)
Çatı Katı Döşeme Yükü (DL Roof)	Çatı Katı Hareketli Yük (LLRoof)	Y Doğrultusu Rüzgar Yükü (Wyp, Wyn)	Y Doğrultusu Eksantriksiz (Eyp, Eyn)
Duvar Yükü (Wall)			X Doğrultusu Eksantrikli (Expep, Expen,Exnep,Exnen)
Çatı Katı Parapet Yükü (Wall)			Y Doğrultusu Eksantrikli (Eypep,Eypen, Eynep,Eynen)

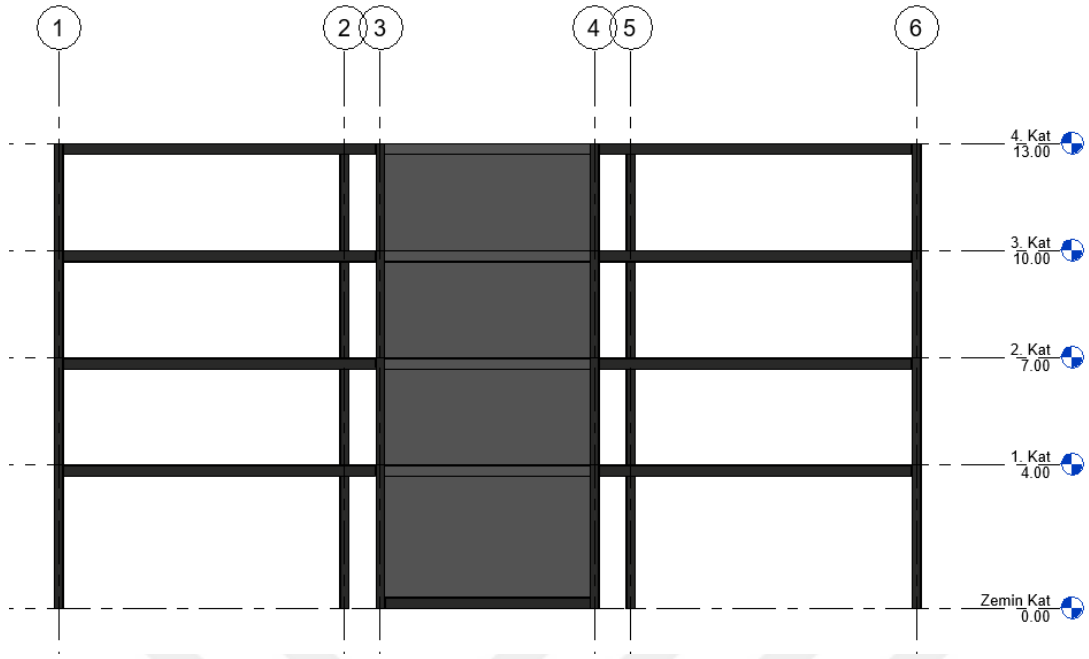
Bu yüklere ek olarak kar yükü ile ölü ve hareketli yüklerin 0.002 katı değerinde kavramsal yükler etkitilmiştir.



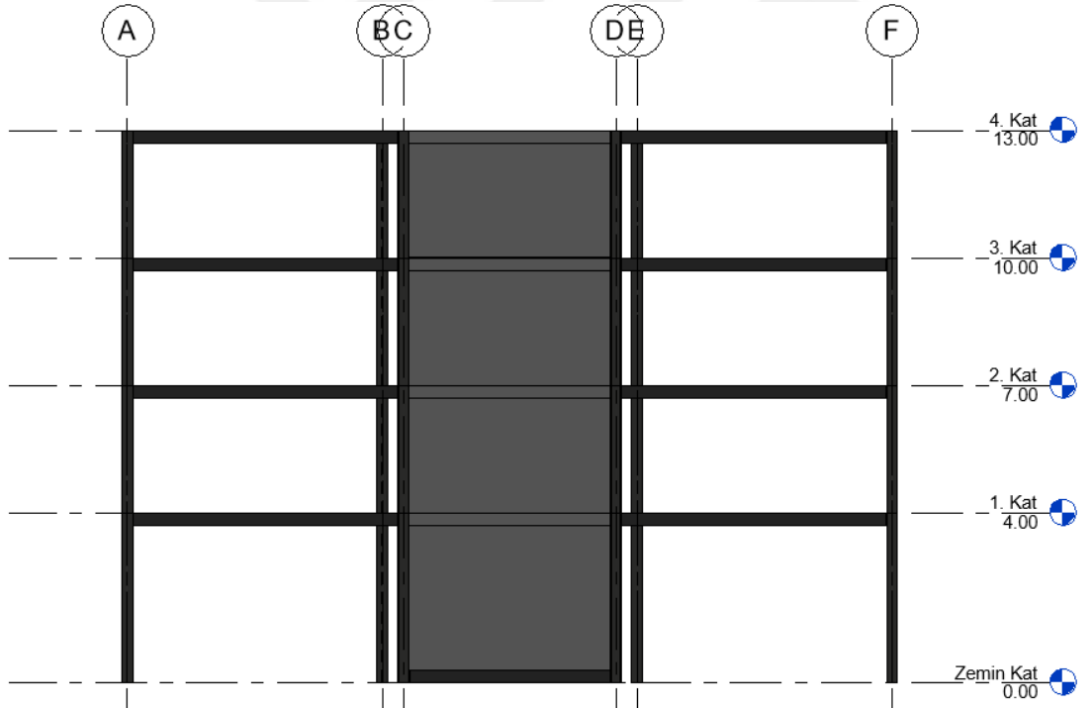
Şekil 4.1: Yapının 3 Boyutlu Görünümü.



Şekil 4.2: Yapının Planı.



Şekil 4.3: Yapının X Doğrultusu Kesiti.



Şekil 4.4: Yapının Y Doğrultusu Kesiti.

4.2.2 Tasarım Kriterleri

- Dayanım ve şekil değiştirme gereklilikleri “Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği” ve “Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları” yönetmelikleri baz alınarak yerine getirilmiştir.
- Tüm elemanlardaki gerilme değerleri, eleman malzeme ve kesit özelliklerine göre yönetmeliklerde izin verilen değerlerin altında tutulmuştur.
- Elemanlardaki lokal ve yapıdaki global şekil değiştirmeler, yönetmeliklerdeki limit değerlerin altında tutulmuştur.
- Tüm elemanlar kesme, eğilme momenti ve eksenel kuvvet değerleri dikkate alınarak boyutlandırılmıştır.

4.2.3 Tasarım Yönetmelikleri

Çizelge 4.2: Tasarım yönetmelikleri.

Disiplin	Participation Factor (Γ)
Genel	Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY 2018)
	Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları (2018)
	Minimum Design Loads for Building and Other Structures (ASCE 7-16)
	Seismic Provision for Structural Steel Buildings (AISC 341-16)
	Specification for Structural Steel Buildings (ASIC 360-16)
Yükleme	Düşey Yükler: Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri
	Deprem Yükü: Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği
	Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures (ASCE 7-16)
	Rüzgar Yükü: Yapılar Üzerindeki Etkiler –Bölüm 1-4 – Genel Etkiler – Rüzgar Etkileri (Eurocode 1)
	Rüzgar Yükü: Yapılar Üzerindeki Etkiler –Bölüm 1-3 – Genel Etkiler – Kar Yükü (Eurocode 1)
Çelik Dizaynı	Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları (2018) Seismic Provision for Structural Steel Buildings (AISC 341-16)

4.2.4 Malzeme Özellikleri

Malzeme katsayıları Eurocode 3 yönetmeliğinin 3.2.6 bölümünden baz alınarak yazılım içinde uygulanmıştır.

3.2.6 Design values of material coefficients

(1) The material coefficients to be adopted in calculations for the structural steels covered by this Eurocode Part should be taken as follows:

- modulus of elasticity $E = 210\,000\text{ N/mm}^2$
- shear modulus $G = \frac{E}{2(1+\nu)} \approx 81\,000\text{ N/mm}^2$
- Poisson's ratio in elastic stage $\nu = 0,3$
- coefficient of linear thermal expansion $\alpha = 12 \times 10^{-6}\text{ per }K$ (for $T \leq 100\text{ }^\circ\text{C}$)

NOTE For calculating the structural effects of unequal temperatures in composite concrete-steel structures to EN 1994 the coefficient of linear thermal expansion is taken as $\alpha = 10 \times 10^{-6}\text{ per }K$.

Şekil 4.5: Kullanılan malzeme özellikleri.

4.2.5 Yapısal Malzeme

Yazılım içerisinde BS EN 10025-2 baz alınarak oluşturulmuş malzemelerin öngörülen, karakteristik ve katsayılarla değiştirilmemiş değerleri:

Table 7 - Mechanical properties at ambient temperature for flat and long products of steel grades and qualities with values for the impact strength

Designation		Minimum yield strength R_{eH}^a MPa ^b									Tensile strength R_m^a MPa ^b				
According EN 10027-1 and CR 10260	According EN 10027-2	Nominal thickness mm									Nominal thickness mm				
		≤ 16	> 16 ≤ 40	> 40 ≤ 63	> 63 ≤ 80	> 80 ≤ 100	> 100 ≤ 150	> 150 ≤ 200	> 200 ≤ 250	> 250 $\leq 400^c$	< 3	≥ 3 ≤ 100	> 100 ≤ 150	> 150 ≤ 250	> 250 $\leq 400^c$
S235JR	1.0038	235	225	215	215	215	195	185	175	-	360 to 510	360 to 510	350 to 500	340 to 490	-
S235J0	1.0114	235	225	215	215	215	195	185	175	-	360 to 510	360 to 510	350 to 500	340 to 490	-
S235J2	1.0117	235	225	215	215	215	195	185	175	165	360 to 510	360 to 510	350 to 500	340 to 490	330 to 480
S275JR	1.0044	275	265	255	245	235	225	215	205	-	430 to 580	410 to 560	400 to 540	380 to 540	-
S275J0	1.0143	275	265	255	245	235	225	215	205	-	430 to 580	410 to 560	400 to 540	380 to 540	-
S275J2	1.0145	275	265	255	245	235	225	215	205	195	430 to 580	410 to 560	400 to 540	380 to 540	380 to 540
S355JR	1.0045	355	345	335	325	315	295	285	275	-	510 to 680	470 to 630	450 to 600	450 to 600	-
S355J0	1.0553	355	345	335	325	315	295	285	275	-	510 to 680	470 to 630	450 to 600	450 to 600	-
S355J2	1.0577	355	345	335	325	315	295	285	275	265	510 to 680	470 to 630	450 to 600	450 to 600	450 to 600
S355K2	1.0596	355	345	335	325	315	295	285	275	265	510 to 680	470 to 630	450 to 600	450 to 600	450 to 600
S450J0 ^d	1.0590	450	430	410	390	380	380	-	-	-	-	550 to 720	530 to 700	-	-

^a For plate, strip and wide flats with widths ≥ 600 mm the direction transverse (t) to the rolling direction applies. For all other products the values apply for the direction parallel (l) to the rolling direction.

^b 1 MPa = 1 N/mm².

^c The values apply to flat products.

^d Applicable for long products only.

Şekil 4.6: Yapısal malzeme özellikleri.

4.3 Düşey Yükler ve Tali Kirişler

- Çatı Katı Döşemesi Yükleri

Çizelge 4.3: Çatı katı döşeme yükleri.

Yükleme Cinsi	Yükleme Değeri
Döşeme Kaplama	0.5 kN/m ²
İzolasyon	0.4 kN/m ²
Trapez Sac + Betonarme Döşeme	2.1 kN/m ²
Alüminyum Asma Tavan + Tesisat	0.5 kN/m ²
Çelik Konstrüksiyon	0.5 kN/m ²
Toplam	4 kN/m²

Bu yüklerin dışında çatı katında parapet yükü, 2kN/m olarak kabul edilmiştir.

- Normal Kat Döşeme Yükleri

Çizelge 4.4: Normal kat döşeme yükleri.

Yükleme Cinsi	Yükleme Değeri
Döşeme Kaplama	0.5 kN/m ²
Trapez Sac + Betonarme Döşeme	2.1 kN/m ²
Alüminyum Asma Tavan + Tesisat	0.5 kN/m ²
Bölme Duvarlar	1 kN/m ²
Çelik Konstrüksiyon	0.8 kN/m ²
Toplam	4.9 kN/m²

Bu yüklerin dışında çatı katında parapet yükü, 3kN/m olarak kabul edilmiştir.

4.4 Hareketli Yükler

Ofis olarak kullanılacak yapı için “Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri (TS 498)” yönetmeliği dikkate alınarak hareketli yük $200 \text{ kg/m}^2 \cong 2 \text{ kN/m}^2$ kabul edilmiştir.

4.5 Kar Yükü

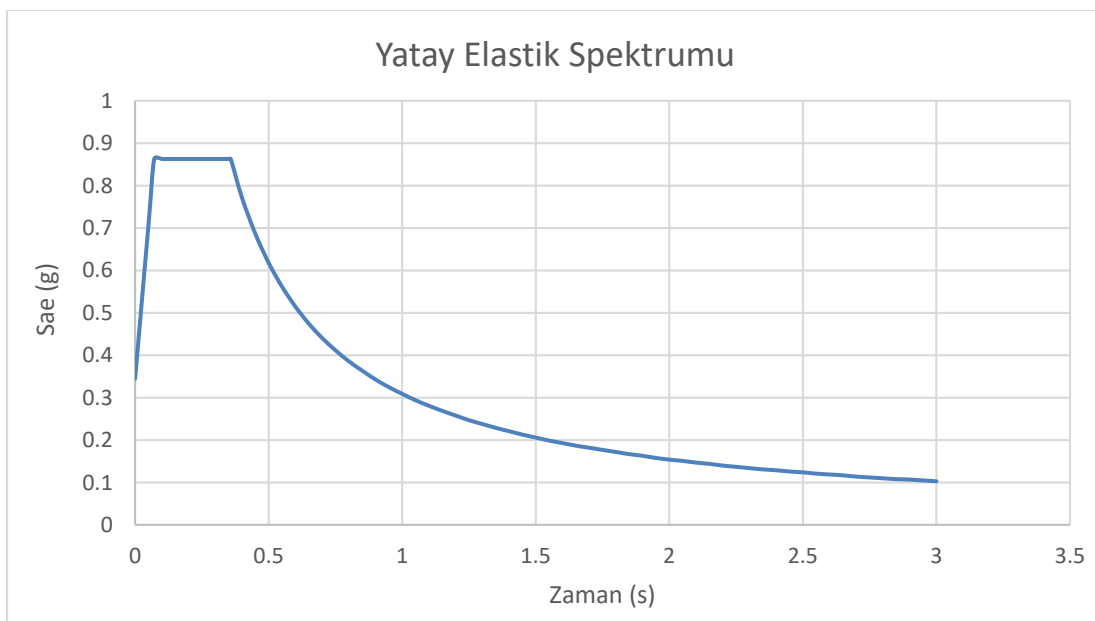
TS EN 1-3'e 5. bölüm'e göre çatıdaki kar yükü (İstanbul için kar yüksekliği = 75 cm) :

$$0.8 * (2 \text{ kN/m}^3 * 0.75) = 1.2 \text{ kN/m}^2$$

4.6 Deprem Yükü

Deprem yükü hesabı TBDY 2018 yönetmeliğine göre hesaplanmış olup hesaplama detayları gösterilmemiştir. Deprem hesabında eşdeğer deprem yükü yöntemi kullanılmıştır. Temel değerler gösterilip hesaplama adımları gösterilmemiştir. Deprem yükünün yapı için taşıyıcı sistem davranış katsayısı seçiminde ASCE yönetmeliğine başvurulmuştur. (Yapı Konumu: Enlem: 41.1077° , Boylam: 29.0214°)

- Bina Önem Katsayısı (TBDY 2018 Tablo 3.1) = 1
- Zemin Sınıfı = ZC
- Kısa Periyot için Spektral İvme Katsayısı = 0.71
- Spektral İvme Katsayıları : $S_{DS} = 0.863$, $S_{D1} = 0.309$
- Yatay Tasarım Spektrumu Köşe periyotları: $T_A = 0.072 \text{ s}$, $T_B = 0.36 \text{ s}$, $T_L = 6 \text{ s}$
- Tasarım İvme Spektral Katsayısı = 0.206



Şekil 4.7: DD-2 deprem düzeyi yatay elastik tasarım spektrumu.

- Deprem Tasarım Sınıfı (TBDY 2018 Tablo 3.2) = 1
- Bina Yükseklik Sınıfı (TBDY 2018 Tablo 3.3) = 6
- Bina Performans Hedefi (TBDY 2018 Tablo 3.4.a) = Kontrollü Hasar (KH) , Dayanıma göre Tasarım (DGT)
- Yapıda Düzensizlik Durumu (TBDY 2018 Tablo 3.6) = A ve B Tipi Düzensizlik yok
- Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı (ASCE 7-16 Tablo 12.14-1) = 7
- Kat Ağırlıkları

Çizelge 4.5: Kat ağırlıkları.

Kat İsmi	Ağırlık (kN)	Kütle (kN*s/m)
1. Kat	2628	267.89
2. Kat	2628	267.89
3. Kat	2628	267.89
4. Kat	2155.2	219.7
Toplam	10039.2	1023.37

- X Doğrultusu Yapının Doğal Titreşim Periyodu: 0.44 s
- Y Doğrultusu Yapının Doğal Titreşim Periyodu: 0.43 s
- X Doğrultusu Toplam Eşdeğer Deprem Yüğü:

$$m_t * S_{Ae} * (T_p^x) = 1007.19 kN > 0.04 * m_t * I * S_{DS} * g = 346.56 kN$$
- Y Doğrultusu Toplam Eşdeğer Deprem Yüğü:

$$m_t * S_{Ae} * (T_p^y) = 1030.61 kN > 0.04 * m_t * I * S_{DS} * g = 346.56 kN$$
- X Doğrultusu Yapının Tepesine Etkiyen Ek Eşdeğer Deprem Yüğü:

$$0.0075 * N * V_{tE}^x = 30.22 kN$$
- Y Doğrultusu Yapının Tepesine Etkiyen Ek Eşdeğer Deprem Yüğü:

$$0.0075 * N * V_{tE}^y = 30.92 kN$$

- X Doğrultusu Katlara Etkiyen Deprem Yüğü

Çizelge 4.6: X doğrultusu katlara etkiyen deprem yüğü.

Kat İsmi	h_i (m)	H_i (m)	$W_i * H_i$ (kNm)	Oran	$F_{ie}^{(X)}$ (kN)
4. Kat	3	13	28017	0.337	329.24 + 30.22
3. Kat	3	10	26280	0.316	308.72
2. Kat	3	7	18396	0.221	215.91
1. Kat	4	4	10512	0.126	123.1
Toplam	13	-	83205	1	1007.19

- Y Doğrultusu Katlara Etkiyen Deprem Yüğü

Çizelge 4.7: Y doğrultusu katlara etkiyen deprem yüğü.

Kat İsmi	h_i (m)	H_i (m)	$W_i * H_i$ (kNm)	Oran	$F_{ie}^{(Y)}$ (kN)
4. Kat	3	13	28017	0.337	336.9 + 30.92
3. Kat	3	10	26280	0.316	315.9
2. Kat	3	7	18396	0.221	220.93
1. Kat	4	4	10512	0.126	125.96
Toplam	13	-	83205	1	1030.61

- Düşey Deprem Etkisi:

$$E_d^Z = \frac{2}{3} * S_{DS} * G = 0.575 G$$

$$G (1.2 + 0.3 * 0.575) = 1.37 G$$

$$G (0.9 - 0.3 * 0.575) = 0.73 G$$

Düşey deprem etkisiyle yapı üzerindeki kombinasyonlar, $1.37 G + 0.5 Q + 0.2 S + E_d^H$ ve $0.73 G + H + E_d^H$ kombinasyonlarına dönüştürülmüştür.

Not 1: Yapı; geometrik ve rijitlik olarak simetrik olsa da yönetmeliğe göre çevresel faktörler dikkate alınarak % 5, ek dışmerkezlilik sistem modeli üzerinde etkitilecektir

Not 2: ASCE 7-16 Bölüm 12.3.4.2'ye göre yapı sisteminde sismik kuvvet dayanımı bir doğrultuda tek açıklıklı çelik plakalı perde duvar sistemleri tarafından sağlandığından, yapı üzerindeki deprem kuvveti 1.3 "taşıyıcı sistemin çok bağlı olması faktörü (redundancy factor)" ile çarpılarak etkitilecektir. Revize edilmiş deprem kuvvetleri:

Çizelge 4.8: Revize edilmiş deprem yükleri.

Kat İsmi	X Doğrultusu (kN)	Y Doğrultusu (kN)
1. Kat	467.3	478.17
2. Kat	401.34	410.67
3. Kat	280.68	287.21
4. Kat	160	163.75
Toplam	1309.32	1339.8

4.7 Rüzgar Yüğü

Rüzgar yüğü hesabı TS EN 1991-1-4 yönetmeliğine göre hesaplanmış olup hesaplama detayları gösterilmemiştir. Temel değerler gösterilip hesaplama adımları gösterilmemiştir.

- Esas Rüzgar Hızı (TS EN 1991-1-4 Denklem 4.1) = 28 m/s
- Arazi Kategorisi (TS EN 1991-1-4 Çizelge 4.1) = 4 ($z_0 = 1$, $z_{enküçük} = 10$)
- Ortalama Rüzgar Hızı (TS EN 1991-1-4 Denklem 4.3)

Çizelge 4.9: Ortalama rüzgar hızı.

Yükseklik	$C_r(z)$	V_b (m/s)	V_m (m/s)
4 m	0.33	28	9.24
7 m	0.46	28	12.88
10 m	0.54	28	15.12
13 m	0.6	28	16.8

- Rüzgar Türbülansı (TS EN 1991-1-4 Denklem 4.6 ve 4.7)

Çizelge 4.10: Rüzgar türbülansı.

Yükseklik (m)	σ_v	$V_m(z)$ (m/s)	$I_v(z)$
4 m	6.56	9.24	0.72
7 m	6.56	12.88	0.51
10 m	6.56	15.12	0.44
13 m	6.56	16.8	0.39

- Maximum Hız Basıncı (TS EN 1991-1-4 Bölüm 4.5)

Çizelge 4.11: Rüzgar basıncı.

Yükseklik	p (Hava Yoğunluğu)	$I_v(z)$	$V_m(z)$
4 m	1.25 kg/m ³	0.72	9.24
7 m	1.25 kg/m ³	0.51	12.88
10 m	1.25 kg/m ³	0.44	15.12
13 m	1.25 kg/m ³	0.39	16.8

- X Doğrultusunda Rüzgar Basıncı: $b= 18 \text{ m}$, $h= 13 \text{ m}$, $d= 24 \text{ m}$, $e=\min(b,2h)$
 $= 18 \text{ m}$

Çizelge 4.12: X doğrultusunda rüzgar basıncı.

Bölge	A	B	C	D	E
h/d	$C_{pe,1}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,1}$
0.54	-1.4	-1.1	-0.5	+1	-0.38

- Y Doğrultusunda Rüzgar Basıncı: $b= 24 \text{ m}$, $h= 13 \text{ m}$, $d= 18 \text{ m}$, $e=\min(b,2h)$
 $= 24 \text{ m}$

Çizelge 4.13: Y doğrultusunda rüzgar basıncı.

Bölge	A	B	C	D	E
h/d	$C_{pe,1}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,1}$	h/d
0.72	-1.4	-1.1	+1	-0.41	0.72

4.8 Çelik Plakalı Perde Duvar Sisteminin Özellikleri

- X-Z Düzlemi çelik plakalı perde duvar sistemi boyutları

Çizelge 4.14: X-Z düzlemi çelik plakalı perde duvar sistemi boyutları.

Kat Seviyesi	Uzunluk (mm)	Yükseklik (mm)	L_{cf} (mm)
1. Kat	6000	4000	5380
2. Kat	6000	3000	5400
3. Kat	6000	3000	5400
4. Kat	6000	3000	5450

- Y-Z Düzlemi çelik plakalı perde duvar sistemi boyutları

Çizelge 4.15: Y-Z düzlemi çelik plakalı perde duvar sistemi boyutları.

Kat Seviyesi	Uzunluk (mm)	Yükseklik (mm)	L _{cf} (mm)
1. Kat	5000	4000	4380
2. Kat	5000	3000	4400
3. Kat	5000	3000	4450
4. Kat	5000	3000	4500

- X-Z Düzlemi çelik plaka özellikleri

Çizelge 4.16: X-Z düzlemi çelik plaka özellikleri.

Kat Seviyesi	Çekme Şeritleri Açısı	Çelik Plaka Kalınlığı
1. Kat	40°	1.5 mm
2. Kat	40°	1.4 mm
3. Kat	40°	1 mm
4. Kat	40°	0.6 mm

- Y-Z Düzlemi çelik plaka özellikleri

Çizelge 4.17: Y-Z düzlemi çelik plaka özellikleri.

Kat Seviyesi	Çekme Şeritleri Açısı	Çelik Plaka Kalınlığı
1. Kat	40°	2.2 mm
2. Kat	40°	1.9 mm
3. Kat	40°	1.4 mm
4. Kat	40°	0.8 mm

- X-Z Düzlemi Sınır Elemanı Profil Kesitleri

Çizelge 4.18: X-Z düzlemi sınır elemanı profil kesitleri.

Kat Seviyesi	Çekme Şeritleri Açısı	Çelik Plaka Kalınlığı
Zemin Seviyesi	IPE 750x134	-
1. Kat	IPE 450	HEM 600
2. Kat	IPE 550	HEB 600
3. Kat	IPE 550	HEB 600
4. Kat	IPE 600	HEB 550

- Y-Z Düzlemi Sınır Elemanı Profil Kesitleri

Çizelge 4.19: Y-Z düzlemi sınır elemanı profil kesitleri.

Kat Seviyesi	Çekme Şeritleri Açısı	Çelik Plaka Kalınlığı
Zemin Seviyesi	IPEV 550	-
1. Kat	IPE 550	HEM 600
2. Kat	IPE 550	HEB 600
3. Kat	IPE 550	HEB 550
4. Kat	IPE 550	HEB 500

4.9 Çelik Plakalı Perde Duvar Sistemi Tasarımında Kullanılan Formüller

Bir önceki bölümde çelik plakalı perde duvar sisteminin tekil olarak çözümü gösterilmişti. Yapı sistemlerinde tasarım yapılırken; katların duvar sistemlerinin birbirleri üzerinde etkileri dikkate alınarak tasarım yapılmalıdır. Bu bölümde bu formüller gösterilmiş olup hesap kısımları gösterilmemiştir.

4.9.1 Çelik plakalı perde duvar sisteminin kontrolleri

- Çelik Plakalı Perde Duvar Sisteminde Geometri Gereksinimi

$$2.5 > L/h \geq 0.8 \quad (4.1)$$

Örneğin Y-Z Düzlemi 3. Katta:

$$2.5 > 5000/3000 = 1.67 \geq 0.8$$

- Yatay sınır elemanının sahip olması gereken atalet momenti kontrolü

$$I_{YSE} \geq 0.003 * \frac{\Delta t_{plk} * L^4}{h} \quad (4.2)$$

Örneğin X-Z Düzlemi 2. Katta (IPE 550):

$$I_{YSE} = 67120 * 10^4 mm^4 \geq 0.003 * \frac{(1.4 - 1) * 6000^4}{3000} = 51840 * 10^4 mm^4$$

- Yatay sınır elemanının sahip olması gereken gövde kalınlığı kontrolü

$$t_{gYSE} \geq \frac{t_{plk} * R_y * F_{yplk}}{F_{yYSE}} \quad (4.3)$$

Örneğin X-Z Düzlemi 3. Katta (IPE 550):

$$t_{gYSE} = 11.1 mm \geq \frac{1.4 * 1.4 * 235}{355} = 1.3 mm$$

- Düşey sınır elemanının sahip olması gereken atalet momenti

$$I_{DSE} \geq 0.00307 * \frac{t_{plk} * h^4}{L} \quad (4.4)$$

Örneğin Y-Z Düzlemi 3. Katta (HEB 600):

$$I_{DSE} = 171000 mm^4 \geq 0.00307 * \frac{1 * 3000^4}{6000} = 4144.5 * 10^4 mm^4$$

4.9.2 Çelik plaka dizaynı

- Çelik Plakanın Kesme Kuvveti Dayanımı

$$\phi V = 0.42 * F_y * t_{plk} * L_{cf} * \sin(2\alpha) \quad (4.5)$$

Yapı sisteminde α açısı, hesabı yapılmadan AISC 341-16 yönetmeliğinin izin verdiği değer olan 40° olarak belirlenmiştir. X-Z Düzlemi 4. Katta (0.6 mm çelik plaka):

$$\phi V = 0.9 * 0.42 * 235 * 0.6 * 5450 * \sin(2 * 40) = 286.12 kN > 208.73 kN$$

Kesme kuvveti değeri $1.37G + Q + 0.2S + \text{Expen} + 0.3E_{yp}$ kombinasyonunda elde edilmiştir.

4.9.3 Yatay sınır elemanı tasarımı

- Yatay sınır elemanının sahip olması gereken moment dayanımı gereksinimi

$$M_u = \frac{w * L_{cf}}{4} \quad (4.6)$$

$$w = w_{yYSE} + w_g \quad (4.7)$$

$$w_{yYSE} = R_y * F_y * ((t_{plk(i)} - t_{plk(i+1)}) * \cos^2(\alpha)) \quad (4.8)$$

Örneğin Y-Z Düzlemi 2. Katta:

$$w_{yYSE} = 1.4 * 235 * ((1.9 - 1) * \cos^2 40) = 173.76 \text{ kN/m}$$

$$w_g = 3 \text{ kN/m (Duvar Yüğü)}$$

$$w = 173.76 + 3 = 176.76 \text{ kN/m}$$

$$M_u = \frac{176.76 * 4.4^2}{4} = 855.41 \text{ kNm}$$

- Yatay sınır elemanının sahip olması gereken eksenel kuvvet dayanımı gereksinimi

$$P_{YSE} = P_{YSE(DSE)} \pm \frac{1}{2} P_{YSE(plk)} \quad (4.9)$$

$$P_{YSE(DSE)} = \frac{1}{2} * h_{DSE} * R_y * F_y * (t_{plk(i)} + t_{plk(i+1)}) * \sin^2(\alpha) \quad (25)$$

$$P_{YSE(plk)} = \frac{1}{2} * L_{cf} * R_y * F_y * (t_{plk(i)} * \sin(2\alpha_{(i)}) - t_{plk(i+1)} * \sin(2\alpha_{(i+1)})) \quad (4.11)$$

Örneğin X-Z Düzlemi 1. Katta:

$$P_{YSE(DSE)} = \frac{1}{2} * 4000 * 1.4 * 235 * (1.5 + 1.4) * \sin^2(40) = 788.94 \text{ kN}$$

$$P_{YSE(plk)} = \frac{1}{2} * 5380 * 1.4 * 235 * (1.5 * \sin(2 * 40) - 1.4 * \sin(2 * 40)) \\ = 87.16 \text{ kN}$$

Yatay sınır elemanının sol tarafındaki eksenel kuvvet dayanımı gereksinimi

$$P_{YSE} = 788.94 + \frac{1}{2} * 87.16 = 832.52 \text{ kN (Basınç)}$$

Yatay sınır elemanının sağ tarafındaki eksenel kuvvet dayanımı gereksinimi

$$P_{YSE} = 788.94 - \frac{1}{2} * 87.16 = 745.36 \text{ kN (Basınç)}$$

- Yatay sınır elemanının sahip olması gereken kesme kuvveti dayanımı gereksinimi

$$V_u = V_g + V_{u(YSE)} + \frac{w_{yYSE} * L_{cf}}{2} \quad (4.12)$$

$$V_{u(YSE)} = \frac{M_{pr(sol)} + M_{pr(sağ)}}{L_h} \quad (4.13)$$

$$M_{pr} = 1.1 * R_y * Z * F_y \quad (4.14)$$

$$L_h = L - 2 * sh = L - 2 * \left(\frac{1}{2} * (d_{DSE} + d_{YSE})\right) \quad (4.15)$$

Örneğin Y-Z Düzlemi 3. Katta:

$$V_g = \frac{w_g * L_{cf}}{2} = \frac{3 * 4.45}{2} = 6.68 \text{ kN (Duvar Yüğü)}$$

$$V_{u(YSE)} = \frac{1260.8 + 1343.3}{3.9} = 667.72 \text{ kN}$$

$$\frac{w_{yYSE} * L_{cf}}{2} = \frac{154.43 * 4.45}{2} = 343.61 \text{ kN}$$

$$V_u = 6.68 + 667.72 + 343.61 = 1018.01 \text{ kN}$$

4.9.4 Düşey sınır elemanı tasarımı

- Düşey Sınır Elemanının sahip olması gereken eksenel kuvvet dayanımı gereksinimi

$$E_m^- = \frac{1}{2} * R_y * F_y * \sin(2\alpha) + \left(\sum t_{plk} * h + t_{plk} * \frac{L_{cf}}{2} \right) + \sum \frac{2 * M_{pr}}{L_h} \quad (4.16)$$

$$E_m^+ = \frac{1}{2} * R_y * F_y * \sin(2\alpha) + \left(\sum t_{plk} * h - t_{plk} * \frac{L_{cf}}{2} \right) + \sum \frac{2 * M_{pr}}{L_h} \quad (4.17)$$

Örneğin Y-Z Düzlemi 1. Katta:

$$\begin{aligned} E_m^- &= 0.5 * 1.4 * 235 * 0.985 * 2.2 * 4000/1000 + 0.5 * 1.4 * 235 * 0.985 * 1.4 \\ &\quad * 3000/1000 + 0.5 * 1.4 * 235 * 0.985 * 1 * 3000/1000 + 0.5 * 1.4 \\ &\quad * 235 * 0.985 * 0.6 * \frac{3000}{1000} + 0.5 * 1.4 * 235 * 0.985 * 2.2 \\ &\quad * (4380/2)/1000 + \frac{2 * 1360.4}{3.83} = 4397.45 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$E_m^+ = 0.5 * 1.4 * 235 * 0.985 * 2.2 * 4000/1000 + 0.5 * 1.4 * 235 * 0.985 * 1.4 * 3000/1000 + 0.5 * 1.4 * 235 * 0.985 * 1 * 3000/1000 + 0.5 * 1.4 * 235 * 0.985 * 0.6 * \frac{3000}{1000} - 0.5 * 1.4 * 235 * 0.985 * 2.2 * \frac{2 * 1360.4}{3.83} = 2836.11 \text{ kN}$$

$$Kombinasyon\ Basıncı = 788.83 \text{ kN} (1.2G + 1.6Q_r + Q)$$

$$E_m^- = 4397.45 + 788.83 = 5186.28 \text{ kN}$$

- Düşey sınır elemanının sahip olması gereken eğilme momenti dayanımı gereksinimi

$$M_u = M_{DSE(plk)} + M_{DSE(YSE)} \quad (4.18)$$

$$M_{DSE(plk)} = R_y * F_y * \sin^2(\alpha) * t_{plk} * \frac{h_{DSE}^2}{12} \quad (4.19)$$

$$M_{DSE(YSE)} = \frac{1}{2} * \sum M_{p(YSE)} \quad (4.20)$$

$$M_{p(YSE)} = \frac{M_{pr}}{1.1 * R_y} + V_{pl} * s_h \quad (4.21)$$

Örneğin X-Z Düzlemi 3. Katta:

$$M_{DSE(YSE)} = \frac{1}{2} * \frac{1360.4}{1.1 * 1.25} + \frac{1335.38}{1.1 * 1.25} = 1132.47 \text{ kNm}$$

$$M_{DSE(plk)} = 1.4 * 235 * \sin^2(40) * 1 * \frac{3000^2}{12} = 102.02 \text{ kNm}$$

$$M_u = 1132.47 + 102.02 = 1234.49 \text{ kNm}$$

- Düşey sınır elemanının sahip olması gereken kesme kuvveti dayanımı gereksinimi

$$V_u = V_{DSE(plk)} + V_{DSE(YSE)} \quad (4.22)$$

$$V_{DSE(plk)} = \frac{1}{2} * R_y * F_y * \sin^2(\alpha) * t_{plk} * h_{DSE} \quad (4.23)$$

$$V_{DSE(YSE)} = \sum \frac{1}{2} * \frac{M_{pYSE}}{h_{DSE}} \quad (4.24)$$

Örneğin Y-Z Düzlemi 2. Katta:

$$V_{DSE(YSE)} = \frac{1}{2} * \frac{1360.4 + 1314.53}{3} = 445.82 \text{ kN}$$

$$V_{DSE(plk)} = \frac{1}{2} * 1.4 * 235 * \sin^2(40) * 1.9 * 3000 = 384.44 \text{ kN}$$

$$V_u = 445.82 + 384.44 = 830.26 \text{ kN}$$

4.9.5 Güçlü DSE-zayıf YSE kontrolü

Çok katlı yapılarda güçlü DSE-zayıf YSE kontrolü yapılırken her 2 taraftaki DSE, YSE'nin plastik mafsallık oluşacak 2 ucu ve çelik plakalı perde duvar sistemine bağlanan dış kirişler de dikkate alınır. Örneğin X-Z Düzlemi 2. Katta:

$$M_{pDSE}^* > M_{pYSE}^* \quad (4.25)$$

$$M_{pYSE}^* = M_{pr} + V_u * S_h \quad (4.26)$$

$$M_{pDSE}^* = \left(F_y * \frac{P_u}{A_g} \right) * Z_x \quad (4.27)$$

- DSE Plastik Moment Hesabı

DSE çekme durumunda iken plastik moment hesabı:

$$M_{pDSE}^* = 355 * 6425000 / 10^6 = 2280.88 \text{ kNm}$$

DSE basınç durumunda iken plastik moment hesabı:

$$M_{pDSE}^* = \left(355 - \frac{3245 * 10^3}{27000} \right) * 6425000 / 10^6 = 1508.69 \text{ kNm}$$

- YSE Plastik Moment Hesabı

DSE çekme durumunda iken plastik moment hesabı:

$$V_u = \frac{2 * M_{prDSE}}{L_h} + \frac{w_g * L_h}{2} = \frac{2 * 2280.88}{4.85} + \frac{3 * 4.85}{2} = 947.84 \text{ kN}$$

$$M_{pYSE}^* = 1265.44 + 947.84 * 0.575 = 1810.45 \text{ kNm}$$

DSE basınç durumunda iken plastik moment hesabı:

$$V_u = \frac{2 * M_{prDSE}}{L_h} + \frac{w_g * L_h}{2} = \frac{2 * 1508.69}{4.85} + \frac{3 * 4.85}{2} = 629.43 \text{ kN}$$

$$M_{prYSE}^* = 1360.4 + 629.43 * 0.575 = 1722.32 \text{ kNm}$$

- Dış Kirişler Plastik Moment Hesabı (IPE400):

$$M_{pr} = 1.1 * 1.25 * 355 * 1307000 / 10^6 = 637.98 \text{ kNm}$$

- Güçlü DSE-Zayıf YSE Kontrolü:

$$M_{pDSE}^* = 2 * (1508.69 + 2280.88) = 7579.14 \text{ kNm}$$

$$M_{prYSE}^* = 1810.45 + 1722.32 + 2 * 637.98 = 4808.73 \text{ kNm}$$

$$M_{pDSE}^* = 7579.14 \text{ kNm} > M_{prYSE}^* = 4808.73 \text{ kNm}$$

4.9.6 Sistemin eleman dayanım kontrolü

Sistemin gösterilen kapasite prensibi hesaplarına göre çelik plakalı perde duvar sistemindeki tüm elemanları boyutlandırılmış ve yönetmeliklerin izin verdiği değerler ve sınırlandırmalarına dikkat edilmiştir. Çelik plakalı perde duvar sistemi dışındaki elemanlar ise SAP2000 yazılımının eleman tasarım özelliği kullanılarak boyutlandırılmış ve gerekli profiller seçilmiştir. Bu tez çalışması içerisinde çelik plakalı perde duvar sistemi elemanları dışındaki boyutlandırmalar gösterilmemiştir.

4.9.7 Yapı sisteminin görelî kat öteleme kontrolleri

Her deprem doğrultusu için dı yer değıştirmelerinin en büyük değeri:

X doğrultusunda → 10.2 mm

Y doğrultusunda → 11.3 mm

kombinasyonlarından gelmektedir. Bu değeri SAP2000 yapısal analiz programından elde edilmiştir.

X-X doğrultusu için:

$\Delta_i = d_i - d_{(i-1)}$ → Azaltılmış görelî kat ötelenmeleri

$\delta_i = R \times \Delta_i$ → Etkin görelî kat ötelenmeleri

$R = 7$ → Çelik plakalı perde duvar sistemleri için taşıyıcı sistem davranış kat.

Çizelge 4.20: X-X doğrultusu görelî kat ötelenmesi.

Kat	h_i	d_i (m)	d_i (cm)	D_{ix} (cm)	$\delta_{ix} = R \times D_{ix}$	δ_{ix}/h_i
4	300	0.01	1.02	0.22	1.54	0.005
3	300	0.008	0.8	0.36	2.52	0.009
2	300	0.005	0.54	0.25	1.75	0.006
1	400	0.003	0.29	0.29	2.03	0.005

Örneğin 2. Kat X-X doğrultusu için:

$$\Delta_{2x} = d_{2x} - d_{1x} = 0.54 - 0.29 = 0.25 \text{ cm}$$

$$\delta_{2x} = R \times \Delta_{2x} = 7 \times 0.25 = 1.75 \text{ cm}$$

$$\delta_{2x} / h_2 = 1.75 / 300 = 0.006 < 0.02$$

Yapılan işlemler doğrultusunda δ_i / h_i oranlarının en büyük değerleri X doğrultusunda $\delta_i / h_i < 0.02$ koşulunu sağladığı görülmüştür.

Y-Y doğrultusu için:

Çizelge 4.21: Y-Y doğrultusu göreli kat ötelenmesi.

Kat	h_i	d_i (m)	d_i (cm)	D_{ix} (cm)	$\delta_{ix} = R \times D_{ix}$	δ_{ix}/h_i
4	300	0.01	1.13	0.28	1.96	0.007
3	300	0.009	0.85	0.31	2.17	0.007
2	300	0.005	0.54	0.27	1.89	0.006
1	400	0.003	0.27	0.27	1.89	0.005

Örneğin 2. Kat X-X doğrultusu için:

$$\Delta_{2x} = d_{2x} - d_{1x} = 0.54 - 0.27 = 0.27 \text{ cm}$$

$$\delta_{2x} = R \times \Delta_{2x} = 7 \times 0.27 = 1.89 \text{ cm}$$

$$\delta_{2x} / h_2 = 1.89 / 300 = 0.006 < 0.02$$

Yapılan işlemler doğrultusunda δ_i / h_i oranlarının en büyük değerleri Y doğrultusunda $\delta_i / h_i < 0.02$ koşulunu sağladığı görülmüştür.

4.9.8 SAP2000 modellemesi

4.9.8.1 Modelleme

Yapılarda çelik plakalı perde duvar sisteminin modellenmesi için birçok öneri olsa da AISC Design Guide 20'de (Çelik Plakalı Perde Duvarlar) tasarımcı, 2 modelleme tekniğiyle kullanıcıyı kısıtlanır. Doğru modelleme ve analiz ile hem çelik plakalı perde duvar sistemleri üzerindeki tasarım yükü bulunur hem de yapının yer değiştirmesi kontrol edilerek yapıda ve çelik plakalı perde duvar sisteminde istenmeyen hasarların oluşması engellenir. Her ne kadar model, yatay ve düşey sınır elemanları üzerindeki kombinasyonlara göre oluşan kuvvetleri verse de çelik plakalı perde duvar sisteminin

yatay ve düşey sınır elemanları kapasite tasarımına göre kullanıcı tarafından ayrı hesaplanarak tasarımı yapılmalıdır.

4.9.8.2 Modelleme teknikleri

AISC Design Guide 20 dökümanının mühendislere izin verdiği 2 yöntem vardır:

- **Şerit Modeli:** Çelik plakanın sadece çekmeye çalışan, çekme alanlarının açısı verilen, birçok çarpaz elemanlarla modellenmesi tekniği olarak adlandırılır. Bu yöntemle çelik plakanın kesme kuvvetine karşı burkulması ihmal edilebilir seviyede varsayılır. Kanada Standartları'nda (CSA) ve Amerikan yönetmeliğinde kullanılan bu yöntemde yapıya gelen yatay kuvvet sonucu elemanlar üzerindeki eksenel ve eğilme değerleri okunarak dizayn yapılır. Bölüm 3'te verilen çelik plakadaki çekme gerilme açısına göre ayarlanan sadece çekmeye çalışmaya çalışan elemanlar, yatay ve düşey sınır elemanları arasında bağlanarak modelleme yapılabilir. Uygun davranışı elde etmek için CSA ve AISC 341 yönetmeliklerinde, 1 plaka için en az 10 tane sadece çekmeye çalışan şerit kullanımı tavsiye edilir. İlk olarak yatay sınır elemanları segmentlere ayrılarak bölündükten sonra modele girilen şerit sayısına göre düşey sınır elemanındaki noktalar ve sadece çekmeye çalışan elemanlar tanımlanır. AISC Design Guide 20 (Çelik Plakalı Perde Duvarlar) tasarım kılavuzuna göre yatay sınır elemanı üzerindeki, şerit elemanları arasındaki mesafe ve eşdeğer şerit alanı:

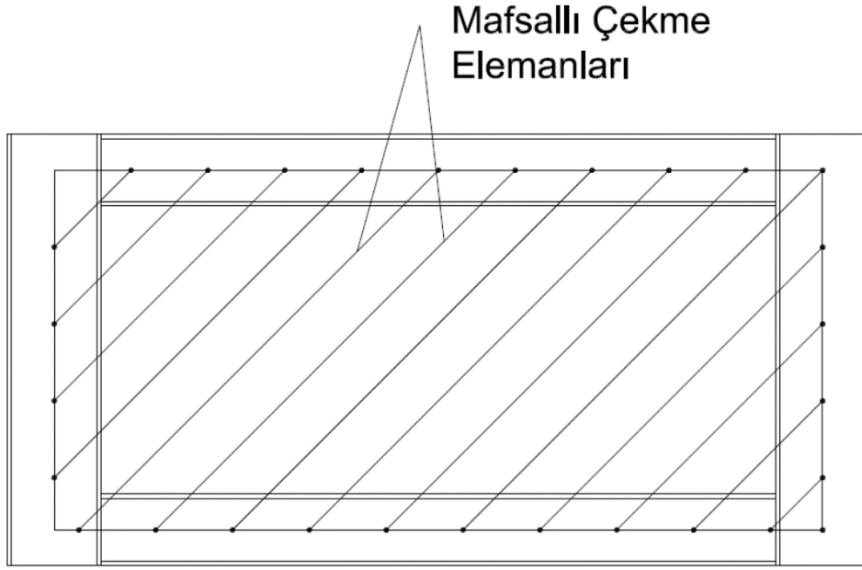
$$\Delta x = \frac{1}{n} * (L + h * \tan(\alpha)) \quad (4.28)$$

$$A_s = \frac{(L * \cos(\alpha) + h * \sin(\alpha)) * t_{plk}}{n} \quad (4.29)$$

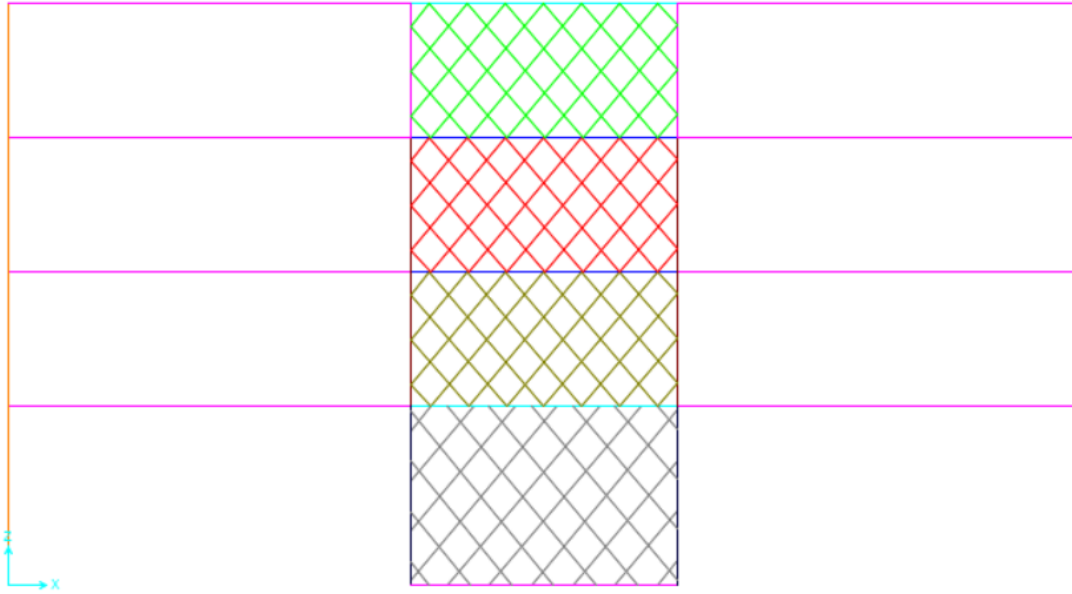
Örneğin X-Z düzlemi 3. Katta

$$\Delta x = \frac{1}{10} * (6000 + 3000 * \tan(40)) = 852 \text{ mm}$$
$$A_s = \frac{(6000 * \cos(40) + 3000 * \sin(40)) * 1}{10} = 654 \text{ mm}^2$$

Şerit modeli, çelik plakalı perde duvar sistemlerini modellemede etkin bir çözüm olsa da, çelik plakanın 3 boyutlu olarak şekil değiştirmeyi, sınır elemanlarındaki lokal burkulma etkisi, tersinir yüklerde plastik etkiler ve çelik plakadaki gerilme dağılışı gibi ince ayrıntıları modellemede etkin bir çözüm olarak görülmemektedir.



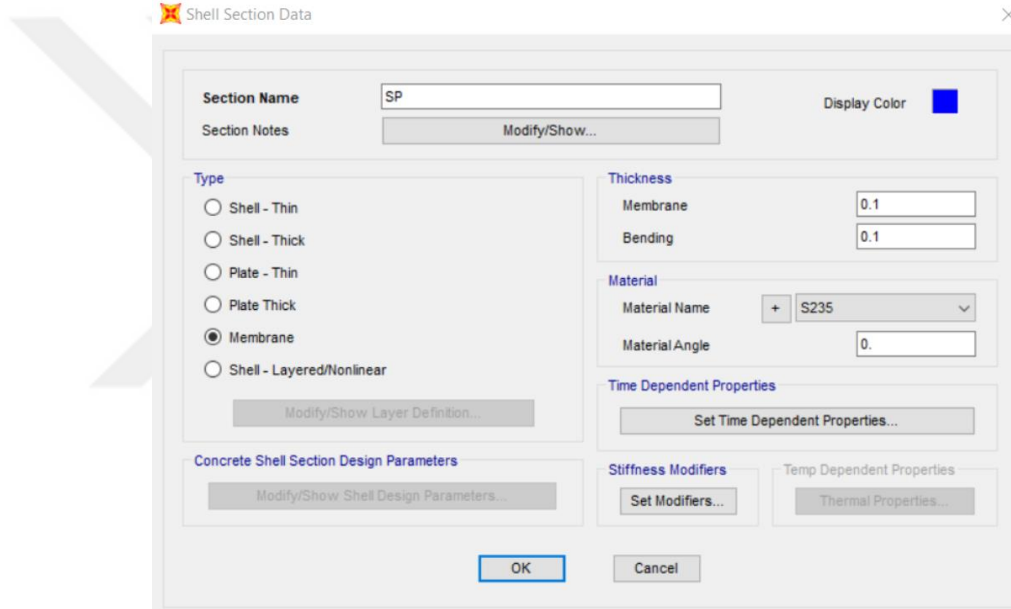
Şekil 4.8: Çelik plakalı perde duvar sistemlerinde şerit modeli. (AISC Design Guide 20, 2006)



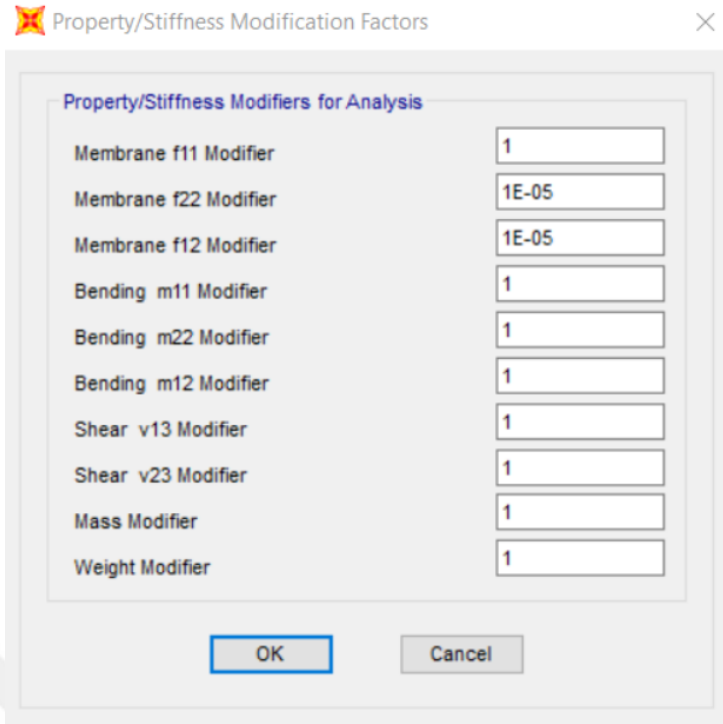
Şekil 4.9: Çelik plakalı perde duvar sistemleri şerit modelinin SAP2000’de modellenmesi.

- **Yüzeysel Taşıyıcı Modeli:** Temel olarak şerit modeli tekniğiyle aynı mantığa sahip olan bu modelde; çelik plakalı perde duvar sisteminde, uygun davranışı elde etmek için düşey ve iç düzlem kesme rijitliği sıfır veya ihmal edilebilir seviyeye düşürülmelidir. Düşey yöndeki rijitliği düşürerek diyagonaldeki basınç gerilemelerinin sıfır olması sağlanırken; iç düzlem kesme rijitliği düşürülerek modelde plaka üzerindeki devrilme momenti etkisiyle oluşabilecek düşey gerilmeler engellenerek uygun davranış elde edilir. Bu

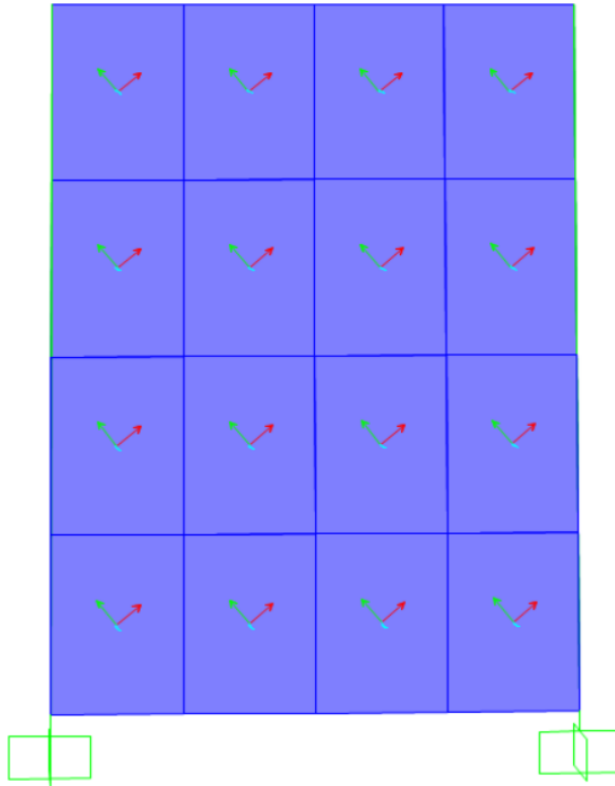
modelleme tekniğiyle her ne kadar düşey sınır elemanı üzerindeki etkinin ihmal edilebilir seviyede azaltılması ve çelik plakalı perde duvar sistemi eğilme rijitliğinin ihmal edilebilir seviyede artırılması gibi etkileri olsa da düşük basınç gerilemelerinde plaka burkulması sağlanır. Düşey sınır elemanları üzerindeki etkinin azaltılmasıyla düşük deprem bölgelerindeki analizler etkilenirken; yüksek deprem bölgelerinde düşey sınır elemanları kapasite tasarımına göre dizayn edildiğinden sonuca etksi görülmez. Bu modelleme tekniğinde istenilen davranışı elde etmek için ayrıca tanımlanan yüzeysel taşıyıcı modelin lokal eksenleri de, çelik plakadaki çekme gerilme açılarıyla aynı değere ayarlanmalıdır. AISC Design Guide 20 (Çelik Plakalı Perde Duvarlar) tasarım kılavuzunda uygun davranışı elde etmek için model üzerinde yüzeysel taşıyıcı modeli 4x4 (toplam 16) parçaya ayırmayı önerilmektedir.



Şekil 4.10a: Çelik plakalı perde duvar sistemlerinde yüzeysel taşıyıcı modelin SAP2000 üzerinde modellenmesi.



Şekil 4.10b: Çelik plakalı perde duvar sistemlerinde yüzeysel taşıyıcı modelin SAP2000 üzerinde modellenmesi.

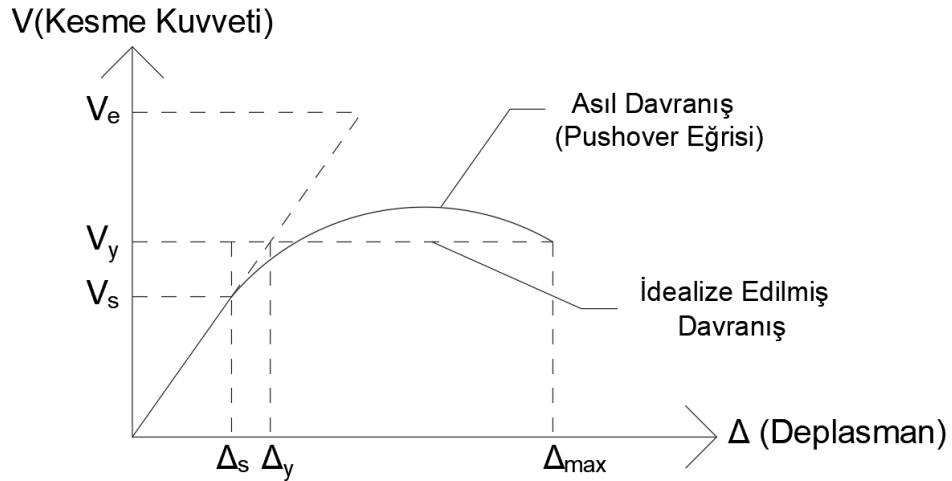


Şekil 4.10c: Çelik plakalı perde duvar sistemlerinde yüzeysel taşıyıcı modelin SAP2000 üzerinde modellenmesi.

4.9.9 Çok katlı yapının itme (pushover) analizi

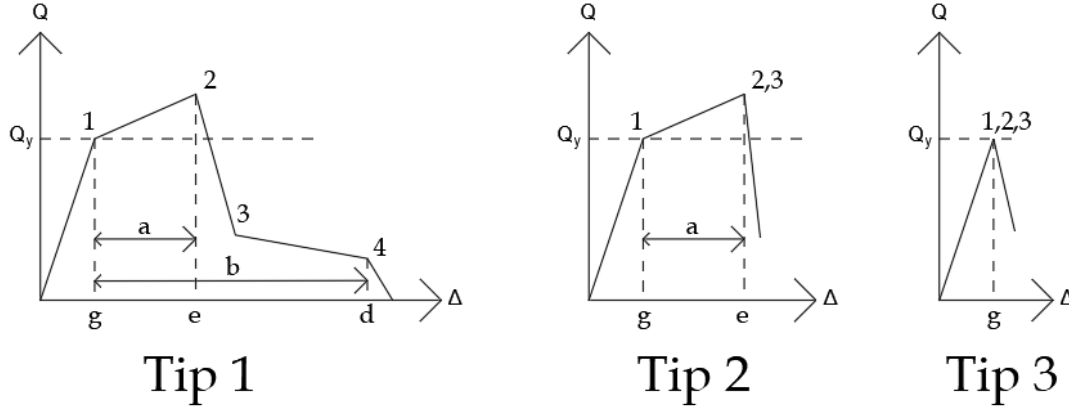
İtme (pushover) analizi, yapının yatay yük etkisiyle nasıl davranış sergileyeceği ve göstereceği performansı tespit etmeye yarayan itme analizi olarak tanımlanabilir. Bir başka deyişle yapı üzerindeki deformasyonları basitleştirilmiş lineer olmayan varsayımlarla tespit etmeye yarayan statik yöntem olarak gösterilebilir. Genelde eski yapıların analizinde kullanılan bu yöntem, yeni yapılarda ise lineer olarak tasarımı yapılmış modelin kontrolü için kullanılmaktadır.

Gelen özellikle yüksek deprem kuvvetleri sonrası original yük taşıma davranışı ve kapasitesine göre değişiklik göstermeye başlayan yapılarda, yapının zayıf noktası bu yöntem ile tespit edilebilmektedir. Yapının yatay kuvvet etkisiyle yaptığı her şekil değiştirmede yapı üzerindeki yük dağılımları da değişir ve tüm yapı akma haline geçene kadar süreç devam ettirilir. Bir başka deyişle yapının çökmesi adım adım takip edilerek yapı üzerindeki zayıf noktalar tespit edilmiş olur.



Şekil 4.11: İtme analizinde yük-deplasman eğrisinin idealize edilmiş hali.

Yapıların performans seviyesini belirlemede etkin bir kontrol yöntemi olan yük-deplasman eğrisi ASCE 41 tarafından 3 farklı şekilde ifade edilmiştir. Bunlardan tip 1 ve tip 2 sünek davranış, tip 3 ise gevrek veya sünek olmayan davranış olarak tanımlanmaktadır.



Şekil 4.12: İtme analizinde genelleştirilmiş yük-şekil değiştirme eğrileri.

Bu grafiklerdeki eğimler:

- Başlangıç Noktası-1 Eğrisi: Elastik Davranış Evresi
- 1-2 Eğrisi: Şekil Değiştirme Sertleşmesi Eğrisi
- 2-3 Eğrisi: Dayanım Kaybetme Evresi
- 3-4 Eğrisi: Artık Dayanım Evresi

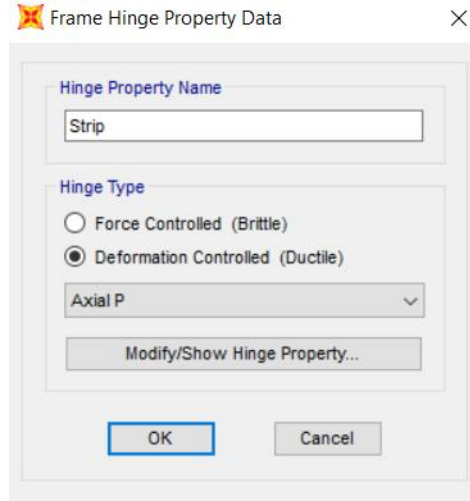
Yapının bu analize göre performansı kontrol edilirken; itme sonucu meydana gelen etkinin elemanın kapasitesinden daha düşük seviyede olup olmadığına bakılır. Bu kontrol sünek yapılarda sünek elemanların şekil değiştirme seviyesi ve sünek olmayan elemanların üzerinde oluşan kuvvetlerle kontrol edilir, şöyle ki:

- Sünek elemanlarda: Tasarım şekil değiştirmesi < Elemanın kapasitesi
- Gevrek elemanlarda: Tasarım kuvveti < Malzeme özelliklerine göre belirlenen dayanım

4.9.9.1 Çok katlı yapının itme (pushover) analizi

Yapının lineer olmayan davranışını kontrol etmek için etkin bir yöntem olan itme analizi, SAP2000 yazılımıyla yapılmış ve SAP2000 tarafından ASCE 41 yönetmeliğine göre oluşturulmuş mafsallar kullanılmıştır.

Çelik plakalı perde duvar sisteminin ana taşıyıcı sistemi olan çelik plaka için, şerit modeli kullanılarak sadece eksenel yük etkisinde mafsal verilmiş ve çelik plakanın davranışı sünek davranışın ana sebeplerinden biri olarak görüldüğünden mafsal sünek olarak seçilmiştir. Ayrıca her iki tarafta uzama görülmesi istenmediğinden şerit elemanlarının sadece bir ucuna mafsal verilmiştir.



Şekil 4.13: Şerit elemanları için mafsalları atamaları.

Yatay sınır elemanları çelik plakanın akmasının etkisiyle yüksek derecede eksenel ve ayrıca kat ötelenmesi nedeniyle de yüksek momente maruz kalacağından bu elemanlara eksenel yük ve kuvvetli yönde moment mafsalları tanımlanmıştır. Bu sistemde kapasitesi düşürülmüş kirişler kullanılmadığı varsayıldığından SAP2000 tarafından otomatik verilen mafsallar doğru bir kabul olarak görülebilir. Düşey sınır elemanları için ise bu etkilerin yanında ciddi kesme kuvvetleri de görüleceğinden bu mafsallara ek kesme kuvveti etkisinde mafsalları da atanmıştır.

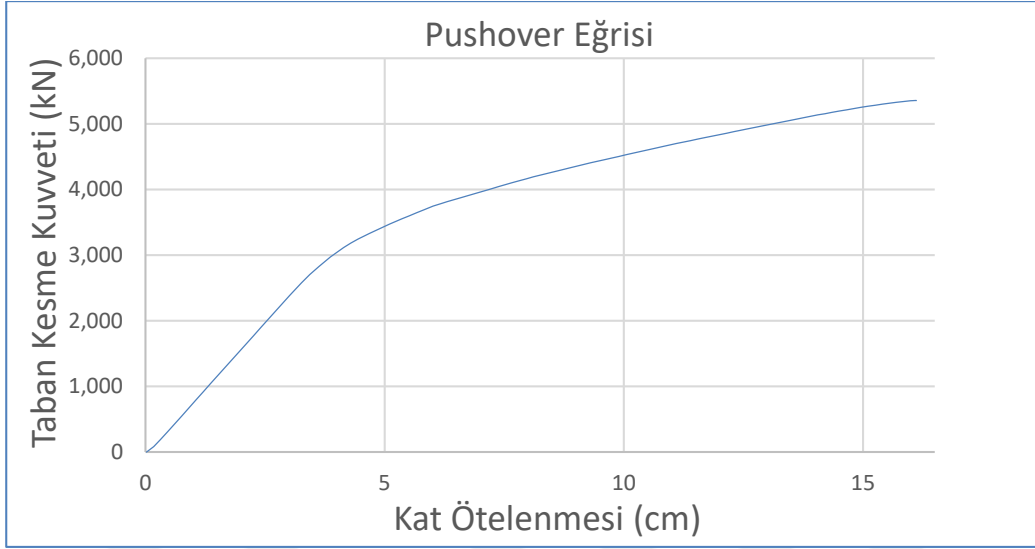
Çelik plakalı perde duvar sistemlerinde taban plakası tasarımcının seçimine göre ankastre veya mafsallı olarak tanımlanabilir. Bu yapıda düşey sınır elemanlarının, tabana mafsallı bağlı olduğu kabul edildiğinden sadece eksenel yük etkisinde mafsallı olarak kabul edilmiştir. Eğer ankastre mafsalları seçimi yapılırsa kesme ve moment etkisindeki etkiler de dikkate alınmalıdır.

Son olarak çelik plakalı perde duvar sistemi dışındaki tüm elemanlarda, SAP2000 içerisinde ASCE 41 yönetmeliğine göre otomatik oluşturulmuş mafsallar kullanılmıştır.

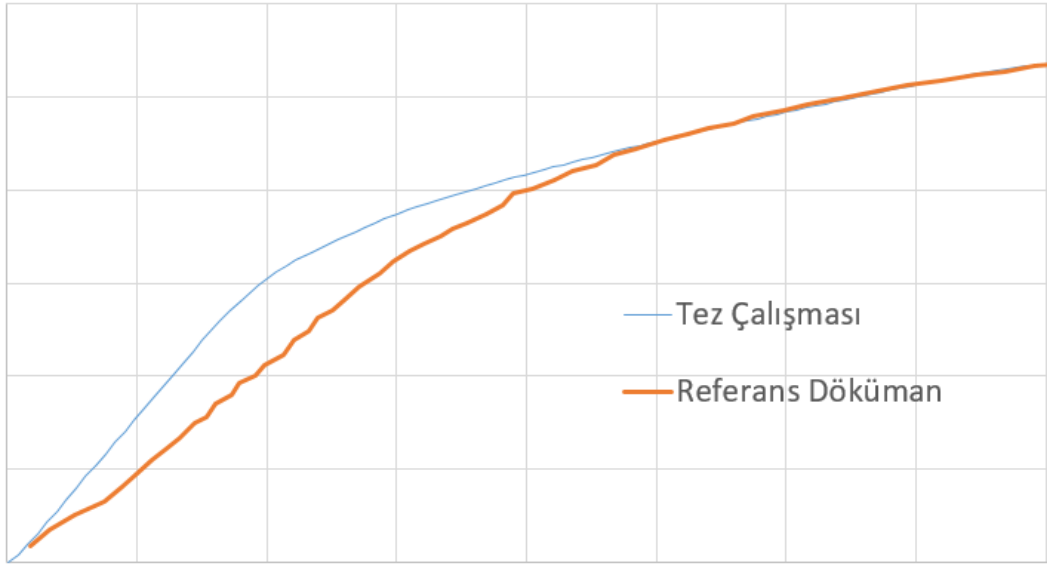
4.9.9.2 İtme (pushover) analizinin kontrolü

İtme analizinin sonuçlarından önce yapılan, analizin güvenilirliğini kontrol etmek ilk adım olarak görülebilir. Bu kontrol için ilgili referans projeler veya daha önceden deneyimlenmiş ve benzerlik gösteren projeler kullanılabilir. Bu tezde “Seismic Evaluation of Tall Unstiffened Steel Plate Shear Wall (SPSW) Systems with Emphasis on Reversal Phenomenon in the Higher Mode Pushover Curve” makalesi kullanılmış ve hem makalede kullanılan modelin hem de makalenin referans olarak kullandığı 4 katlı başka bir yapının pushover eğrileri kullanılarak karşılaştırmalar yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre bu tez çalışması için kullanılan 4 katlı yapının grafikleri ve

sonuçları, referans projenin sonuçlarına benzer görülmektedir ve dolayısıyla analizin sonuç kısmına geçilebilir.



Şekil 4.14a: 4 katlı yapının taban kesme kuvveti-çatı katı ötelenmesi grafiği.



Şekil 4.14b: Referans döküman ile tez çalışmasının grafiksel karşılaştırılması.

(Seismic Evaluation of Tall Unstiffened Steel Plate Shear Wall Systems with Emphasis on Reversal Phenomenon in the Higher Mode of Pushover Curve, 2018)

Elde edilen sonuçlara göre 4 katlı yapının SAP2000 yazılımı ile itme analizi grafiği ile referans projenin grafiği arasında benzerlik görülmektedir. Başlangıçtaki ayrımın ANSYS üzerinde tanımlanabilen ama SAP2000 yazılımı üzerinde tanımlanamayan geometrik kusurlar ile ilgili olduğu belirlenmiştir.

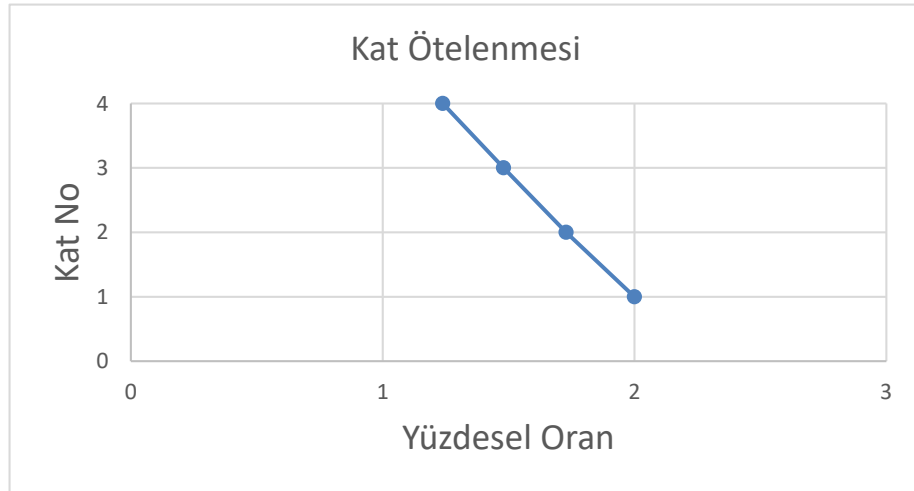
4.9.9.3 Sonuçlar

Yapının pushover analizi yapıldığında beklenildiği gibi çelik plakanın diğer elemanlardan önce akmaya başladığı ve doğrusal olmayan şekil değiştirme yaptığı görülmüştür. Daha önceden bahsedildiği gibi bu lineer olmayan şekil değiştirme sonrasında sistemde enerji yutulur lakin sınır elemanlarında plastikleşme görülmez. Ayrıca analiz sonucu beklendiği gibi, alt katlardaki yatay sınır elemanlarının uç noktalarında ve düşey sınır elemanlarının da taban plakalarında plastikleşme gözlemlenmiştir.

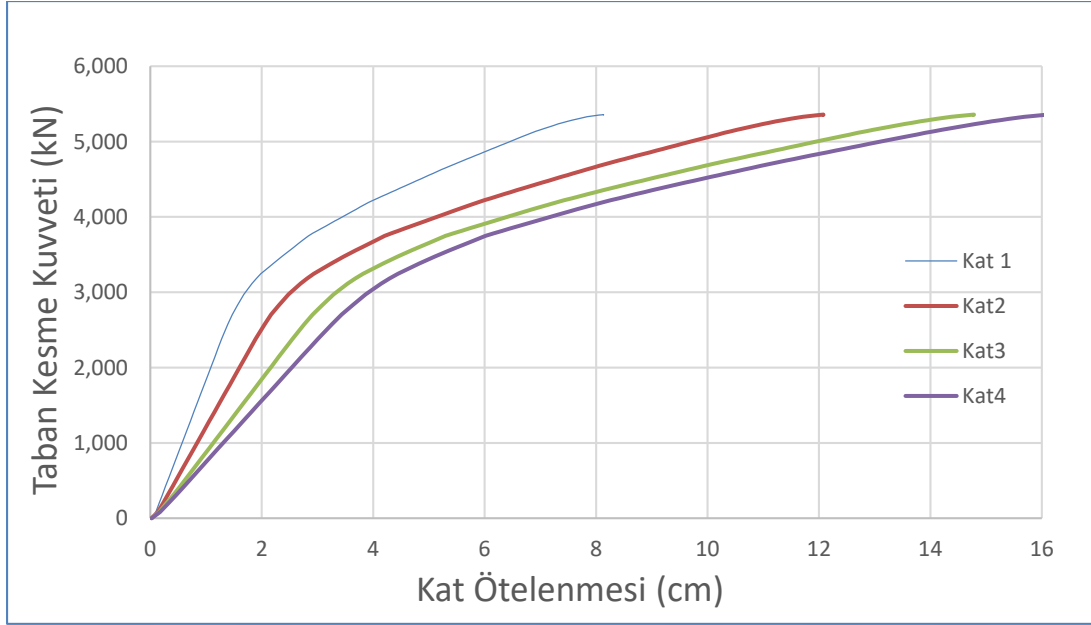
Bu beklenen davranışların yanı sıra yapının deprem performansının değerlendirilmesinde kat ötelenmeleri, önemli bir gösterge olarak gözlemlenmektedir. Sistemin tasarımında kat ötelenmelerinin yoğunlaştığı ve yoğunluğun azaldığı katlara göre yeniden düzenlemeler yapılabilmektedir. Bundan dolayı kat ötelenmeleri, yapının deprem kuvvetine karşı tasarımı için önemli bir ölçüt olarak kabul edilmektedir. Aşağıdaki grafik sonuçlarından da görüleceği üzere ötelenmeler, alt katlarda toplanmış ve alt katlarda ciddi bir talep olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 4.22: İtme analizinin deplasman sonuçları.

Kat No	Kat Ötelenmesi (cm)	Kat Yüksekliği (cm)	Yüzdesel Oran
1	8	400	2
2	12.1	300	1.73
3	14.8	300	1.48
4	16.1	300	1.23



Şekil 4.15a: 4 katlı yapının itme analizine göre kat ötelenme oranları.



Şekil 4.15b: 4 katlı yapının itme analizine göre kat ötelenme miktarları.

Elde edilen sonuçlara göre hem yapı sisteminde plastikleşmeler istenilen noktalarda gerçekleştiği hem de kat ötelenme değerleri yüzdesel olarak makul seviyelerde olduğu değerlendirilmektedir. Yapı analizinde uygun şartlarda güvenilir bir analiz aracı olan itme analizi yöntemine göre bu 4 katlı yapı, güvenli bir yapı olarak değerlendirilebilmektedir.

4.9.10 Çok katlı yapının zaman tanım alanında çözümü

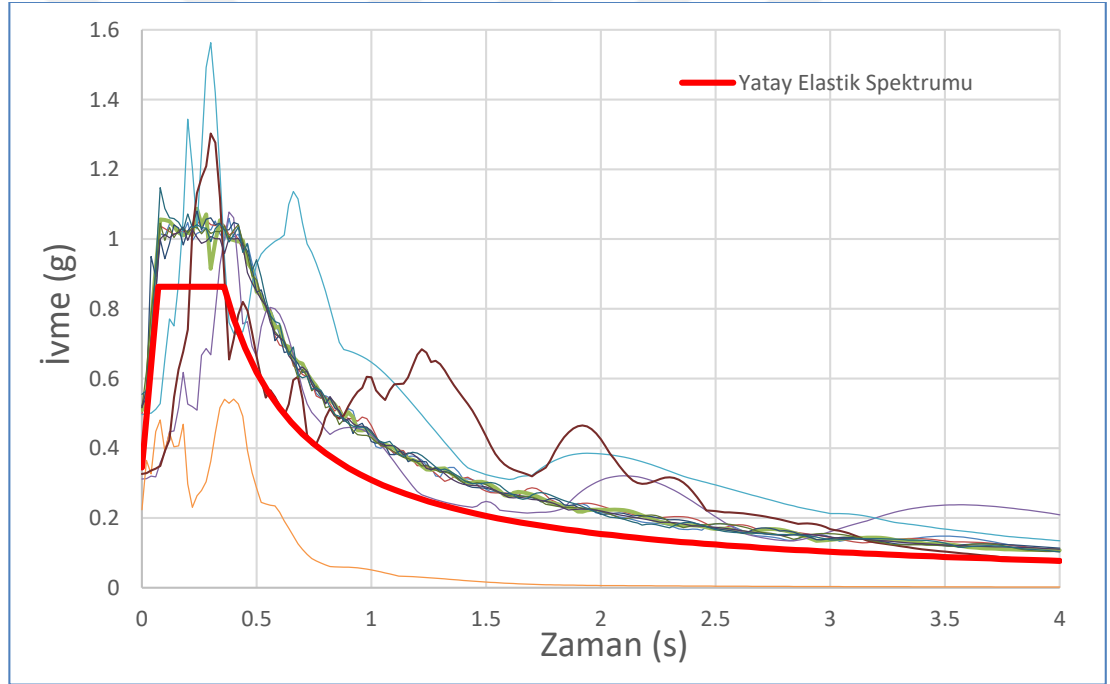
Zaman tanım alanında analiz; yapının dinamik davranışını, adım adım zamana göre değişen yükler altında incelenmesi olarak tanımlanır. Yapının lineer olmayan dinamik analizi için kullanılan bu yöntemde, daha önce meydana gelmiş olan depremlerin ivme kayıtları, tasarım ivme spektrumu ile uyumlu hale dönüştürülerek kullanılır. 3 boyutlu hesapta Türk Deprem Yönetmeliğinin madellerine uyularak, deprem kaydı grubunun farklı yönlerdeki spektrumlarının kareleri toplamının karekökü alınmış ve bileşke yatay spektrum elde edilmiştir. Seçilen tüm kayıtlara ait bileşke spektrumların ortalamasının $0.2 T_p$ ile $1.5 T_p$ periyotları arasındaki genliklerinin, tasarım ivme spektrumunun aynı periyot aralığındaki genliklere oranının yine Türk Deprem yönetmeliği gereğince 1.3 değerinden küçük olmasına dikkat edilmiştir. Bu ölçeklendirme Seismomatch programı üzerinde yapılmıştır.

SAP2000 yazılımı kullanarak yapılan bu analizde, çelik plakaya ve sınır elemanlarına plastik mafsallar tanınmış, malzeme ve geometri açısından lineer olmayan davranış dikkate alınmıştır. Bu analiz yardımıyla ana taşıyıcı sistemi çelik plakalı perde duvar sistemi olan 4 katlı yapı, 11 deprem kaydı altında incelenmiş ama bu tez çalışması

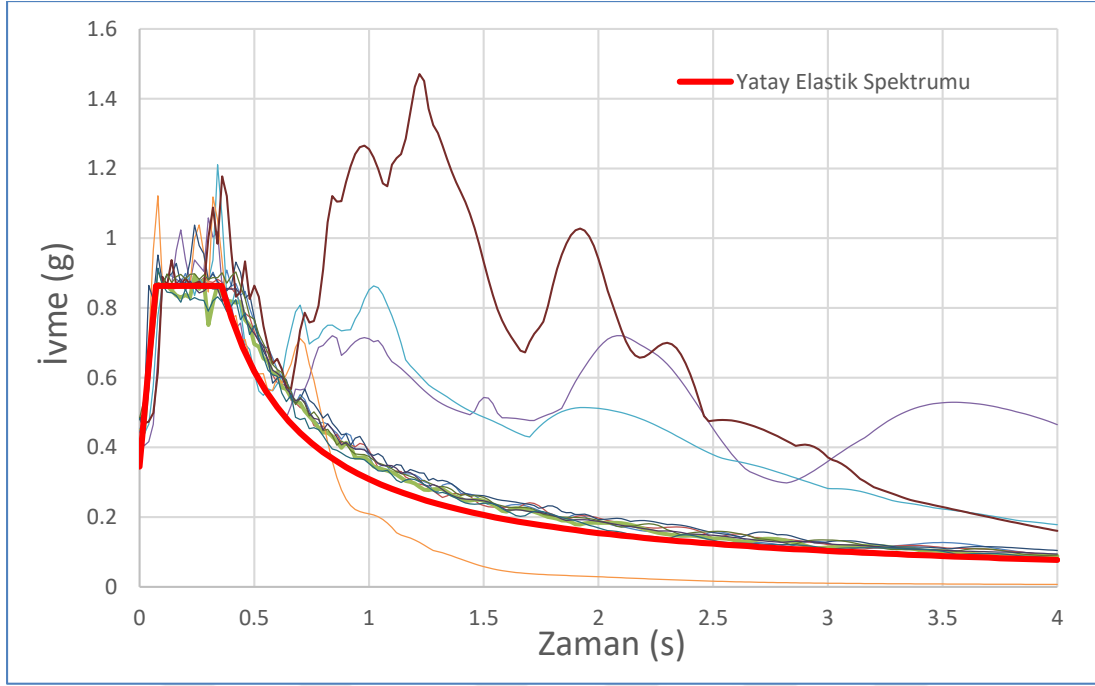
kapsamında kısa ve öz gösterim için sadece Türkiye’de meydana gelmiş 3 önemli deprem incelemesi gösterilmiştir.

Çizelge 4.23: Zaman tanım alanında kullanılan 3 önemli deprem kaydı ve özellikleri.

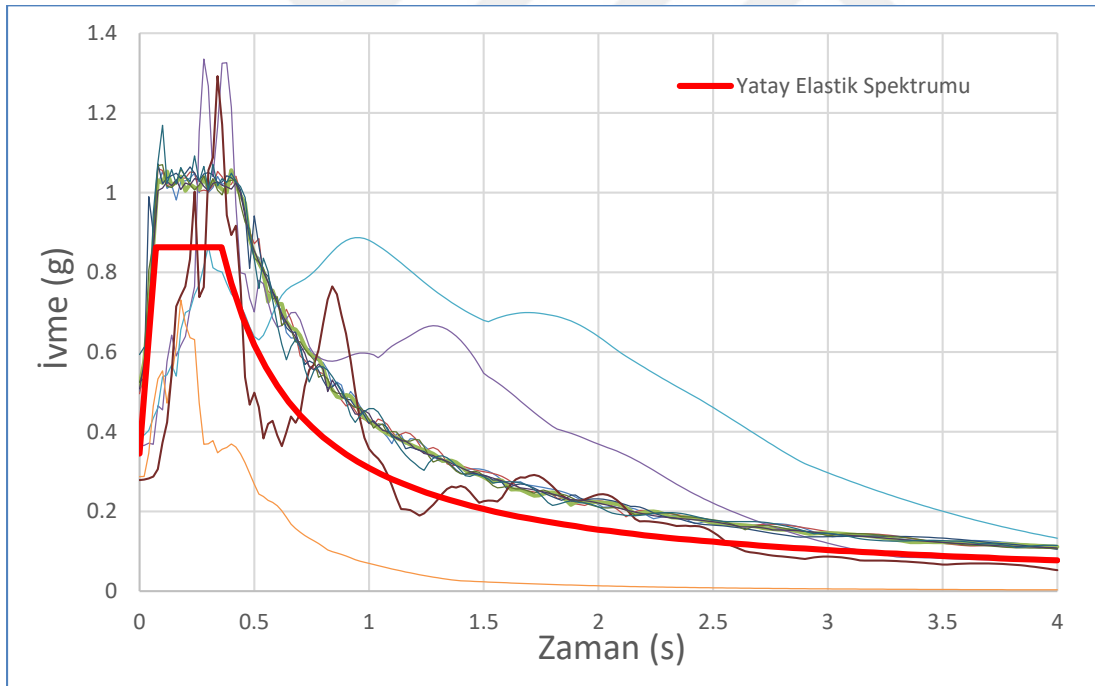
Deprem İsmi	Meydana Geldiği Tarih	Deprem Büyüklüğü (Moment Magnitudü)	PGA.(g)
İzmit	17.08.1999	7.4	0.4
Erzincan	13.03.1992	6.8	0.44
Dinar	01.10.1995	6.1	0.49



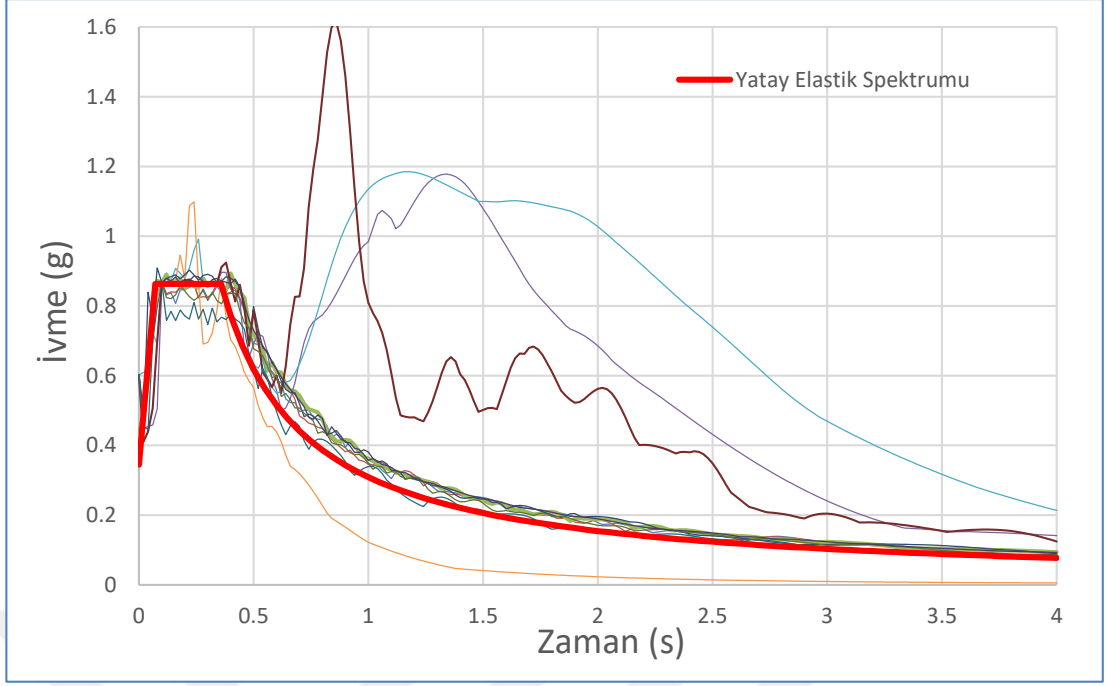
Şekil 4.16a: Seçilen 11 depremin 0° doğrultusunda ivme grafiği.



Şekil 4.16b: Seçilen 11 depremin 0° doğrultusunda yatay elastik tasarım spektrumuna göre $0.2 T_p$ ile $1.5 T_p$ arasında eşleşmiş ivme grafiği ivme grafiği.



Şekil 4.16c: Seçilen 11 depremin 90° doğrultusunda ivme grafiği.

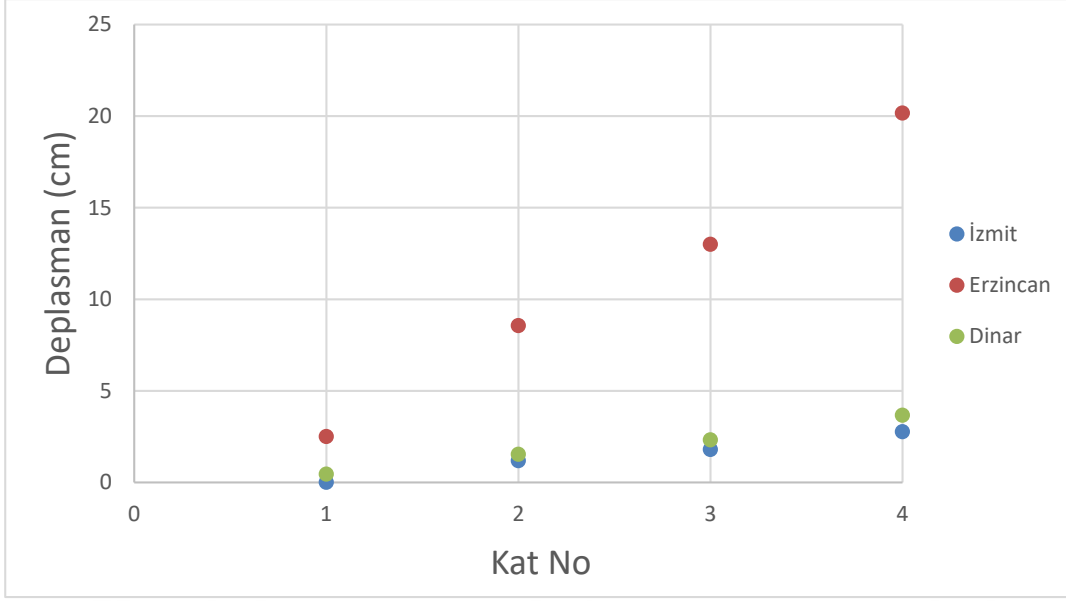


Şekil 4.16d: Seçilen 11 depremin 90° doğrultusunda yatay elastik tasarım spektrumuna göre $0.2 T_p$ ile $1.5 T_p$ arasında eşleşmiş ivme grafiği ivme grafiği.

Elde edilen sonuçlara göre:

Çizelge 4.24: X doğrultusu kat ötelenmeleri (cm).

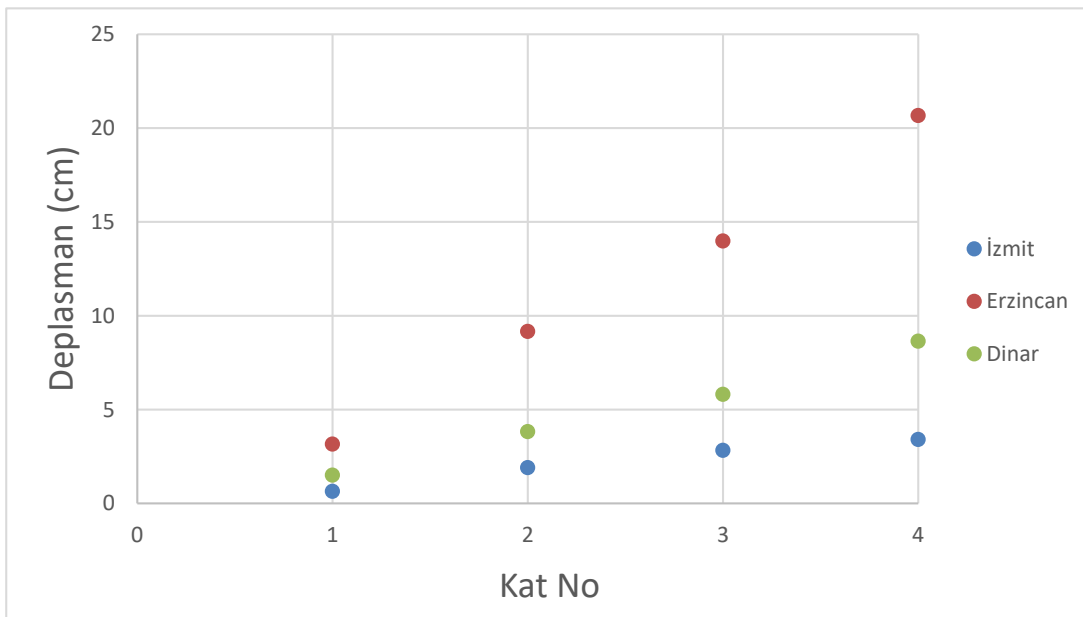
	İzmit	Erzincan	Dinar	Pushover Analizi
1. Kat	0.35	2.5	0.45	8
2. Kat	1.18	8.55	1.53	12.1
3. Kat	1.79	12.99	2.32	14.8
4. Kat	2.76	20.16	3.66	16.1



Şekil 4.17: Zaman tanım alanında analize göre X doğrultusu kat ötelenmeleri (cm).

Çizelge 4.25: Y doğrultusu kat ötelenmeleri (cm).

	İzmit	Erzincan	Dinar	Pushover Analizi
1. Kat	0.64	3.16	1.5	8
2. Kat	1.9	9.16	3.82	12.1
3. Kat	2.82	13.98	5.81	14.8
4. Kat	3.4	20.67	8.64	16.1



Şekil 4.18: Zaman tanım alanında analize göre Y doğrultusu kat ötelenmeleri (cm).

Zaman tanım alanında analize göre birçok kontrol noktası olmasına rağmen bu tez içerisinde sadece deplasman değerleri gösterilmiş ve lineer analizde elde edilen sonuçlara göre karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre kat ötelenme değerleri yüzdesel olarak makul seviyelerde olduğu değerlendirilebilir. Büyük ölçüde depremler kullanılmasından dolayı %1 değerlerini geçen göreceli deplasman değerleri, sünek çelik yapıları sistemler için makul bir değer olarak görülebilir. Yapı analizinde uygun şartlarda güvenilir bir analiz aracı olan zaman tanım alanında analiz yöntemine göre bu 4 katlı yapı, güvenli bir yapı olarak değerlendirilebilir.





5. TEK KATLI ÇELİK PLAKALI PERDE DUVAR SİSTEMİNİN ABAQUS YAZILIMI İLE MODELLENMESİ

5.1 Giriş

Günümüzde karşımıza çıkan pek çok mühendislik probleminin çözümlerinin basit matematiksel ifadeler ile ortaya konması imkansız olarak görülmektedir. Geometrinin düzgün olmayışı, yükün düzgün dağılmış olmaması ve malzemenin doğrusal olmayan davranış göstermesiyle, analitik çözümlerin elde edilmesi tasarımcılar tarafından karmaşık olarak nitelendirilmiştir. Karmaşık mühendislik problemlerinin basite indirgenerek kontrol edilebilir parçalarla çözümünü sağlayan sonlu elemanlar metodu pek çok mühendislik uygulamasında kullanılan yaygın ve kullanışlı bir çözüm metodu olarak kullanılmaktadır. Son dönemde gelişen teknolojinin de etkisiyle ilerleyen sonlu eleman programlarıyla gerçek hayatta yapılan deneylere yakın sonuçlar elde edilmeye başlanmış ve inşaat mühendisleri için de bazı zamanlarda, yapı içerisinde önem arz eden spesifik noktaların dizaynı için kullanılmaktadır.

Detaylandırılmış 3 boyutlu sonlu eleman analizi için, karmaşık modelleri geniş kütüphaneleri ve çözüm teknikleri bulunduran ABAQUS yazılımı kullanılmıştır. İnce çelik plakanın burkulması, birçok geometrik kusur, malzemede doğrusal olmayan davranış ve detaylı hesaplamalar için dinamik ve statik çözümleme seçenekleri olan ABAQUS, çelik plakalı perde duvar sisteminin çözümü için uygun olarak seçilmiştir. Kullanıcı seçimine göre dinamik veya statik çözümleri olsa da, sistem analizinde dinamik analizde zaman adımlarının çok küçük seçilmesi ve dolayısıyla model analizi için uzun zaman gerektiğinden ABAQUS/Standard'ın statik analizinin seçilmesi daha uygun görülmüştür. Yapı elemanına her adımda etkitilen dış kuvvetin ihmal edilebilecek seviyede kinetik enerjiye ve iç kuvvete dönüştürüldüğü bu analiz çeşidinde, uygun modellemelerle güvenilir sonuçlar elde edilmektedir

Bu bölümde, 3. bölümde yönetmelikler dikkate alınarak el hesaplamaları yapılmış ve profil kesitleri seçilmiş çelik plakalı perde duvar sisteminin ABAQUS yazılımı ile analizi yapılmış ve sonuçları tartışılıp karşılaştırılmıştır. Bu bölümde asıl amaç tipik çelik plakalı perde duvar sistemlerinin dayanım değerinin yönetmeliklerce sınır elemanlarının katkısını ihmal ettiği için küçük değerlerde hesaplandığını göstermek ve çelik plakadaki geometrik kusurların dayanıma etkisini anlatmak olarak özetlenebilir.

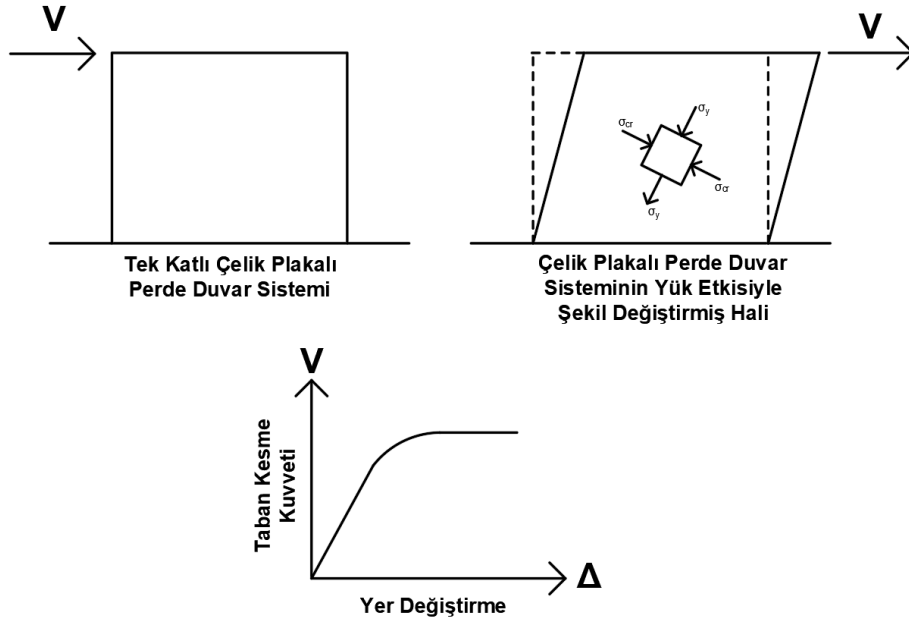
Ayrıca tipik çelik plakalı perde duvar sistemlerinin davranışı sonlu elemanlar analizi ile kanıtlanacak ve sistemin davranışı anlatılacaktır.

5.2 Yapısal Modelleme

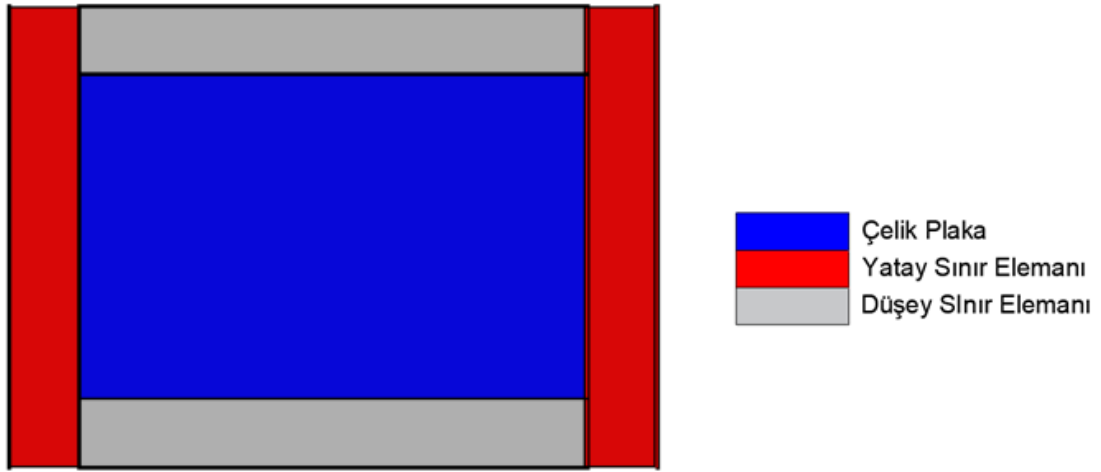
Bu bölümde, 3. bölümde elle hesaplamaları yapılmış tipik çelik plakalı perde duvar sistemi geometrik kusurları dikkate alınarak incelenmiştir. Tipik güçlendirilmemiş çelik plaka ve çelik plakayı kuşatan sınır elemanlarının analiz edildiği bu modelde, 1 mm çelik plaka ve I profil keistli sınır elemanları kullanılmıştır. Sistem belli bir yatay kuvvet altında incelenmemiş, belli bir deplasman değerine ulaşana kadar sisteme yük etkilmiştir. Bu analizde asıl amaç, tek katlı çelik plakalı perde duvar sisteminin yük taşıma kapasitesini lineer olmayan statik itme (pushover) analiziyle elde edilmesi ve karşılaştırmalar yapılmasıdır.

Çizelge 5.1: Çelik plakalı perde duvar sisteminin yapısal eleman özellikleri.

	Kesit	Malzeme
Çelik Plaka	1 mm plaka	S235
Yatay Sınır Elemanı	IPE 600	S355
Düşey Sınır Elemanı	HEB 600	S355



Şekil 5.1: Çelik plakalı perde duvar sisteminin yatay yük etkisinde şekil değiştirme davranışı.



Şekil 5.2: Çelik plakalı perde duvar sisteminin abaqus yazılımı üzerinde modellenmiş hali.

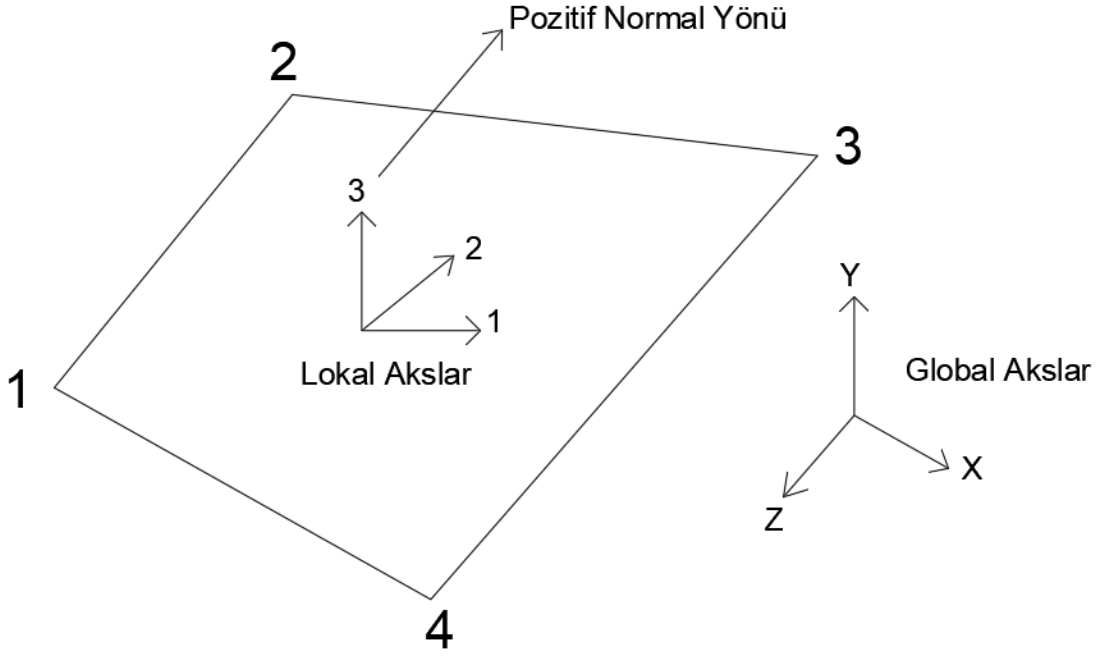
5.2.1 Malzeme modellenmesi

ABAQUS yazılımı tarafından tasarımcıya, bir çok tür malzeme tanımlanması imkanı verilmektedir. Bu tanımlamalar deirekt olarak daha önce deneyi yapılmış ve grafiği elde edilmiş malzemeler olabilirken tasarımcı tarafından elastik ve plastik malzeme veya bilinear olarak tanımlanabilmektedir. Sistemin modellenmesinde çelik plaka için S235 ve sınır elemanları için S355 kalite çelik kullanıldığı ve bu malzemelerin modellenmesinde elastic ve plastik malzeme varsayımı yapılmıştır. Herhangi bir yüzdeki kesme gerilme değerinin kritik kesme gerilme değerine ulaştığında akmanın olduğu varsayımına dayanan Von Mises akma teorisi kullanılmış ve itme analizi için izotropik sertleşme varsayımı yapılmıştır . Ayrıca elastisite modülü 200 GPa, çeliğin yoğunluğu 7.8 gr/cm³ ve Poisson oranı 0.3 olarak kabul edilmiştir.

5.2.2 Sistem elemanlarının seçimi

ABAQUS yazılımı tarafından tasarımcıya, birçok eleman tanımlama veya kütüphanesinden seçim yapma imkanı verilmiştir. Çelik plakalı perde duvar sisteminde hem çelik plakanın hem de sınır elemanlarının şekil değiştirmelerini en iyi şekilde modellemenin yolu olarak kabuki (shell) elemanları seçilmiştir. Çelik plakada tek bir kabuki modelli kullanılsa da, sınır elemanlarının başlık ve gövde plakaları ayrı ayrı modellenmiştir. Bu elemanlar, ABAQUS içerisinde standart olarak bulunan 4 noktalı kabuk eleman olarak kabul edilmiştir. Bu elemanların x,y,z akslarına göre 3 ötelenme ve 3 dönme serbestlik dereceleri bulunmaktadır. Analiz sonuçlarında bu elemanların yerel eksenlerine göre sonuçlar verilmektedir. Bu elemanların pozitif ve negatif değerleri sağ el kuralına göre tanımlanmıştır. Ayrıca kabuki elemanların üst ve alt yüzeyleri, normal yöne göre pozitif ve negatif olarak kabul edilmiştir. Bu 4 noktalı

kabuk elemanlar için, her şekil değiştirme adımında aynı şekil fonksiyonunu kullanan eş parametreler kullanılmıştır.



Şekil 5.3: ABAQUS standart kabuk elemanları.

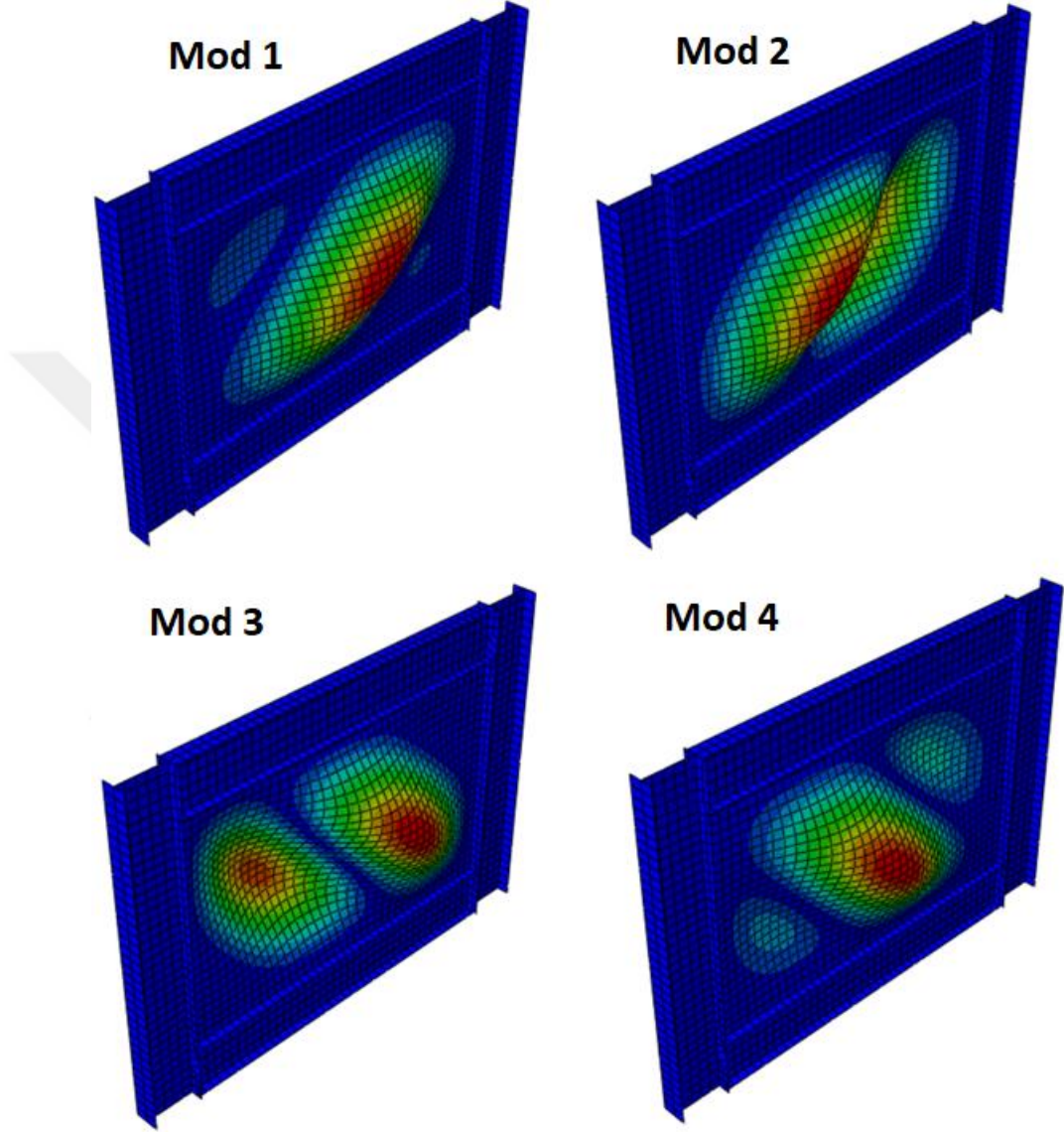
5.2.3 Geometrik kusurların modellenmesi

Sonlu elemanlar programlarında yapılan deney sonuçlarına yakın sonuç elde etmek, analizin güvenilirliği açısından önemli bir ölçüt olarak görülmektedir. Bu yakın sonuçları elde etmek için deney yapılan elemanın birçok etki oluşturabilecek özelliklerini sonlu eleman programlarında dikkate almakla, hem daha yakın sonuçlar elde edilmesi hem de analizi yapılan elemanın davranışını daha iyi belirlenmesi sağlanır.

Dış çevre etkileri ve yapı içindeki elemanın başlangıç koşulları sonucu dikkate alınması gereken etkenlerden biri olan geometrik kusurlar, yönetmelikler içinde bazı formüllerle tasarımcı tarafından yapıya aktarılmaktadır. Ayrıca uygulamada kusursuz bir geometriye sahip olmak neredeyse imkansız olduğundan bu geometrik kusurların da önem taşıdığı kabul edilmektedir. ABAQUS yazılımı içinde bu kusurların tasarımcı tarafından tanımlanmasına imkan verilmektedir.

Sistem üzerinde başlangıçta bulunan geometrik kusurlar, benzer yükleme koşulu dikkate alınarak çelik plakanın burkulma modları süperpoze edilerek modellenmektedir. Bu bölümde yapılan çalışmada çelik plakalı perde duvar sistemi tek katlı olduğundan ilk burkulma modunun şekil değiştirilmiş hali kullanılmıştır. Bu şekil değiştirme haliyle çelik plakanın başlangıç rijitliği düşürülmüş ve geometric kusuru olmayan çelik plakaya göre daha düşük kuvvette burkulması sağlanmıştır. Çok

katlı yapıların modellerinde diğer katlardaki çelik plakaların da burkulma modları da kullanılmalıdır. Tek katlı çelik plakalı perde duvar sisteminin başlangıç geometrik kusur büyüklüğünün modellenmesinde, çelik plakanın kalınlığı değeri kullanılmıştır. Bu büyüklüğün değiştirilmesi bir parametre olarak değerlendirilerek itme analizinde anlatılacaktır.



Şekil 5.4: Çelik plakalı perde duvar sisteminin bazı burkulma modları.

5.2.4 Sınır koşulları

Çelik plakalı perde duvar sisteminin temel çalışma mantığında, çelik plaka burkulma sonrası akma gösterirken yatay sınır elemanlarının uç noktalarında plastikleşme ve düşey sınır elemanlarının ise sadece taban ve çatı katı seviyesinde plastikleşme görülmesine izin verilmektedir. Bu koşullar içerisinde düşey sınır elemanlarının taban plakasının, çelik plakalı perde duvar sisteminin davranışında önemli rol oynadığı kabul edilir ve tasarımcılar tarafından genelde ankastre mafsalları olarak tasarlanırlar. Ayrıca bu

ankastre mafsalları tanımlamasının yanında sistemin davranışı sırasında akması beklenir ve ona göre tasarımı yapılmaktadır.

Sistemde taban seviyesinde bulunan tüm noktalar, çelik plakalı perde duvar sisteminin taban seviyesindeki rijitliğini modellemek için ankastre mafsalları olarak bağlanmıştır. Ayrıca çelik plakalı perde duvar sisteminin sınır elemanlarının dışı doğru ötelenmesini engellemek için de yatay sınır elemanının uç noktaları dışı doğru tutularak mafsallanmıştır.

5.2.5 Bağlantıların modellenmesi

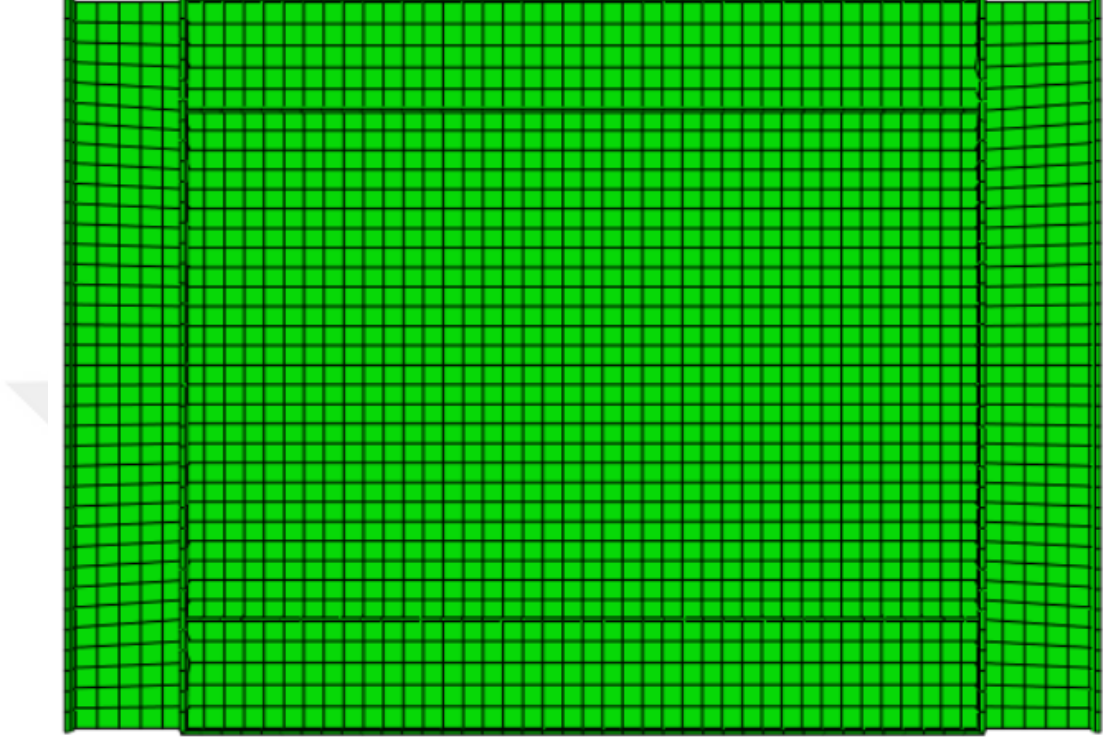
Çelik plakalı perde duvar sisteminde çelik plakadaki akma etkisinin sınır elemanlarına aktarılması, sınır elemanlarının birbirine bağlanması, düşey sınır elemanlarının üst katlara ve zemine bağlanması gibi birçok durum için bağlantılar kullanılmaktadır. AISC 341-16 yönetmeliğine göre bu bağlantıların hepsinin rijit olması ve yükleri tam aktarması zorunlu hale getirilmiştir. ABAQUS üzerinde bu bağlantıların hiçbirini modellenmemiş belli varsayımlarla yakın sonuçlar elde edilmiştir.

ABAQUS üzerinde çelik plakanın etkilerini sınır elemanlarına aktaran ek levhalar modellenmemiş, onun yerine rijit bağlantı olarak varsayılmıştır. Ayrıca bu plakaların rijit bağlantı varsayımı yerine modellenmesinin sistem dayanımı ve davranışı üzerinde önemsiz bir etkisinin olduğu da kanıtlanmıştır. Bu ek levhaların yanında yatay sınır elemanının düşey sınır elemanlarına da olan rijit bağlantıları sistem içinde modellenmemiş ve aynı ek levhalardaki gibi rijit olarak bağlandığı varsayılmıştır. Bunların yanında taban plakaları da aynı diğer plakalar gibi modellenmeyerek sınır koşulları içinde tanımlanmıştır. Son olarak çelik plakalı perde duvar sistemi tek katlı olduğundan düşey sınır elemanları arasında da bağlantıya gerek görülmemiştir.

5.2.6 Modelin bölünmesi

ABAQUS üzerinde yapılan modelin geçerli bir sonuç vermesi için modellenen elemanın alan bölümü seçimi ve sayısı önemli bir ölçüt olarak kabul edilmektedir. Model daha fazla yoğunlukta bölünürse daha belirli sonuçlar elde edilecek ve sistem elemanının sonucu daha iyi tahkik edilebilecektir. Bunun yanında unutulmamalıdır ki modelin daha fazla yoğunlukta bölünmesiyle analiz süresi artırılmış olacak ve bazı durumlarda bu fazla bölünmelerle, model üzerinde sonuçlar kısmında fazla bir değişiklik oluşmamasına rağmen tasarımcı zaman kaybına uğratılacaktır. Son olarak model bölünmesinin çeşidi de sonuçlar üzerinde etkili bir yol olarak kabul edilmektedir. Bu çeşitlerin seçimi modelin geometrisi, model üzerindeki delikler, modeli içindeki bağlantıları gibi birçok faktöre bağlı olup tasarımcı tarafından uygun olanı seçilmelidir.

Çelik plakalı perde duvar sisteminde çelik plaka ve sınır elemanları 4 noktalı kabuk eleman olarak tasarlanmıştır. Bu elemanlar 110x110 mm karelerle bölünmüş ve hata oranı 10^{-5} 'e indirgenmiştir. Bu hata oranının indirgenmesiyle daha kesin sonuçlar elde edilme şansı artırılmıştır.



Şekil 5.5: Çelik plakalı perde duvar sisteminin bölünmesi.

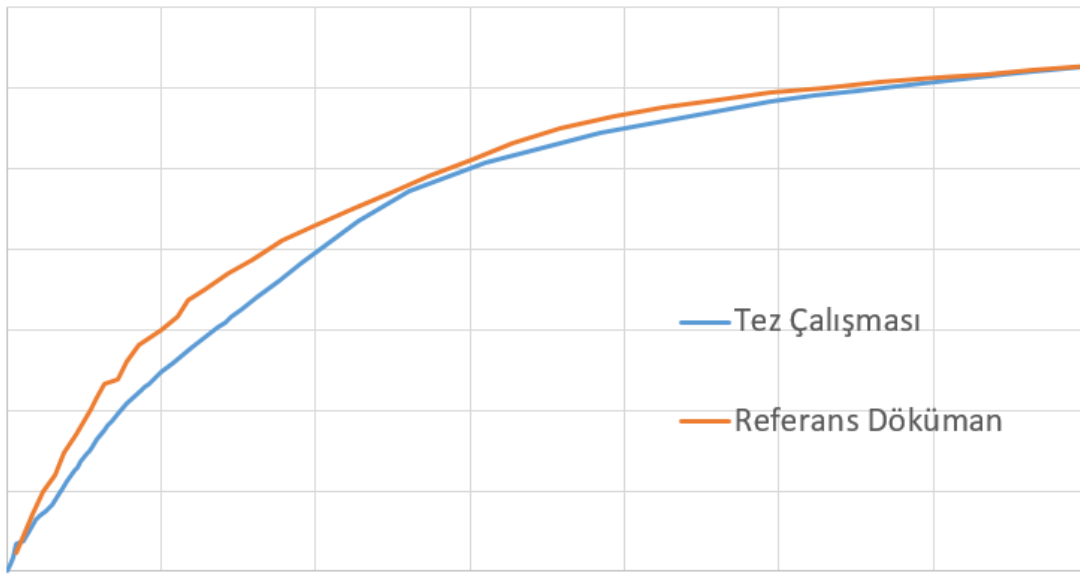
5.3 ABAQUS Modelinin Doğrulanması

Günümüzde birçok makale oluşturulurken fiziksel olarak deneylerin yanında bu deneyleri doğrulayacak sonlu eleman analizleri yapılmaktadır. Özellikle bu çalışmaların içinde bulunmamış okuyucuların sistem tasarımı konusunda endişe duymaması ve yapılan çalışmanın diğer çalışmalarla karşılaştırılması için yapılan çalışmalar, daha önce bu çalışmalara yakın çalışmalarla karşılaştırılır ve hem okuyucuya sunularak kanıtlanmış olur hem de çalışmanın tasarımcı tarafından değerlendirilmesi yapılır.

Bu tez çalışmasının doğrulanması için 2018 yılında B. Amiri, H. AghaRezaei ve R. Esmailabadi tarafından hazırlanan “The Effect of Diagonal Stiffeners on the Behavior of Stiffened Steel Plate Shear Wall” dökümanı referans alınmıştır. Deney yapılan 3 metre genişlikte ve yükseklikteki sistemde 4.76 mm çelik plakanın yanında, yatay sınır elemanları için Kanada çelik profilleri olan W14x342, düşey sınır elemanları için ise W14x398 profili kullanılmıştır. ABAQUS yazılımı üzerinde modellenen bu sistemde, tıpkı bu tez çalışmasında olduğu gibi tüm bağlantılar rijit varsayılmış olup çelik plaka

ve sınır elemanları 4 noktalı kabuk eleman olarak tasarlanmıştır. Test sırasında sınır elemanlarında düzlem dışı burkulma gözlemlenmediğinden sınır elemanlarının üst bölümdeki noktalarının düzlem dışına ötelenmesi tutulmuştur. Ayrıca çelik plakanın doğrusal olmayan davranışını doğru modellemek için çelik plakanın başlangıç koşullarında oluşacak geometrik kusurlar da yazılım içerisinde modellenmiştir.

Sistemin modellenmesi benzerliği ve tipik sistemin modellenmesi sebepleriyle referans proje olarak kabul edilen bu çalışmada, sonlu eleman metodu ile elde edilen sonuçlar deney sonuçlarına yakınlık göstermiş ve bu tez çalışmasında yapılan modelleme ile referans projenin sonlu elemanlar programından elde edilen analiz sonucu karşılaştırılmıştır.



Şekil 5.6: Referans döküman ile tez çalışmasının itme analizlerinin karşılaştırılması.
(The Effect of Diagonal Stiffeners on the Behavior of Stiffened Steel Plate Shear Wall, 2018)

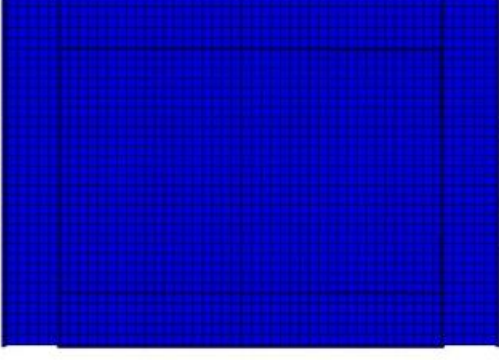
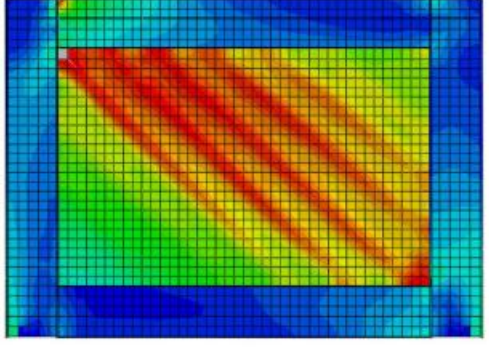
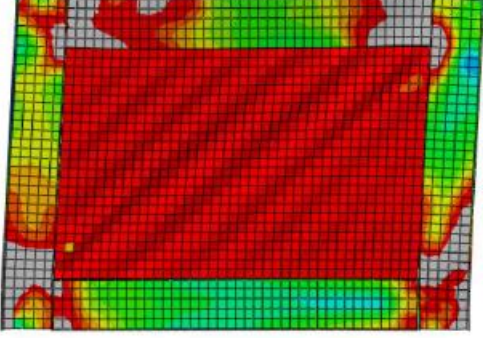
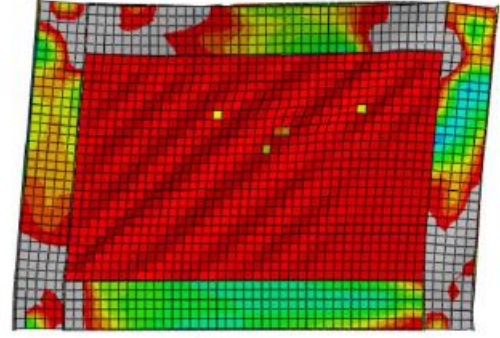
5.4 Sonuç ve Tartışmalar

5.4.1 Çelik plakalı perde duvar sisteminin yatay yük etkisinde davranışı

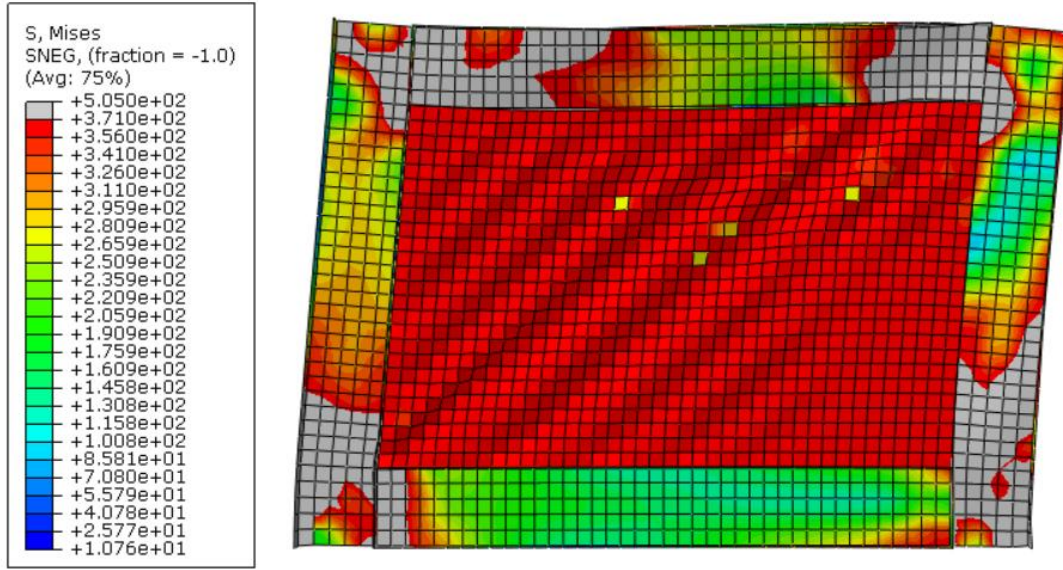
Tipik olarak güçlendirilmemiş çelik plaka, çelik plakanın etkilerine dayanım gösteren sınır elemanları ve bu sistemin bağlantı varsayımları ile modellenen çelik plakalı perde duvar sisteminin analizi, sonlu elemanlar metodu ile yapılmıştır. Bu tipik sistem 3. bölümde yönetmeliklerce el hesaplamaları gösterilmiş sistemle eş olup, sistem elemanları da bu kabullere göre tasarlanmıştır.

Çelik plakalı perde duvar sisteminin üst noktası adım adım yatay olarak ötelenmiş ve bu ötelenme sayesinde sistemin kapasite dayanımı ve ikincil mertebe etkilerin sistem dayanımı üzerindeki etkisi görülmüştür. Çelik plakalı perde duvar sisteminde, yatay

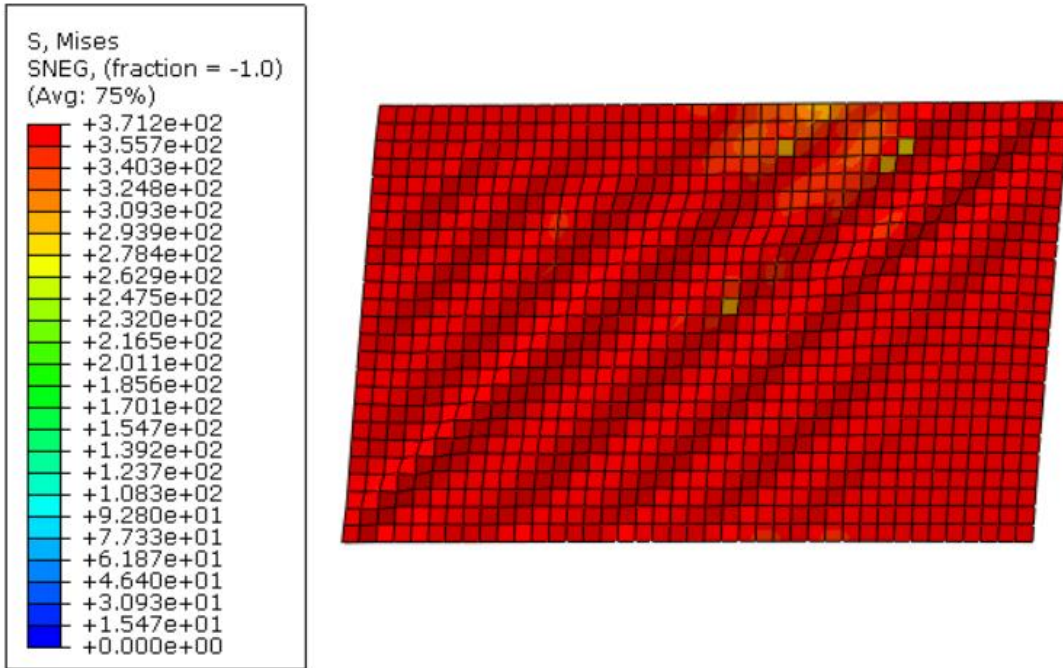
yükün artmasıyla ilk olarak çelik plakanın burkulması ve akma durumuna geçerek doğrusal olmayan davranış göstermesi ve daha sonra ise sınır elemanlarında plastikleşme görülerek önce kapasite dayanımına vardığı daha sonra ikincil mertebeler etkisiyle dayanımında düşüş gözlemlenmiştir. İlk aşamada ana rijitlik çelik plaka tarafından sağlanmış olup daha sonra moment aktaran bağlantıların etkisiyle sınır elemanlarının da katkısı gözlemlenmiştir.

	
Başlangıç Aşaması Çelik plakalı perde duvar sisteminin başlangıç hali.	İlk Yükleme Aşaması Yatay yük etkilmesiyle çelik plaka burkulmaya başlamış, burkulmanın etkisiyle doğrusal olmayan davranış göstermeye başlamıştır. Çelik plakanın burkulma sonrası akma etkisiyle sınır elemanlarında gerilmeler meydana gelmiştir.
	
Çelik plaka + Sınır Elemanları Dayanımı Çelik plaka, düzlem dışı şekil değiştirmeler göstermesi ile tamamiyle akma durumuna geçmiş, çelik plakanın yanında sınır elemanlarının dayanıma katkısı ile sistem kapasite dayanımına ulaşmıştır.	İkincil Mertebeler Evresi Sistem, kapasite dayanımını gördükten sonra sistemde oluşan ikincil mertebeler etkisiyle dayanım kaybetmeye başlamıştır.

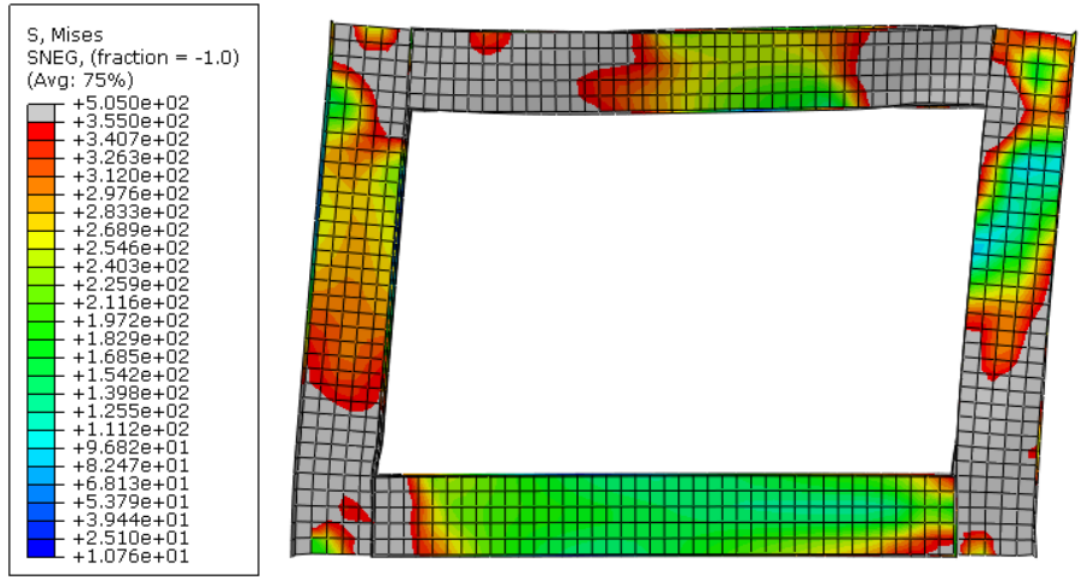
Şekil 5.7a: Çelik plakalı perde duvar sisteminin yatay yük etkisiyle şekil değiştirerek dayanım göstermesi.



Şekil 5.7b: Çelik plakalı perde duvar sisteminin yatay yük etkisi sonucu von mises gerilme dağılışı.

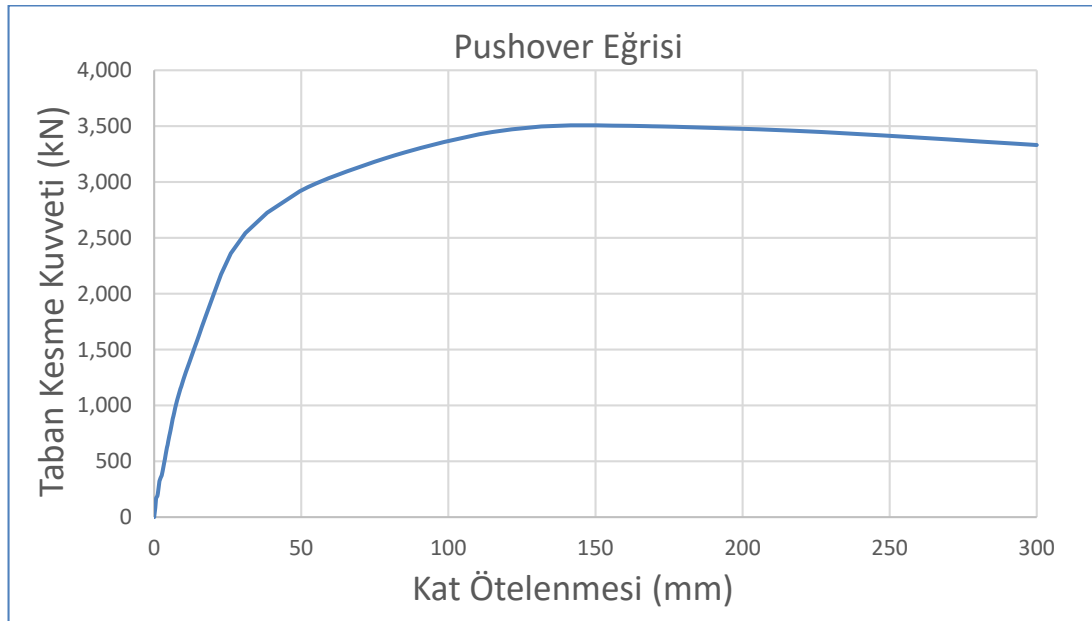


Şekil 5.7c: Çelik plakalı perde duvar sisteminde çelik plakanın yatay yük etkisi sonucu von mises gerilme dağılışı.



Şekil 5.7d: Çelik plakalı perde duvar sisteminin sınır elemanlarının yatay yük etkisi sonucu von mises gerilme dağılışı.

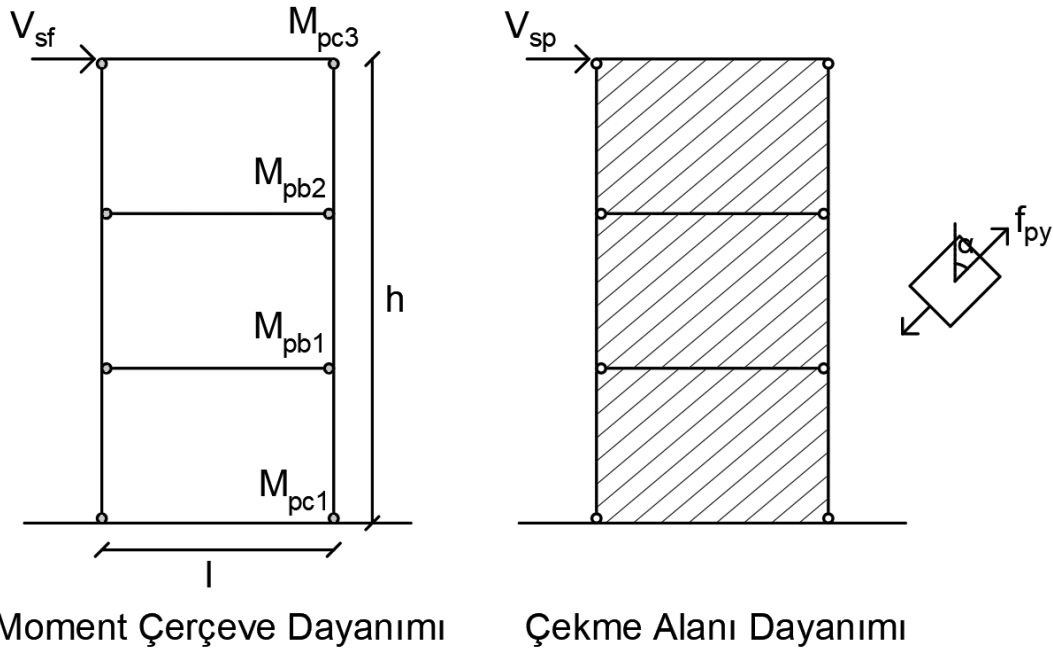
Çelik plakalı perde duvar sisteminin kuvvet sonucu ötelenme davranışının yanında, sistemin kapasite dayanımı incelenmiştir. Yukarıda gösterildiği gibi sistem, kesme kuvvetine sadece çelik plakanın burkulma sonrası akma durumuna geçtikten sonraki doğrusal olmayan davranışı ile dayanım göstermemiş, sınır elemanlarının dayanımda rol oynadığı gözlemlenmiştir. Bu tez çalışması ve birçok makalede bu dayanım etkisi ispatlanmakta olup, yönetmeliklerce sınır elemanlarının dayanıma olan katkısının formüllemesi, daha ekonomik ve daha etkin bir sistem tasarımı için bir gereklilik olarak görülmektedir.



Şekil 5.8: Tek katlı çelik plakalı perde duvar sisteminin kesme kuvveti-şekil değiştirme diyagramı.

5.4.2 Çelik plakalı perde duvar sistemlerinin ABAQUS dizayn dayanımı ve el hesaplarının karşılaştırılması

Çelik plakalı perde duvar sistemlerinde kesme kuvvetine, yönetmelik hesaplarında sadece çelik plaka tarafından dayanım gösterdiği varsayımı yapılsa da, sistemin çelik plaka ve sınır elemanları ile dayanım gösterdiği gözlemlenmiştir. Sistem hesaplarında sonlu elemanlar metodu; gerekli deney ve referans doküman karşılaştırmalarıyla güvenilir ve detaylı bir yöntem olsa da, sistem güvenilirliği için el hesapları da kullanılmaktadır. Bu tez çalışmasında sistemin kesme kuvvetine karşı dayanım hesabında; “Framed Steel Plate Wall Behavior under Cyclic Lateral Loading” dökümanı kullanılmış, çelik plaka ve sınır elemanlarının dayanıma katkısı ayrı ayrı hesaplanarak karşılaştırılmıştır. Formülde kullanılan değerler, 3. Bölümdeki hesaplarda kullanılan değerlerle birebir aynı olarak ayarlanmıştır.



Şekil 5.9: Çelik plakalı perde duvar sistemlerinde kesme kuvveti dayanımı. (Framed Steel Plate Wall Behavior under Cyclic Lateral Loading,2007)

$$V_s = V_{sf} + V_{sp} \quad (5.1)$$

$$V_{sf} = 2x (M_{pc1} + M_{pb1} + M_{pb2} + M_{pc3}) / h \quad (5.2)$$

$$V_{sp} = f_{py} * l * t_p * \sin(\alpha) * \cos(\alpha) \quad (5.3)$$

Formülde:

- V_s = Toplam Kesme Kuvveti Dayanımı
- V_{sf} = Moment Çerçevenin Toplam Kesme Kuvveti Dayanımı

- $V_{sp} = \text{Çelik Plakanın Kesme Kuvveti Dayanımı}$
- $M_{pc} = \text{Düşey Sınır Elemanının Plastik Moment Dayanımı}$
- $M_{pb} = \text{Yatay Sınır Elemanının Plastik Moment Dayanımı}$
- $f_{py} = \text{Çelik Plakanın Akma Dayanımı (235 N/mm}^2\text{)}$
- $t_p = \text{Çelik Plakanın Kalınlığı (1 mm)}$
- $\alpha = \text{Çekme Alanları Açısı (39.42}^\circ\text{)}$

Formüle göre:

$$\text{HEB600 için } M_{pc} = 6425 \cdot 10^6 \cdot 355 / 10^9 = 2280.875 \text{ kNm}$$

$$\text{IPE600 için } M_{pc} = 3512 \cdot 10^6 \cdot 355 / 10^9 = 1246.76 \text{ kNm}$$

$$V_{sf} = 2 \cdot (2280.875 + 2280.875 + 1246.76) / 4 = 2904.255 \text{ kN}$$

$$V_{sp} = 235 \cdot 4400 \cdot 1 \cdot \sin(39.42) \cdot \cos(39.42) / 1000 = 507.22 \text{ kN}$$

$$V_s = 2904.255 + 507.22 = 3411.475 \text{ kN}$$

Çizelge 5.2: ABAQUS dizaynı ile el hesabının karşılaştırılması.

Yapılan Hesap	Kapasite Dayanımı (kN)	Yüzdesel Fark
ABAQUS Dizaynı	3506.8	%0
El Hesabı	3411.475	%2.7

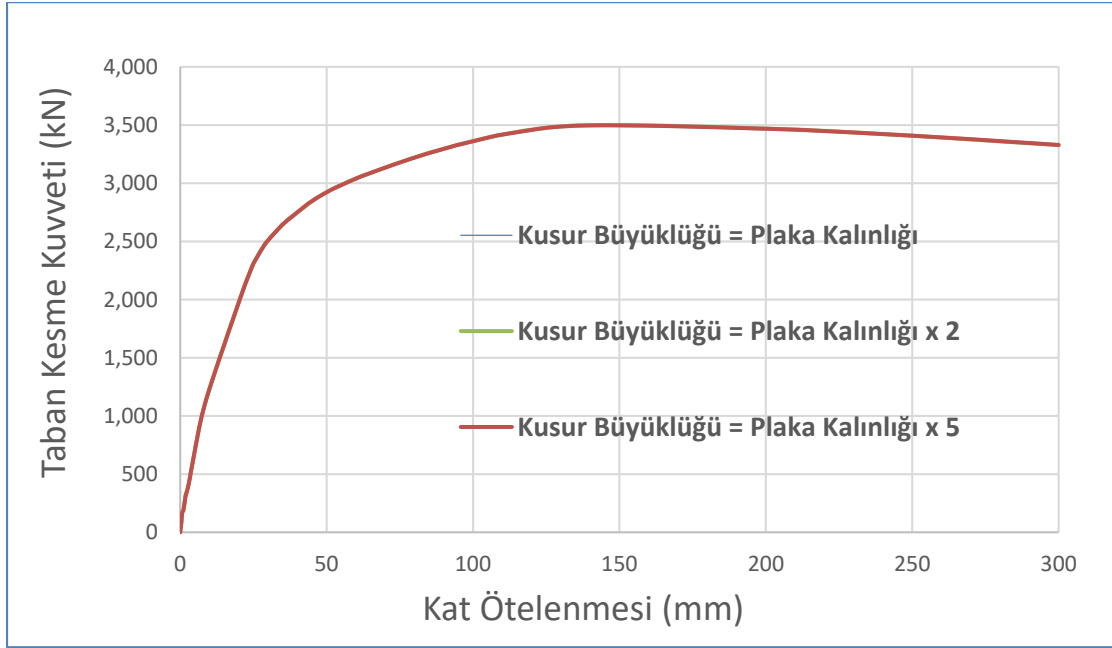
Elde edilen sonuçlara göre, ABAQUS yazılımı ile elde edilen kapasite dayanımı ile el hesaplarının birbirine yakın olduğu görülmüştür. El hesapları, bu analizlerin kontrolü için kesin bir değerlendirme metodu olmasa da sistem kapasite dayanımı hakkında genel bir bilgi aracı olarak kullanılabilir.

5.4.3 Çelik plakalı perde duvar sistemlerinde ince çelik plakada oluşan geometrik kusurların sistem dayanımı üzerindeki etkisi

Yapının fabrika üretimi veya taşınması sırasında, inşaat sahası içerisinde montajı sırasında, deney ortamının etkisiyle veya sistem üzerindeki yükün sonucu sistem elemanları üzerinde geometrik kusurlar görülmektedir. Bu geometrik kusurun tam anlamıyla modellenmesi neredeyse imkansız olsa da bazı varsayımların sonucu olan daha basit formüllerle modellenmektedir.

Çelik profillerin dayanımı, özellikle burkulma sonrası oluşan yeni formlarında daha düşük seviyelerde hesaplanabilir. Bu yüzden çelik profillerin özellikle ilk burkulma modlarındaki kusurların büyükleri bilinirse, geometrik kusurların dayanım üzerindeki etkisi daha iyi şartlar altında incelenebilmektedir.

Çelik plakalı perde duvar sistemlerinde, ince ve hassas olan çelik plaka sonucu geometrik kusurların verilmesi, hem sistem davranışını hem de sistem dayanımını incelemek için önemli bir etken olarak görülmektedir. Bu tez çalışmasında geometrik kusur büyüklüğü, çelik plaka kalınlığı büyüklüğünde alınmış olup, bu kusur büyüklüğün $h/1000$ seviyelerindeki mantıklı ölçülerde büyütülmesinin dayanım üzerindeki etkisi incelenmiştir.



Şekil 5.10: İnce çelik plakada oluşan kusurun çelik plakalı perde duvar sisteminin dayanımı üzerindeki etkisi.

Çizelge 5.3: İnce çelik plakalı perde duvar sisteminin kusur büyüklüğüne göre dayanım değerleri.

Yapılan Hesap	Kapasite Dayanımı (kN)	Yüzdesel Fark
Plaka Kalınlığı	3506.8	%0
Plaka Kalınlığı x 2	3500.18	%0.19
Plaka Kalınlığı x 5	3498.25	%0.24

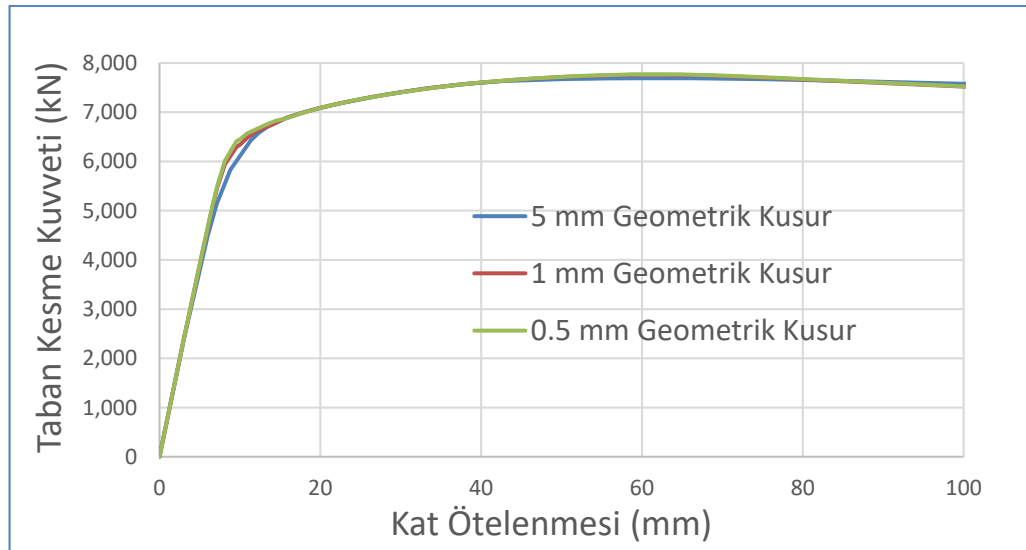
Elde edilen sonuçlara göre çelik plakadaki kusur büyüklüğünün makul derecelerde artmasıyla çelik plakalı perde duvar sisteminin dayanımının düştüğü ama büyüklük olarak sistem dayanımını etkileyecek ölçüde olmadığı gözlemlenmiştir. Tipik çelik plakalı perde duvar sistemlerinde basınç dayanımı düşük ince plakalar kullanıldığından, bu plakaların yatay kuvvet etkisiyle direkt burkularak sistem içerisinde çekme kuvvetine karşı dayanım gösterdiği lakin basınç kuvvetine karşı

dayanım göstermediği gözlemlenir. Burkulma dayanımının düşük olmasından ötürü ince çelik plakalardaki geometrik kusurların sistem dayanımı üzerinde ciddi bir etkisi gözlemlenmemektedir.

5.4.4 Çelik plakalı perde duvar sistemlerinde kalın çelik plakada oluşan geometrik kusurların sistem dayanımı üzerindeki etkisi

Birçok çevresel faktör nedeniyle oluşan geometrik kusurların, çelik plakalı perde duvar sistemlerinde ince plaka kullanıldığında sistem dayanımında ihmal edilebilir etkisi olduğu sonlu elemanlar yöntemi ile gösterilmiştir. Bunun yanında tasarımcı tarafından, çekme alanları yöntemi yerine yalın kesme yöntemiyle büyük kalınlıkta çelik plakalar kullanılarak çelik plakalı perde duvar sistemleri tasarlanabilir. Bu yöntemde çelik plaka, burkulma sonucu akma eğilimi göstermeyerek kesme kuvvetine karşı dayanım gösterecek şekilde büyük kalınlıklarda seçilerek tasarım yapılmakta; sınır elemanları ve bağlantıların tasarımı için kapasite prensibine göre eleman büyüklükleri belirlenmemektedir. Bu sistem; tasarımcılar tarafından ekonomik görülmediğinden dolayı tercih edilmese de, tercih edildiği bazı durumlar gözlemlenmektedir. Bundan dolayı bu tez çalışmasında kalın çelik plakalar kullanıldığı durumda çelik plakada oluşan geometrik kusurların sistem dayanımı üzerindeki etkisi incelenmiştir.

Bu etkinin incelenmesi için çelik plakanın kalınlığı 15 mm değerine çıkarılmış, sınır elemanlarının kesit büyüklükleri, malzeme özellikleri ve sınır koşulları gibi parametreler bir önceki çelik plakalı perde duvar sistemiyle aynı modellenmiştir. Daha büyük kalınlıkta çelik plaka seçimlerinde sınır elemanlarının kesit büyüklükleri yeterli olmadığından lokal burkulmalar görülmüş ve 15 mm değeri uygun görülmüştür.



Şekil 5.11: Kalın çelik plakada oluşan kusurun çelik plakalı perde duvar sisteminin dayanımı üzerindeki etkisi.

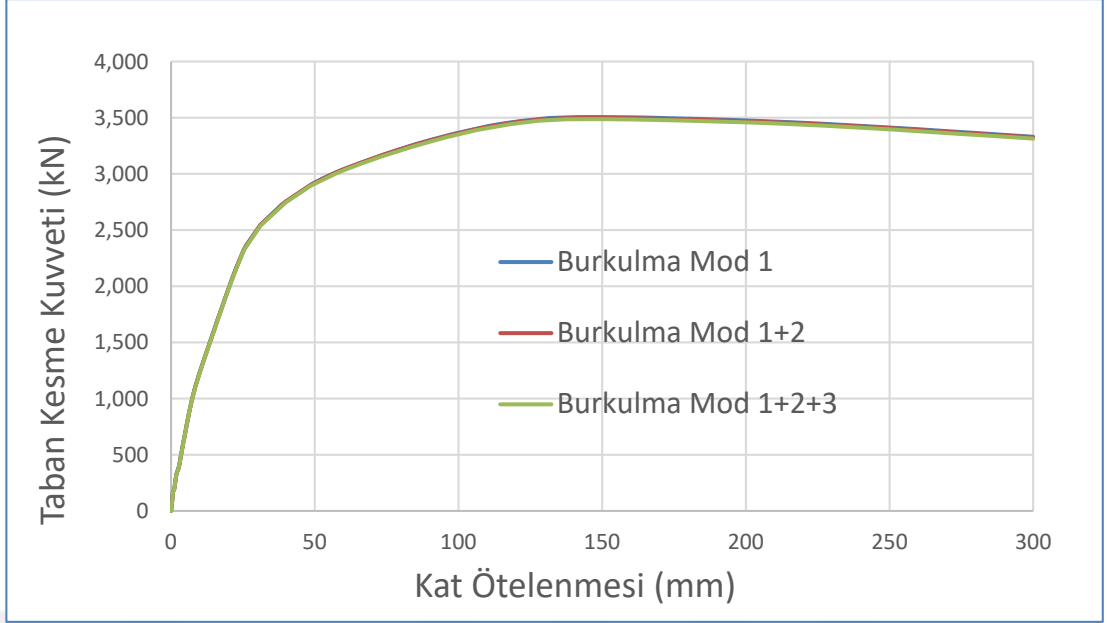
Çizelge 5.4: Kalın çelik plakalı perde duvar sisteminin kusur büyüklüğüne göre dayanım değerleri.

Kusur Büyüklüğü	Kapasite Dayanımı (kN)	Yüzdesel Fark
0.5 mm Geometrik Kusur	7769.11	%0
1 mm Geometrik Kusur	7762.52	%0.08
5 mm Geometrik Kusur	7690.63	%1.01

Geometrik kusurlar, çekme alanları ile dayanım prensibi yerine yalın kesme dayanımı prensibi yani büyük kalınlıkta çelik plakalar kullanılarak plakanın akması değil de kesme kuvvetine burkulmadan dayanım göstermesi üzerine tasarlanan çelik plakalı perde duvar sistemlerinin dayanımında etkili bir parametre olarak incelenebilir. Elde edilen sonuçlara göre büyük kalınlıktaki çelik plakalarda geometrik kusurların artmasıyla, ince çelik plaka seçimine göre sistem dayanımında ihmal edilemeyecek seviyede düşüşler gözlemlenebilmektedir. Bunun sebebi olarak yüksek kalınlıktaki plakaların basınç dayanımı yüksek olduğundan, geometrik kusurlar bu dayanımı etkileyebilir ve düşük kalınlıktaki hassas plakaların aksine sistem dayanımında ciddi düşüşler görülebilir.

5.4.5 Çelik plakalı perde duvar sistemlerinde geometrik kusur hesaplarında farklı burkulma modlarının süperpoze edilmesinin sistem dayanımı üzerindeki etkisi

Çelik plakalı perde duvar sistemlerinin sonlu elemanlar yöntemi ile analizinde çelik plakada oluşacak geometrik kusurların doğru modellenmesi için, sistemin yatay yük etkisi altında oluşacak burkulma modu veya modları dikkate alınmalıdır. Bu sistemlerin tasarımında genelde katlardaki çelik plakalarda oluşacak ilk burkulma modunu dikkate almak yeterli olsa da, diğer burkulma modlarının da dikkate alınması tasarımcı tarafından uygulanabilir.



Şekil 5.12: Çelik plakalı perde duvar sistemlerinde farklı burkulma modlarının süperpoze edilmesinin sistem dayanımı üzerindeki etkisi.

Çizelge 5.5: Çelik plakalı perde duvar sistemlerinde farklı burkulma modlarının süperpoze edilmesinin sistem dayanımı üzerindeki etkisi.

Süperpoze Edilen Burkulma Modları	Kapasite Dayanımı (kN)	Yüzdesel Fark
Burkulma Modu 1	3506.8	%0
Burkulma Modu 1+2	3498.9	%0.23
Burkulma Modu 1+2+3	3487.92	%0.54

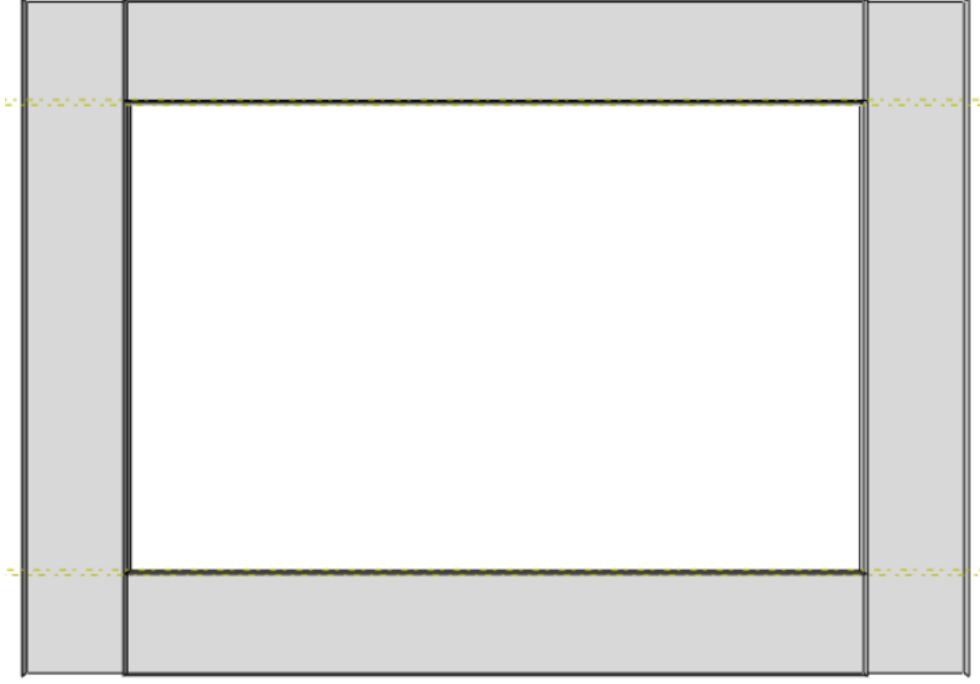
Elde edilen sonuçlara göre çelik plakalı perde duvar sistemlerinde; farklı burkulma modlarını süperpoze etmenin, sistem dayanımı üzerinde ihmal edilebilir etkisi olduğu gözlemlenmiştir. Çelik plakalı perde duvar sistemlerinde, sistem tek katlı ise doğru burkulma modunu veya çok katlı ise katlardaki çelik plakaların doğru burkulma modlarını dikkate almak, sistem dayanımının elde edilmesinde yeterli olarak değerlendirilmektedir.

5.4.6 Çelik plakalı perde duvar sistemlerinde sınır elemanlarının sistem dayanımı üzerindeki etkisi

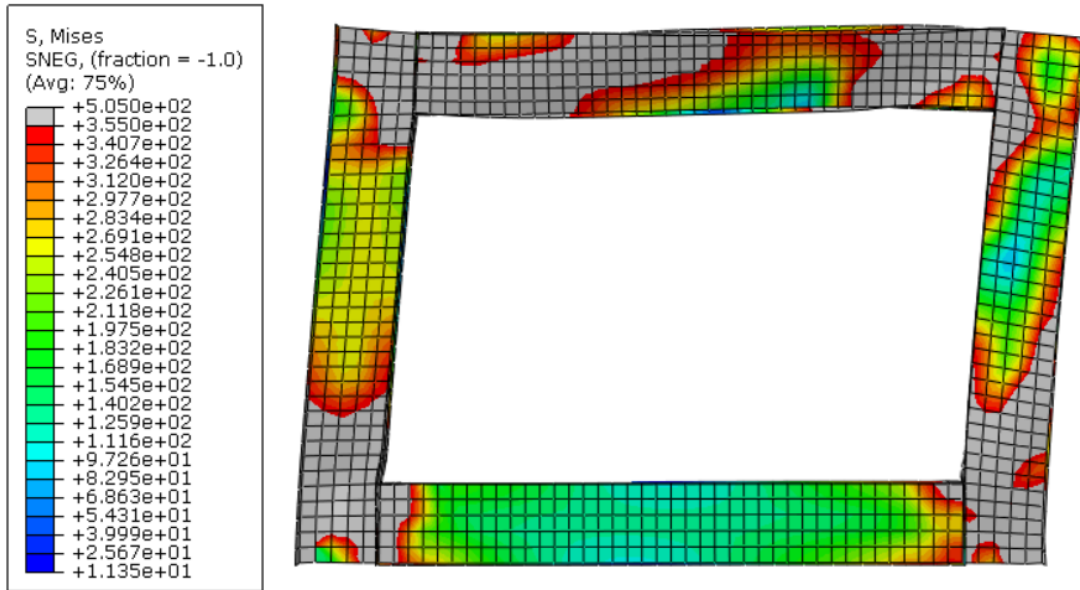
Çelik plakalı perde duvar sistemlerinin yönetmeliklerce belirlenen hesaplamalarında, çelik plakanın güvenlik katsayısı yüksek bir tasarım için yalın kesme kuvvetine dayanım gösterdiği varsayılmaktadır. Bu büyük güvenlik katsayılı tasarımın yanında

AISC 341-16 yönetmeliğinde; mevcut minimum sınır koşullarını sağlayan ve çelik plakanın akması etkisine dayanım gösterecek sınır elemanlarının, tasarımı yapılmış çelik plakalı perde duvar sistemlerinde yatay yük dağılımında en az %25 pay sahibi olması koşulu getirilmiştir.

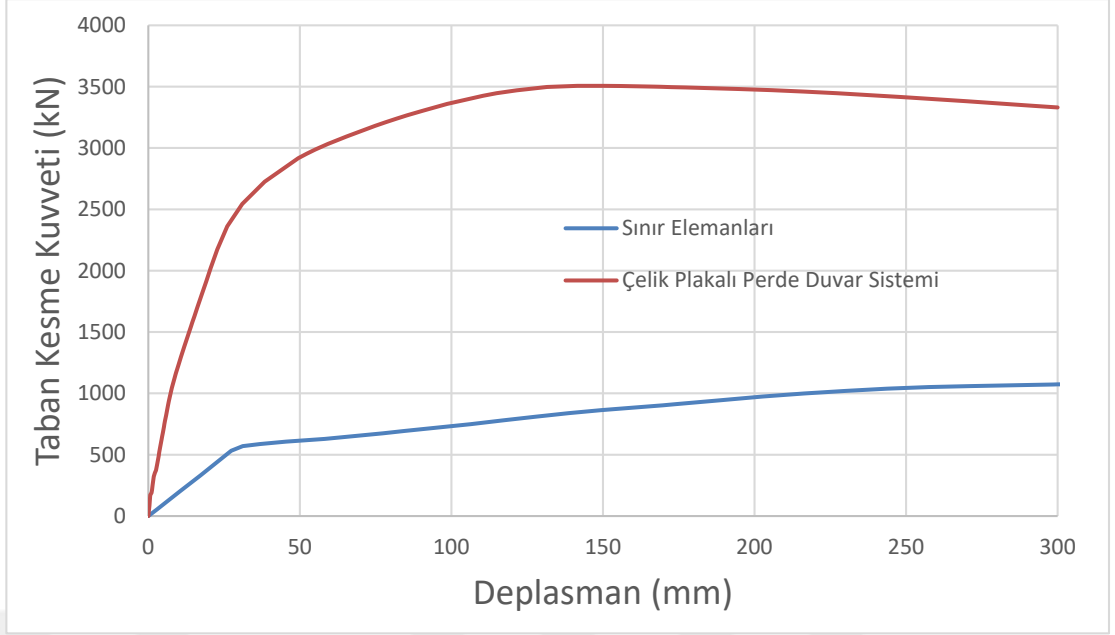
Bu tez çalışmasında sınır elemanlarının çelik plaka olmadan davranışı incelenmiş ve sistem üzerindeki etkisi yalın olarak gösterilmiştir.



Şekil 5.13a: Çelik plakalı perde duvar sistemlerinde sınır elemanları.



Şekil 5.13b: Çelik plakalı perde duvar sistemlerinde sınır elemanlarının yatay yük etkisi sonucu von mises gerilme dağılışı.



Şekil 5.13c: Çelik plakalı perde duvar sisteminde sınır elemanlarının kesme kuvveti-şekil değiştirme grafiği.

Elde edilen sonuçlara göre çelik plakalı perde duvar sistemlerindeki sınır elemanlarının, dayanımın ilk aşamasında yüzdesel olarak büyük katkı vermediği gözlemlenmiştir. Bunun nedeni olarak çelik plakalı perde duvar sistemlerinde dayanımın ilk aşamasında çelik plakanın daha etkin çalışması gösterilebilir. Daha sonraki aşamalarda sınır elemanları sayesinde, çelik plaka büyük düzlem dışı şekil değiştirmeler yaparken sistemde kesme kuvvetine karşı dayanım göstermeye devam edilmiştir.



6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Gelişen ekonomi ve yapı sektöründeki ihtiyaç doğrultusunda inşaat mühendislerinin yapıdaki birtakım gereksinimleri yerine getirme ihtiyacıyla, farklı türde yapı elemanları ve sistemleri üzerine çalışılmıştır. Yapıda stabilite ve dayanım dengesini sağlamak için kullanılan bu taşıyıcı sistemler, tasarımcılar tarafından avantaj ve dezavantajlarıyla değerlendirilmeli ve şartlarla gereksinimler doğrultusunda işverenin ekonomik durumunu da gözетerek en doğru şekilde seçilmelidir. Bu seçimlerle yapıyı kullanan canlılara birçok açıdan konfor sağlanmalı ve mimarlık gibi diğer yapı dizaynı kollarının da işlerini kolaylaştırmalıdır. Özellikle mimar ve makine mühendisleriyle koordine çalışan inşaat mühendisleri bu gereksinimleri sağlamak için, karmaşık hesaplama ve yeni sistem arayışları gibi çözümlere zorlanmıştır.

Yapıdaki düşey ve yatay yükler başta olmak üzere birçok etkene göre tasarlanan yapılar, geçmiş tarihteki deneyler, gözlemler ve hesaplamalarla birçok şarta tabii tutulmuştur. Yapının yüksekliği, konumu, mimarisi ve kullanımı gibi birçok faktör tarafından farklı tasarım şartlarına tutulan inşaat mühendisleri, deprem ve rüzgar başlıca olmak üzere özellikle yatay kuvvetlere karşı yapı elemanları arayışına itilmiştir. 1970'lerden itibaren özellikle Amerika ve Kanada'da kullanılan çelik plakalı perde duvar sistemleri, o tarihlerden itibaren deney ve hesaplamalarla geliştirilmiş ve günümüzde bazı kodlarda gösterilmektedir.

Temel olarak yatay kuvvete karşı burkulma sonrası dayanım gösteren çelik plaka ve bu plakayı sınırlama görevini üstlenen sınır elemanlarından oluşan çelik plakalı perde duvar sistemleri, özellikle betonarme perdelere göre birçok avantajıyla önemli bir alternatif çözüm seçeneği olarak görülmektedir. Enerji yutma kapasitesi, süneklik, mimari alan kazancı gibi birçok avantajı olan bu sistemlerin, yapının etkisine göre ses sorunu, erken burkulma gibi birçok dezavantajının bulunduğu da görmezden gelinmemelidir.

Tasarım için daha çok kullanılan Amerikan yönetmeliğinde tür olarak kısıtlanan bu taşıyıcı sistemlerin, makaleler ve deneylerle birçok farklı türde kullanılabileceği ve

tipik taşıyıcı sistemlerde oluşan bazı dezavantajların giderlebileceği kanıtlanmıştır; fakat her ne kadar tipik sistemde oluşan bazı dezavantajlar giderilse de kullanılan sisteme göre yeni dezavantajlarının da olduğu kabul edilmelidir. Bu yeni taşıyıcı sistemlerin yanısıra yönetmelikte kullanılan tipik taşıyıcı sistemler için kullanılan kısıtlamaların bazılarının yetersiz olduğu bazılarının ise aşırı boyutlandırılmış olduğu hala tartışılmaktadır. Özellikle bu tartışmaların sonucu ileriki yıllarda kodlarda değişikliklere gidileceği yadsınamaz bir gerçek olarak kabul edilebilir.

Tarihte de avantajları nedeniyle kullanılan birçok ana taşıyıcı sistemi çelik plakalı perde duvar sistemleri olan yapılara rastlanmaktadır. Mimari alan gereksinimi, işveren isteği gibi birçok sebeple özellikle betonarme perdeler yerine kullanılan bu sistemlerle, hem ekonomik kazanç hem de istenilen konfor sağlanmıştır.

Proje boyutlandırma hesaplamaları, moment aktaran çelik çerçeveli ve merkezi çarpazlı çelik çerçeveli sistemlere benzeyen bu sistemlerde; çelik plakanın tamamen akmasının sağlanması, plastik mafsalların yatay sınır elemanları ucunda veya zemin kat düşey sınır elemanın tabanında oluşması, düşey ve yatay sınır elemanlarının yeterli kesit büyüklüğünde olması, zayıf YSE-güçlü DSE olması ve bağlantıların çelik plakanın akması gibi birçok şarta dayanım sağlaması gibi birçok hesaplama yapılmaktadır. Özellikle çok katlı yapılarda, bu sistemlerin birbiri üzerindeki etkisi de dikkate alınmalı ve yapının stabilitesine dikkat edilmelidir. Bu hesaplamalar için AISC Design Guide 20 gayet yol gösteren bir doküman olarak seçilebilir.

Ülkemiz kodlarında yer almayan çelik plakalı perde duvar sistemleri, henüz ülkemiz yapılarında da kullanılmamıştır. Ekonomik ve erişilebilirlik bakımından daha avantajlı görülen betonun, özellikle yüksek yapılarda çeliğin kullanımını arka plana ittiğini söylemek doğru olarak değerlendirilebilir. Betonun ülkemizde daha uygun bir malzeme türü olması, çelik plakalı perde duvar sistemlerinin hala Amerika'da geliştiriliyor olması ve geliştirilen yeni tiplerin yönetmeliklerde daha yerini almamış olması ve Türk yönetmeliklerinin güncellenmesi zaman aralığının uzun olması gibi birçok sebepten dolayı bu sistemlerin ülkemizde kullanılmasını geciktirecek etkenler olarak görülebilir.

Sonuç olarak çelik plakalı perde duvar sistemlerini yapı içerisinde kullanılan türüne göre etkin bir sistem olarak tanımlamak mümkün olarak değerlendirilebilir. Bu tezde açıklama, analiz ve hesapların bulunduğu bölümlerde gösterildiği gibi, bu tür güçlendirilmiş taşıyıcı duvar sistemlerinin pozitif ve negatif yanları birçok açıdan

değerlendirilmelidir ve uygun şartlar sağlandığında tasarımcıya gayet büyük fırsatlar sağladığı söylenebilir. Özellikle Amerika’da güncellenecek yeni yönetmeliklerle kapsamı daha da genişletilecek bu sistemler, yakın zamanda olmasa da yakın gelecekte ülkemizde de kullanılacak demek doğru değerlendirilebilir. Ayrıca geliştirilen yeni türlerinin de ileriki zamanlarda önemli yapılarda kullanılması ihtimal dahilinde görülebilir.





KAYNAKLAR

- Afshari, M. J., Asghari, A., ve Gholhaki, M. (2019).** Shear strength and stiffness enhancement of cross-stiffened steel plate shear walls, *International Journal of Advanced Structural Engineering*, 11, 179-183.
- Afshari, M. J., ve Gholhaki, M. (2018).** Shear strength degradation of steel plate shear walls with optional located opening, *ScienceDirect*, 18, 1547-1561.
- Amiri, B., AghaRezaei, H., ve Esmaeilabadi, R. (2018).** The Effect of Diagonal Stiffeners on the Behavior of Stiffened Steel Plate Shear Wall, *Journal of Computational Engineering and Physical Modelling*, 1-1, 58-67.
- ANSI/AISC 341-16:** Seismic Provision for Structural Steel Buildings, American Institute of Steel Construction, Chicago, Illinois, USA.
- ANSI/AISC 360-16:** Specification for Structural Steel Buildings, American Institute of Steel Construction, Chicago, Illinois, USA.
- ASCE (2016).** **ASCE/SEI 7-16:** Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures, American Society of Civil Engineers, Reston, VA.
- Asl, M. H., ve Safarkhani, M. (2017).** Seismic behavior of steel plate shear wall with reduced boundary beam section, *Thin-Walled Structures*, 116, 169-179.
- Borello, D. J., ve Fahnestok, L. A. (2017).** Large Scale Cyclic Testing of Steel Plate Shear Walls with Coupling, *J. Struct. Eng.*, 143 (10), 1-10.
- Bruneau M., Uang C. ve Sabelli R. (2011):** Ductile Design of Steel Structures, McGraw-Hill Companies, USA.
- Bypour, M., Gholhaki, M., Kioumarsi, M., ve Kioumarsi, B. (2019).** Nonlinear analysis to investigate effect of connection type on behavior of steel plate shear wall in RC frame, *Engineering Structures*, 179, 611-624.
- Cao, Q., ve Huang, J. (2018).** Experimental study and numerical simulation of corrugated steel plate shear walls subjected to cyclic loads, *Thin-Walled Structures*, 127, 306-317.

- Cao, Z., Wang, Z., Du, P., Liu, H., ve Fan, F. (2019).** Research on steel plate shear walls stiffened with X-shaped restrainers: Hysteric behavior and effect of height-to-thickness ratio of steel plate, *Thin-Walled Structures*, 144, 1-11.
- ÇYTHYE (2018):** Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapımına Dair Esasları.
- Ding, Y., Deng, E., Zong, L., Dai, X., Lou, N., ve Chen, Y. (2017).** Cyclic tests on corrugated steel plate shear walls with openings in modularized-constructions, *Journal of Constructional Steel Research.*, 138, 675-691.
- Dou, C., Pi, Y., ve Gao, W. (2018).** Shear resistance and post-buckling behavior of corrugated panels in steel plate shear walls, *Thin-Walled Structures*, 131, 816-826.
- Farzampour, A., Mansouri, I., Lee, C., Sim, H., ve Hu, J. W. (2018).** Analysis and design recommendations for corrugated steel plate shear walls with a reduced beam section, *Thin-Walled Structures*, 132, 658-666.
- Ge, M., Hao, J., Yu, J., Yan, P., ve Xu, S. (2017).** Shaking table test of buckling-restrained steel plate shear walls, *Journal of Constructional Steel Research.*, 137, 254-261.
- Ghamari, A., Akbarpour, A., ve Ghanbari, A. (2019).** Improving behavior of semi supported steel plate shear walls, *J. Cent. South Univ.*, 26, 2891-2905.
- Gorji, M. S., ve Cheng, R. J.J. (2017).** Steel plate shear walls with outriggers. Part 1: Plastic analysis and behavior, *Journal of Constructional Steel Research.*, 134, 148-159.
- Gorji, M. S., ve Cheng, R. J.J. (2017).** Steel plate shear walls with outriggers. Part 2: Seismic design and performance, *Journal of Constructional Steel Research.*, 134, 311-324.
- Guo, H., Li, Y., Liang, G., ve Liu, Y. (2017).** Experimental study of cross stiffened steel plate shear wall with semi-rigid connected frame, *Journal of Constructional Steel Research.*, 135, 69-82.
- Guo, L., Hou, J., Li, Z., ve Zhang, S. (2019).** Hysteric Analysis and Simplified Model of Buckling Restrained Steel Plate Shear Walls, *International Journal of Steel Structures*.
- Haddad, O., Sulong, N. H. R., ve Ibrahim, Z. (2018).** Cyclic performance of stiffened steel plate shear walls with various configuration of stiffeners, *JVE International LTD. Journal of Vibroengineering*, 20, 459-476.

- Hajimirsadeghi, M., Mirtaheeri, M., Zandi, A.P., ve Hariri-Ardebili, M.A. (2019).** Experimental cyclic test and failure modes of a full scale enhanced modular steel plate shear wall, *Engineering Failure Analysis*, 95, 283-288.
- Han, Q., Zhang, Y., Wang, D., ve Sakata, H. (2019).** Seismic behavior of buckling-restrained steel plate shear wall with assembled multi-RC panels, *Journal of Constructional Steel Research*, 157, 397-413.
- Jalali, S.A., ve Darvishan, J. (2019).** Seismic demand assessment of self-centering steel plate shear walls, *Journal of Constructional Steel Research*, 162, 1-14.
- Jin, S., ve Bai, J. (2019).** Experimental investigation of buckling-restrained steel plate shear walls with inclined-slots, *Journal of Constructional Steel Research*, 155, 144-156.
- Jin, S., Yang, S., ve Bai, J. (2019).** Numerical and experimental investigation of the full-scale buckling-restrained steel plate shear wall with inclined slots, *Thin-Walled Structures*, 144, 1-14.
- Khaloo, A., Foroutani, M., ve Ghamari, A. (2019).** Influence of diagonal stiffeners on the response of steel plate shear walls (SPSWs) considering crack propagation, *Bulletin of Earthquake Engineering*, 46, 2537-2564.
- Kosari, E., Poursha, M., ve Abedi, K. (2019).** Seismic Evaluation of Tall Unstiffened Steel Plate Shear Wall (SPSW) Systems with Emphasis on Reversal Phenomenon in the Higher Mode Pushover Curve, *International Journal of Civil Engineering*, 17, 523-540.
- Li, C., Tsai, K., Huang, H., ve Tsai, C. (2017).** Cyclic test of steel plate shear walls using box-shaped vertical boundary elements with or without infill concrete, *International Association for Earthquake Engineering*.
- Li, C., Tsai, K., Su, L., Lin, P., ve Lin, T. (2017).** Experimental investigation on seismic behavior and design of bottom vertical boundary elements in multi-storey steel plate shear walls, *Earthquake Engng. Struct. Dyn.*, 47, 2777-2801.
- Liu, W., Li, G., ve Jiang, J. (2017).** Mechanical behavior of buckling restrained steel plate shear walls with two-side connection, *Engineering Structures*, 138, 283-292.

- Lu, J., Yu, S., Qiao, X., ve Na, L. (2018).** Experimental study on Low Cyclic Loading Tests of Steel Plate Shear Walls with Multilayer Slits, *International Journal of Steel Structures*, 18 (4), 1210-1218.
- Lu, J., Yu, S., Xia, J., Qiao, X., ve Tang, Y. (2018).** Experimental study on the hysteric behavior of steel plate shear wall with unequal length slits, *Journal of Constructional Steel Research*, 147, 477-487.
- Ma, Z., Hao, J., ve Yu, H. (2018).** Shaking-table test of novel buckling restrained multi-stiffened low-yield-point steel plate shear wall, *Journal of Constructional Steel Research*, 145, 128-136.
- Meghdadaian, M., ve Ghalehnovi, M. (2019).** Improving seismic performance of composite steel plate shear walls containing openings, *Journal of Building Engineering*, 21, 336-342.
- Nassernia, S., ve Showkati, H. (2017).** Experimental study of opening effects on mid-span steel plate shear walls, *Journal of Constructional Steel Research*, 137, 8-18.
- Nguyen, N. H., ve Whittaker, A. S. (2017).** Numerical modelling of steel-plate concrete composite shear walls, *Engineering Structures*, 150, 1-11.
- Oh, K., Ha, H., Jo, B., ve Lee, K. (2019).** An Analytical Study on Structural Performance Evaluation of Coupled Steel Plate Shear Wall Systems, *International Journal of Steel Structures*, 19 (1), 1-13.
- Ozcelik, Y., ve Clayton, P. M. (2018).** Behavior of columns of steel plate shear walls with beam-connected web plates, *Engineering Structures*, 172, 820-832.
- Park, H., Kwack, J., Jeon, S., Kim, W., ve Choi, I. (2007).** Framed Steel Plate Wall Behavior under Cyclic Lateral Loading, *Journal of Structural Engineering*, 133, 378-388.
- Pavir, A., ve Shekastehband, B. (2017).** Hysteretic behavior of coupled steel plate shear walls, *Journal of Constructional Steel Research*, 133, 19-35.
- Phillips, A. R., ve Eatherton, M. R. (2018).** Large scale experimental study of ring shaped-Steel plate shear walls, *Journal of Constructional Steel Research*, 133, 19-35.
- Phillips, A. R., ve Eatherton, M. R. (2018).** Computational study of elastic and inelastic ring shaped-steel plate shear wall behavior, *Engineering Structures*, 177, 655-667.

- Rassouli, B., Shafaei, S., Ayazi, A., ve Farahbod, F. (2016).** Experimental and numerical study on steel-concrete composite shear wall using light-weight concrete, *Journal of Constructional Steel Research*, 126, 117-128.
- Qi, Y., Gu Q., Sun, G., ve Zhao, B. (2017).** Shear force demand on headed stud for the design of composite steel plate shear wall, *Engineering Structures*, 148, 780-792.
- Qin, Y., Lu J., Huang, L., ve Cao, S. (2017).** Flexural Behavior of Anchor Horizontal Boundary Element in Steel Plate Shear Wall, *International Journal of Steel Structures*, 17 (3), 1073-1086.
- Qui, A., Zhao, Q., Yu C., ve Li, Z. (2018).** Experimental Studies on Cyclic Behavior of Corrugated Steel Plate Shear Walls, *J. Struct. Eng.*, 144 (11), 1-12.
- Sabelli, R., ve Bruneau M. (2006).** AISC Design Guide 20-Steel Plate Shear Walls with Coupling, AISC, Chicago.
- Shafaei, S., Farahbod, F., ve Ayazi, A. (2017).** Concrete Stiffened Steel Plate Shear Walls With an Unstiffened Opening, *Structures*, 12, 40-53.
- TBDY (2018):** Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, AFAD Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı.
- TS EN 1991-1-4 (2007):** Yapılar Üzerindeki Etkiler- Bölüm 1-4: Genel Etkiler- Rüzgar Etkileri (Eurocode 1), Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Verma, A., ve Sahoo, D. R. (2017).** Seismic behavior of steel plate shear wall systems with staggered web configuration, *Earthquake Engng. Struct. Dyn.*, 47, 660-677.
- Wang, M., Borello, D. J., ve Fahnstock, L. A. (2017).** Boundary frame contribution in coupled and uncoupled steel plate shear walls, *International Association for Earthquake Engineering*, 46, 2355-2380.
- Wang, M., ve Yang, W., (2018).** Equivalent constitutive model of steel plate shear wall structures, *Thin-Walled Structures*, 124, 415-429.
- Wang, P., Xue Z., ve Xiao, S. (2017).** Seismic behavior of Self-Buckling Restrained Steel Plate Shear Wall made by two-incline-slotted infill plates, *Journal of Constructional Steel Research*, 133, 47-64.
- Wang, X., ve Xie, C. (2019).** Experimental and Numerical Investigation of Steel Beam-to-CFST Column Frame- Thin Steel Plate Shear Walls with Cross Stiffeners, *International Journal of Steel Structures*.

- Wang, W., Ren, Y., Han, B., Ren, T., Liu, G., ve Liang, Y. (2018).** Seismic performance of corrugated steel plate concrete composite shear walls, *Struct. Design Tall Spec. Build.*, 28, 1-22.
- Wang, W., Wang, Y., ve Lu, Z. (2018).** Experimental study on seismic behavior of steel plate reinforced concrete composite shear wall, *Engineering Structures*, 160, 281-292.
- Wei, M., Liew, J. Y., Du, Y., ve Fu, X. (2017).** Seismic behavior of novel partially connected buckling-restrained steel plate shear walls, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 103, 64-75.
- Wei, M., Liew, J. Y., ve Fu, X. (2019).** Nonlinear Finite Element Modelling of Novel Partially Connected Buckling-Restrained Steel Plate Shear Walls, *International Journal of Steel Structures*, 19 (1), 28-43.
- Wei, M., Liew, J. Y., ve Fu, X. (2017).** Shear resistance of Buckling-restrained Steel Plate Shear Walls, *International Journal of Steel Structures*, 17 (3), 1233-1248.
- Wei, M. W., Liew, R. J. Y., Du Y., ve Fu, X. (2017).** Experimental and numerical investigation of novel partially connected steel plate shear walls, *Journal of Constructional Steel Research*, 132, 1-15.
- Wei, M. W., Liew, R. J. Y., Du, Y., ve Fu, X. (2017).** Seismic behavior of novel partially connected buckling restrained steel plate shear walls, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 103, 64-75.
- Weng, W., Weigu, Y., Yongjiu, S., ve Jian, X. (2015).** Seismic behavior of steel plate shear wall structures with construction details and materials, *Journal of Constructional Steel Research*, 107, 194-210.
- Xu, L., Liu, J., ve Li, Z. (2018).** Behavior and design considerations of steel plate shear wall with self-centering energy dissipation braces, *Thin-Walled Structures*, 132, 629-641.
- Xu, L., Liu, J., ve Li, Z. (2019).** Cyclic behaviors of steel plate shear wall with self-centering energy dissipation braces, *Journal of Constructional Steel Research*, 153, 19-30.
- Xu, T., Shao, J., Zhang, J., ve Kaewunruen, S. (2019).** Experimental Performance Evaluation of Multi-Storey Steel Plate Shear Walls Designed by Different Methods, *International Journal of Civil Engineers*, 17, 1145-1154.

- Yu, J., Feng, X., Hao, J., ve Gao, X. (2019).** Experimental Study of Composite Steel Plate Shear Wall with Flush End-Plate Connction, International Journal of Steel Structures.
- Yu, J., Feng, X., Li, B., ve Chen, Y. (2018).** Effects of non-welded multi-rib stiffeners on the performance of steel plate shear walls, Journal of Constructional Steel Research, 144, 1-12.
- Yu, J., Feng, X., Li, B., Hao, J., Elamin, A., ve Ge, M. (2018).** Performance of steel plate shear walls with axially loaded vertical boundary elements, Thin-Walled Structures, 125, 152-163.
- Yu, J. G., Feng, X., Li, B., ve Hao, J. (2018).** Cyclic performance of cross restrained steel plate shear walls with transverse braces, Thin-Walled Structures, 132, 250-264.



ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Halil Furkan TAŞTAN

Doğum Yeri ve Tarihi: Tokat/1994

Adres: İstanbul

E-Posta: furkkantastan@gmail.com

Lisans: İstanbul Teknik Üniversitesi (2012-2017)