İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BERKİTMESİZ ÇELİK PLAKA PERDE DUVARLARIN YATAY YÜKLER ALTINDA DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş. Müh. Yüksel SARIBOĞA

Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Programı : YAPI MÜHENDİSLİĞİ

HAZİRAN 2008

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BERKİTMESİZ ÇELİK PLAKA PERDE DUVARLARIN YATAY YÜKLER ALTINDA DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş. Müh. Yüksel SARIBOĞA
(501051131)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 5 Mayıs 2008
Tezin Savunulduğu Tarih : 10 Haziran 2008

Tez Danışmanı : Prof.Dr. Nesrin YARDIMCI

Diğer Jüri Üyeleri : Prof.Dr. Cavidan YORGUN (İ.T.Ü.)

Prof.Dr. Zafer ÖZTÜRK (Y.T.Ü)

HAZİRAN 2008

ÖNSÖZ

İstanbul Teknik Üniversitesinde, 2000 yılında başladığım öğrenim hayatımda öğrendiklerimi bu tezimle pekiştirmiş bulunmaktayım. Öğrencisi olmaktan her zaman gurur duyduğum Üniversitemin bana kazandırdığı bilgi ve becerileri gerek lisans eğitimim gerekse yüksek lisans eğitimim süresince yaşayarak öğrendim.

Dört yıllık lisans eğitimim sonunda aldığım temel bilgileri, başladığım yüksek lisans programı ile birlikte daha ileriye götürme şansını buldum. Yüksek lisans eğitimimde geçen üç yılın sonunda hayata ve onun en önemli uğraşılarından biri olan mühendisliğe bakış açım olumlu yönde gelişti.

Sekiz yıllık uzun yolun sonunda, benden yardımlarını esirgemeyen, verdiği akademik ve mesleki bilgileri ile hayatıma katkısı çok büyük olan sevgili ve saygıdeğer öğretmenim Prof. Dr. Nesrin YARDIMCI başta olmak üzere, çalışmalarım sırasında bilgilerinden yararlandığım Dr. Cüneyt VATANSEVER'E ve diğer bütün öğretmenlerime, her zaman maddi ve manevi olarak yanımda olan aileme ve mühendislik bilgilerini benimle paylaşan arkadaşlarıma teşekkürü bir borç bilirim.

Mayıs 2008 **Yüksel SARIBOĞA**

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ **I**
İÇİNDEKİLER **II**
KISALTMALAR **VI**
TABLO LİSTESİ **VII**
ŞEKİL LİSTESİ **VIII**
SEMBOL LİSTESİ **XI**
ÖZET **XIII**
SUMMARY **XV**

1. GİRİŞ 1
1.1. Binalarda Deprem Etkileri 1
1.2. Binalarda Rüzgâr Etkileri 2
1.3. Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı 2
1.3.1. Kullanılabilir Sınır Durumu 2
1.3.2. Hasar Kontrol Sınır Durumu 3
1.3.3. Göçme Kontrolü Durumu 3
1.4. Depreme Dayanaklı Yapılarda Aranan Özellikler 3
1.4.1. Yapının Genel Davranışı 3
1.4.2. Rijitlik ve Deprem 4
1.4.3. Süneklik 4
1.5. Depreme Dayanıklı Çelik Yapı Tasarımı 4

2. ÇELİK PLAKA PERDE DUVARLARI **7**
2.1. Tanım 7
2.2. Çelik Plaka Perde Duvar Tipleri 9
2.2.1. Berkitmeli Çelik Plaka Perde Duvarlar 9
2.2.2. Berkitmesiz Çelik Plaka Perde Duvarlar 10
2.3. Çelik Plaka Perde Uygulamalarında Göz Önünde Bulundurulması Gerekenler 12

3. LİTERATÜR TARAMASI **14**
3.1. Çelik Plaka Perde Duvarı Sisteminin Uygulandığı Bazı Yapılar 14
3.1.1. Japonya - Tokyo'daki 20 Katlı Bir Ofis Binası 14
3.1.2. Japonya - Tokyo'da 53 Katlı Yüksek Bir Yapı 15
3.1.3. ABD - Dallas'ta 30 Katlı Bir Otel 17
3.1.4. Japonya - Kobe'de 35 Katlı Bir Ofis Binası 18
3.1.5. Kaliforniya - San Francisco'da 52 Katlı Bir Konut Binası 19
3.1.6. A.B.D – Seattle 22 Katlı bir Ofis Binası 20
3.2. Çelik Plaka Perde Duvarlarının Laboratuar Testleri 21
3.2.1. Mimura ve Akiyama (1977) 22
3.2.2. Thorburn, Kulak, ve Montgomery (1983) 23
3.2.3. Timler ve Kulak (1983) 26

3.2.4. Tromposh ve Kulak (1987) 28
3.2.5. Elgaaly ve Çalışma Arkadaşları (1993A) 30
3.2.6. Xue ve Lu (1994) 32
3.2.7. Driver, Kulak, Kennedy, ve Elwi (1997; 1998A,B) 33
3.2.8. Lubell (1997) 38
3.2.9. Takanashi, Mimumra ve Akiyama (1973) 41
3.2.10. Sugii ve Yamada (1992, 1996) 42
3.2.11. Elgaaly ve Liu (1997) 45
3.2.12. Saburi-Ghomi ve Roberts (1992, 1995) 45
3.2.13. Timler ve Çalışma Arkadaşları (1998) 47
3.2.14. Rezai (1999) 48
3.2.15. Astaneh-Asl (2001) 49
3.2.16. Kulak ve Çalışma Arkadaşları (2001) 52
3.2.17. Behbahanifard, Grodin, ve Elwi (2003) 53
3.2.18. Berman ve Bruneau (2003) 54
3.2.19. Kharrazi ve Çalışma Arkadaşları (2004) 55

4. AYRINTILI MODEL 57
4.1. Giriş 57
4.2. Test numunesi ve Model Geometrisi ve Yükleme 59
4.3. Panel Bölgeleri 61
4.4. Plastik Mafsallar 63
4.5. Sıkıştırma Desteği 66
4.6. Dolgu Plakanın Zayıflaması (Bozulması) 67
4.7. Ayrıntılı Model Analizi ve Sonuçları 68
4.7.1. İtme Analizine Toplu bakış 68
4.7.2. Ayrıntılı Modelin İtme Analizi 70
4.8. İtme Analizi Sonuçları 71
4.9. Özet 73

5. SADELEŞTİRİLMİŞ MODEL 74
5.1. Giriş 74
5.2. Çerçeve Düğüm Noktası Düzenlemesi 74
5.3. Diagonal Çekme Bantlarının Dağınık Düzenlenmesi 78
5.4. Çift Doğrulu (Bi-Lineer) Plastik Mafsallar 80
5.5. Zayıflama Mafsalı ve Sıkıştırma Desteği 81
5.6. Sadeleştirilmiş Modelin İtme Analizi Sonuçları 82
5.7. Sıkıştırma Desteği Sınırlayıcı Geriliminin Hassasiyet Analizi 84
5.8. Modifiye Şerit Modelinin Çerçeve Kuvvet Sonuçları 85
5.9. Özet 87

6. MODİFİYE ŞERİT MODELİN DEĞERLENDİRİLMESİ 89
6.1. Giriş 89
6.2. Timler ve Kulak (1983) numunesi 90
6.2.1. Model Geometrisi ve Yükleme 90
6.2.2. Analiz Sonuçları ve Model Geliştirme 93
6.3. Lubell (1997) Tek Katlı Numunesi (SPSW2) 95
6.3.1. Model Geometrisi ve Yükleme 95
6.3.2. Analiz Sonuçları ve Model Geliştirme 97

6.4. Lubell (1997) Dört katlı Modeli (SPSW4) 99
6.4.1. Model Geometrisi ve Yükleme 99
6.4.2. Analiz Sonuçları ve Model Geliştirme 101
6.5. Özet 103

7. ÇELİK PERDE DUVARLARI YÖNETMELİK MADDELERİ 104
7.1. Giriş 104
7.2. Çelik Plaka Perde Duvarlarinin Sismik Tasarımı ile İlgili Yönetmelik Maddeleri 104
7.3. ABD Yönetmeliklerini Kullanarak Çelik Plaka Perde Duvar Sistemleri için Bazı Hesaplar 105
7.3.1. Deprem Yüklerinin Belirlenmesi 105
7.3.2. Çelik Plaka Perde Duvarları için ρ Değeri Hesabı 105
7.3.3. Çelik Plaka Perde Duvarları için Qe (Ve R-Faktörü) Hesabı 106
7.3.4. Çelik Plaka Duvarlar için Ω_o'ın değeri: 109
7.3.5. Çelik Plaka Duvarlar için C_d'nin Değeri: 109
7.3.6. Çelik Plaka Perde Duvarlar için Sismik Maddeler: 110
7.3.7. AISC'de Çelik Plaka Perde Duvar ile ilgili Sismik Maddeler: 110
7.3.8. Kanada Yönetmeliği'nde Perde Duvar Tasarımı Üzerine Bilgi: 110
7.4. Çelik Plaka Perde Duvar Sistemi Tipleri 111
7.5. Çelik Plaka Perde Duvarın Kesme Kuvveti Altındaki Davranışı 112
7.5.1. Çelik Perde Duvar Sistemleri İçin Sismik Tasarım Yöntemi Geliştirilmesi 114
7.5.2. Çelik Plaka Perde Duvarda Ana Göçme Modları 115
7.5.3. Göçme Modlarının Hiyerarşik Sırası 115
7.6. Perde Duvarların Kesme, Eğilme ve Kesmeli Eğilme Kapasitelerinin Tespit Edilmesi 116
7.6.1. Çelik Perde Duvarların Kesme Kapasitesi 116
7.6.2. Perde Duvarın Eğilme Kapasitesi 117
7.6.3. Çelik Perde Duvarın Birleşik V-M ve V-M-P Kapasiteleri 117
7.6.4. Çelik Perde Duvar Plaklarının Sınır Kiriş ve Kolonlara Birleşimlerinin Tasarımı 117
7.6.5. Plakanın Boyutlandırılması için Sayısal Örnek 118

8. PARAMETRİK ÇALIŞMA 120
8.1. Giriş 120
8.2. Dizayn Kriteri 120
8.3. Parametreler 123
8.4. Tek Katlı Modeller 124
8.4.1. Model Düzenleme ve Dizayn 124
8.4.2. Analiz ve Sonuçlar 125
8.5. Dört Katlı Modeller 126
8.5.1. Model Düzenleme ve Dizayn 126
8.5.2. Analiz ve Sonuçlar 127
8.6. Onbeş Katlı Modeller 129
8.6.1. Model Düzenlemesi ve Dizayn 129
8.6.2. Analiz ve Sonuçlar 130
8.7. ÖZET 131

9. SONUÇLAR VE ÖNERİLER **133**
KAYNAKLAR **135**
EKLER **138**
ÖZGEÇMİŞ **156**

KISALTMALAR

AISC	: American Institute of Steel Construction
ASD	: Allowable Sters Design
LRFD	: Load and Resistance Factor Design
UBC	: Uniform Building Code
FEMA	: Federal Emergency Management Agency
IBC	: International Building Code
ASCE	: American Society of Civil Engineers
ATC	: Applied Technology Council

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 4.1	Ayrıntılı model için tanımlanan malzeme özellikleri…….	59
Tablo 4.2	Mafsal tanımlamaları …….	65
Tablo 4.3	Eksenel mafsal tanımlamaları ……...	67
Tablo 5.1	Çift doğrulu (bi-lineer) plastik mafsal değerleri	81
Tablo 5.2	Ç ekme bantlarında çift doğrulu (bi-lineer) eksenel mafsal değerleri ……...	81
Tablo 6.1	Eksenel mafsal tanımları ……...	91
Tablo 7.1	Basit sismik kuvvet direnç sistemleri için tasarım katsayıları ve faktörleri ……..	108
Tablo 7.2	Çelik perde duvarları sismik kuvvet direnç sistemleri için önerilen tasarım katsayıları ve faktörleri …….	109
Tablo 7.3	Kanada ve Amerikan yönetmeliklerindeki çelik plaka perde duvar için, R faktörleri ……	111
Tablo A.1	Ölü yük tablosu …….	149
Tablo A.2	Tek katlı modeller için Parametreler ve dizayn listesi ……..	150
Tablo A.3	α'nın değerlerinin farklı geometrik düzenlemelerde değişimi …..	151
Tablo A.4	Dört katlı modellerin, parametreleri ve tasarlanmış öğelerinin tek katlı modellere benzer şekilde gruplandırılmış listesi …….	152
Tablo A.5	α'nın değerinin farklı geometrik düzenlemelerde, çelik perde duvarın davranışı ……	153
Tablo A.6	On beş katlı modeller için parametreleri ve tasarım elemanlarının listesi …….	154
Tablo A.7	Onbeş katlı parametrik çalışma modelleri için öngörülen taban kesme değerlerinin karşılaştırılması ……	155

ŞEKİL LİSTESİ

SAYFA NO

Şekil 2.1	Çelik plaka perdeli çerçevenin ana elemanları; kolonlar, kat kirişleri ve çelik plakalar ……	7
Şekil 2.2	Berkitmeli çelik perde duvar sistemi görüntüsü…….	10
Şekil 2.3	Berkitmesiz çelik plaka perde duvar sisteminden bir görüntü……	11
Şekil 2.4	Çapraz elemanlı uygulamalar ve bunların plaka perdeli sistem Karşılıklar……	13
Şekil 2.5	Perde duvarlarının örnekleri……...	13
Şekil 3.1	Nippon çelik binasının tipik kat planı …….....	14
Şekil 3.2	Nippon çelik binasında kullanılan çelik plaka perdelerin detayları.	15
Şekil 3.3	Tokyoda'ki 56 katlı binanın planı ve enine kesiti…….	16
Şekil 3.4	Dallas'taki 30 katlı yapının görünüşü……...	17
Şekil 3.5	Kobe'deki 35 katlı binanın plan ve kesit görünüşü……..	18
Şekil 3.6	35 Katlı binanın bir görünüşü ve 26. katın perde duvarının hasarı.	19
Şekil 3.7	Century binasının temsili resmi…….……...	20
Şekil 3.8	Binanın temsili resmi……	20
Şekil 3.9	Beton dolgulu tüpler ve Tüpler arası Berkitmeli Çelik Plaka perde duvar uygulaması…….	21
Şekil 3.10	Histeretik Model……...	23
Şekil 3.11	Şematik çelik plaka perde duvar şerit modeli……..	24
Şekil 3.12	Eşdeğer Destek (Pratt kiriş) modeli……..	26
Şekil 3.13	Alberta Ünversitesi'nde yapılan ilk statik yükleme testi…….	27
Şekil 3.14	Alberta Üniversitesi'nin ikinci testi (çevimsel yükleme)…….	27
Şekil 3.15	Tromposch ve Kulak tarafından önerilen çevimsel yükleme……..	29
Şekil 3.16	Timler ve Kulak (1983) test numunesi…….	30
Şekil 3.17	Elgaaly test numunesi ve davranışı……...	31
Şekil 3.18	Test düzeneği……	34
Şekil 3.19	Test numunesinin sonlu elemanlar modeli……	35
Şekil 3.20	Test numunesinin sonlu elemanlar modeli ile karşılaştırılması……	36
Şekil 3.21	Test numunesinin şerit model analizi ile karşılaştırılması……	37
Şekil 3.22	Test numunesinin şerit modeli…….....	38
Şekil 3.23	Dört katlı plaka perde duvar test numunesi (SPSW4)……..	39
Şekil 3.24	Tek katlı ve dört katlı test numulerinin karşılaştırılması……..	40
Şekil 3.25	Tipik test düzeneği ve 1mm kalınlıklı plakanın histeretik davranışı	44
Şekil 3.26	Düşük akmalı çelik plakanın gerilme şekil değiştirme eğrileri ve histeretik davranışı……...	44
Şekil 3.27	Düşük akma noktalı çelik plak perde duvarlı binanın ve duvarının görünümü……..	45
Şekil 3.28	Şematik test numunesi……..	47
Şekil 3.29	Delikli çelik plak panellerde gerilme ve rijitliğin delik boyutuyla değişimi…….	48

Şekil 3.30	Sadeleştirilmiş şerit model……	50
Şekil 3.31	Sadeleştirilmiş şerit model……	52
Şekil 4.1	Driver ve çalışma arkadaşları (1998A) tes numunesi histeretik ve zarf eğrileri……..	58
Şekil 4.2	Numunenin bitmiş boyutlarına dayanan ayrıntılı modelin……...	61
Şekil 4.3	Rijit bağlantılar için tipik çerçeve düğüm noktası detayı…….	63
Şekil 4.4	Mafsalların tipik davranışı (a) Mafsal dönmesi (b)Mafsallardaki eksenel gerilme (c) Mafsallardaki bozulma……..	65
Şekil 4.5	Ayrıntılı model, Sadeleştirlmiş model, ve Test numunesi……	72
Şekil 5.1	Çerçeve-Düğüm Noktası düzenlenmesi, (a) Ayrıntılı model (b)mafsallar panel düğüm noktalarında (c) mafsallar panel düğüm noktalarında (d) mafsallar kolon kiriş düğüm noktasında……	77
Şekil 5.2	Modellemelere ait kuvvet-yerdeğiştirme eğrilerinin karşılaştırılması…….	78
Şekil 5.3	Dağınık Düzen tekniğiyle modifiye edilmiş şerit (bant) model……	80
Şekil 5.4	Dağınık Düzen tekniğiyle modifiye edilmiş şerit (bant) model……	80
Şekil 5.5	Dağınık Düzen Tekniğiyle Modifiye Edilmiş Şerit (Bant) Model...	83
Şekil 5.6	Elle Hesaplanan Itme Eğrisinin Modellere Ait Eğrilerle karşılaştırılması…….	84
Şekil 5.7	F arklı Değerdeki Fycs Modellerine Ait Eğrilerin, Tes Numunesi Sonuçları Ile Karşılaştırılması…….	86
Şekil 6.1	Modifiye Şerit Model ile test numunesi Geometrik düzenleme….	91
Şekil 6.2	Timler ve Kulak (1983) test numunesinin diğer modeler ile Karşılaştırılması……..	94
Şekil 6.3	SPSW2 numunesinin modifiye şerit modeli……	96
Şekil 6.4	SPSW2 Numunesinin Histeretik Eğrilerinin Karşılaştırılması……	98
Şekil 6.5	Kalibre Edilmiş Sıkıştırma Destekli Modele Ait Eğrilerin Karşılaştırılması……	100
Şekil 6.6	SPSW4 modeli……..	101
Şekil 6.7	SPSW4 numunesinin diğer model teğet eğrileriyle karşılaştırılması	103
Şekil 7.1	Çelik plaka perde duvar sistemlerinin iki tipi……...	113
Şekil 7.2	Çelik Plaka Perde Duvarların üç Davranış Sahası……...	114
Şekil 7.3	Kesme kuvveti altında çelik perde duvarlar ve gerilme alanı Davranışı……..….	115
Şekil 7.4	Çelik plaka perde duvarının sınır kiriş ve kolonlarına birleşimleri...	119
Şekil A.1	1.Kat Doğu cephesi kolon moment diyagramı…….	139
Şekil A.2	1.Kat Batı cephesi kolon moment diyagramı……	139
Şekil A.3	2.Kat Doğu tarafı kolon moment diyagramı…….	140
Şekil A.4	2 .Kat Batı tarafı kolon moment diyagramı…….	140
Şekil A.5	1.Kat kiriş moment diyagramı……..……	141
Şekil A.6	2.Kat kiriş moment diyagramı…….	141
Şekil A.7	1.Kat Doğu cephesi eksenel kuvvet diyagramı…….……	142
Şekil A.8	1.Kat Batı cephesi eksenel kuvvet diyagramıı……..	142
Şekil A.9	2.Kat Doğu cephesi eksenel kuvvet diyagramı…….……	143
Şekil A.10	2.Kat Batı cephesi eksenel kuvvet diyagramı……...…	143
Şekil A.11	1.Kat eksenel kuvvet diyagramı……	144
Şekil A.12	2.Kat eksenel kuvvet diyagramı……	144
Şekil A.13	Parametrik Çalışma için Geometrik Model……..	145
Şekil A.14	Grup 1-A Modeli Eğrileri…….	145
Şekil A.15	Grup 1-B Modeli Eğrileri……..	146

Şekil A.16 Grup 1-C Modeli Eğrileri…….. 146
Şekil A.17 Grup 1-D Modeli Eğrileri……. 147
Şekil A.18 Grup 4-A Modeli Eğrileri……. 147
Şekil A.19 Grup 4-B Modeli Eğrileri……. 148
Şekil A.20 Grup 4-C Modeli Eğrileri…….. 148
Şekil A.21 Grup 4-D Modeli Eğrileri……. 149
Şekil A.22 Katlı Model için Eğriler ……... 149

SEMBOL LİSTESİ

A :Enkesit alanı
A_b :Bir bulonun alanı
A_e :Etkili net alan
A_g :Brüt alan
A_i :Bir üst katın diyafram seviyesinin döşeme alanı ($feet^2$)
A_n :Net alan
A_{np} :Planın net alanı
A_w :Duvarın kesme alanı = dt_w
a :Çekme bölgesinin etki alanındaki kat yüksekliği
b : Berkitilmemiş elemanın genişliği
b_f :Flanşın genişliği
C_d :Büyütme katsayısının sapması
C_{pr} :Birleşimlere ait maksimum mukavemeti hesaplamak için bir katsayı (FEMA 2000)
C_s :IBC-2000 tarafından verilen sismik katsayı
C_v :Plakanın kritik kesme burkulması geriliminim, kesme akması gerilimine oranı
D :Ölü yükün etkisi (IBC-2000)
D :Çelik plakada açılan deliğin çapı
d :Duvarın tüm genişliği
d_w :Perde duvarın genişliği (kolon flanşlarının dışından dışına olan mesafe)
E :Elastisite katsayısı
E :Düşey kuvvetlerin ve yatay deprem etkilerinin kombinasyonu (IBC-2000)
E_m :Maksimum sismik yük etkisi (IBC-2000)
F_y :Kullanılan çelik cinsine göre belirlenmiş minimum akma gerilmesi (AISC-1997)
F_{ye} :Kullanılan çeliğin beklenen akma mukavemeti (AISC-1997)
F_{yw} :Çelik plaka perde duvarın belirlenmiş akma mukavemeti
F_u :Belirlenmiş minimum çekme mukavemeti
h :Kolon flanşından, kolon flanşına perde duvarın temiz genişliği
h_c :Berkitilmiş perde duvarda kolonun veya panelin yüksekliği
I_E :IBC-2000 tarafından verilen işgal önem katsayısı
K :Önceki sismik yönetmeliklerde sünekliği gösteren katsayı
K :Burkulmadaki kolonun etkili uzunluk katsayısı
k_v :Plaka burkulma katsayısı (AISC-1999)
Q_e :Yatay sismik kuvvetlerin etkisi (IBC-2000)
R :Sistem davranış katsayısı
R_{CAN} :Kanada yönetmeliklerindeki R faktörü
R_d :Genel sünekliği gösteren katsayı (SEAOC-1999)
R_o :Sistem aşırı mukavemet faktörünü gösteren katsayı (SEAOC-1999)

R_n :Nominal kuvvet
R_u :Gerekli mukavemet
R_{US} :ABD Yönetmeliklerindeki R faktörü
R_y :Beklenen akma mukavemeti F_{ye}'nin, minimum belirli akma mukavemeti F_y'e oranı (AISC 1998)
r :Burkulmada dönmenin yarıçapı
r_{max} :r_{maxi}'nin maksimum değeri
r_{maxi} :Verilmiş yükleme doğrultusu için, katta bulunan en çok yüklü tekil elemanın tasarım kat kesme direncinin toplam kat kesmesine oranı (IBC-2000)
S_1 :1 sn'likperiyotta göz önünde bulundurulan maksimum deprem spektral etki ivmesi (IBC-2000)
S_{SD} :Kısa periyotlarda tasarım spektral etki ivmesi (IBC-2000)
T :Asıl periyot
t :Elemanın kalınlığı
t_f :Flanşın kalınlığı
t_w :Perde duvarı veya gövdenin kalınlığı
V :Kesme kuvveti, taban kesmesi
V_n :Elemanın veya plakanın nominal kayma mukavemeti
V_{ne} :Elemanın veya plakanın umulan kesme kapasitesi
V_u :Elemanın veya plakanın gerekli kesme mukavemeti
V_y :Kayma akma kapasitesi
W :Yapının ağırlığı
Δ :Tasarım kat ötelemesi
Δ_u :Sınır yerdeğiştirme
Δ_y :Akma yer değiştirmesi
α :Perde duvarı yerine yerleştirilen çubukların açısı
ϕ :Dayanın katsayısı
ϕ_v :Kesmede dayanım katsayısı = 0,90 (AISC-1997)
ϕ_c :Basınçta dayanım katsayısı = 0,85 (AISC-1997)
λ_c :Kolonun narinlik parametresi
λ_e :Kompakt olmayan perde duvarların narinlik parametresinin sınırı $= 3{,}53\sqrt{k_v E / F_{yw}}$
λ_p :Kompakt elemanın narinlik parametresinin sınırı
λ_r :Kompakt olmayan elemanın narinlik parametresinin sınırı
λ_{tf} :Narin perde duvarlrı için h/t_w'nin sınırı
μ :Süneklik (sınır yer değiştirme/akma yer değiştirmesi)
ρ :Sistem fazlalığı üzere güvenilirlik katsayısı (IBC-2000)
ρ_i :Verilen kat için güvenilirlik katsayısı (IBC-2000)
σ :Normal gerilme
σ_{cr} :Plaka burkulmasında normal gerilmenin kritik değeri (SSRC-1998)
τ :Kayma gerilmesi
τ_{cr} :Plaka burkulmasındaki kritik kayma gerilmesi
Ω_o :Sistem aşırı mukavemet faktörü

ÖZET

BERKİTMESİZ ÇELİK PLAKA PERDELERİN YATAY YÜKLER ALTINDA İNCELENMESİ

Bu tez çalışmasında,berkitmesiz narin çelik plaka perde duvarların tarihsel gelişimi, bilgisayar modelleme tekniği, modellemede etkili parametreler, modellemelerin itme analiz sonuçları ve konuyla ilgili yönetmelik maddeleri incelenmiştir.

Çalışmanın ilk bölümünde, depreme dayanıklı yapı tasarımı hakkında bilgi verilmiş, bunu takip eden ikinci bölümde son yıllarda üzerinde çokça araştırma yapılan çelik plaka perde duvarları hakkında genel bilgiler verilmiştir.

Üçüncü bölümde, çelik plaka perde duvar uygulaması yapılan ve hala günümüzde kullanılan binalardan örnekler verilmiş, geçmişten bu güne araştırmacıların çelik plaka perde duvarları üzerine yaptıkları laboratuvar testleri ayrıntılı bir şekilde incelenmiştir.

Dördüncü bölümde, çelik plaka perde duvarların modellemesi için uygulanan şerit model, perde duvarların non-lineer davranışlarını daha doğru tahmin etmek amacıyla ayrıntılı bir model oluşturmak üzere modifiye edildi. Bu modele Ayrıntılı model denildi. Ayrıntılı model modifikasyonları genellikle yapılan laboratuvar testlerindeki gözlemlere dayalıydı. Ayrıntılı model, panel bölgesinin belirlenmesi ve bu bolgede rijitliğin diğer çerçeve bölgelerine göre fazlasıyla arttırılmasıyla, plastik mafsalların her nokta için ayrı ayrı özelliklerde tanımlanmasıyla, sıkışan panelin sıkıştırma desteği ile takviye edilmesiyle ve paneldeki bozulma, aşınma etkilerini katmak için özel bozulma mafsallarının tanımlanmasıyla oluşturuldu. Ayrıntılı modele itme analizi yapılarak, Driver (1997) test numuneleri ile karşılaştırıldı.

Beşinci bölümde, ayrıntılı model daha yakından incelendi. Modele etkiyen parametrelerin daha basit modellenebilesi için bir dizi düzenlemeler yapıldı. Yapılan düzenlemeler sonunda Sadeleştirilmiş modele itme analizi uygulandı ve sonuçlar hem ayrıntılı model ile hemde Driver (1997) test numunesine ait sonuçlar ile karşılaştırıldı. sadeleştirilmiş modelin iyi bir model olduğu, hatta bazı yerlerde, numunenin itme davranışını tanımlamak için ayrıntılı modelden daha iyi olduğu görülmüştür. Çok az bir doğruluk kaybı olmasının yanında daha verimli bir model elde edilmesinden dolayı, diğer test numunelerinin değerlendirilmesi ve daha sonraki araştırmalar için sadeleştirilmiş model seçilmiş ve tekrar modifiye şerit modeli olarak adlandırıldı.

Altıncı bölümde, modifiye şerit modelin, farklı geometrik özelliklere sahip çerçevelerde aynı doğrulukta sonuç verip vermeyeceği araştırıldı. Basit kolon kiriş bağlantılı ve moment aktaran kolon kiriş bağlantılı test numunelerinin ayrıntılı şerit modelleri yapılıp, bu modellerin itme analiz sonuçları test numuneleriyle karşılaştırıldı.

Yedinci bölüm çelik plaka perde duvarlar için kullanılabilecek yönetmelik maddelerini araştırmaktadır. Çelik plaka perde duvar tasarımı için literatürde bulunan

tek yönetmelik Kanada çelik tasarım standardında (CAN/CSA SI6-01) bulunan maddeler hakkında bilgiler vermektedir. Ayrıca, diğer yönetmelik maddelerinde, çelik plaka perde duvar için kullanılabilecek maddelerden bahsedilmektedir.

Sekizinci bölüm, çelik plaka perde duvarlar ile ilgili yapılan test numunelerinin yönetmelik maddelerinde verilen değerlerle uygunluğu parametrik açıdan araştırılmıştır. Ayrıca bu bölümde tasarım mühendisinin çelik plaka perde duvar ön boyutlandırmasına yardımcı olması için sayısal bir örnek verilmiştir.

Son bölümde ise, diğer bölümler kısaca özetlenecek, araştırmalar sonucu elde edilen verilere göre, çelik plaka perde duvarın modellenmesi, boyutlandırılması hakkında öneri ve tavsiyelerde bulunulacaktır.

SUMMARY

STUDYING UN-STIFFENED STEEL SHEAR WALLS BEHAVIOUR UNDER LATERAL LOADS

In the present thesis study, historical evolution of un-stiffened thin steel plate shear walls, computer-based modeling technique, effective parameters in modeling, the results of pushover analysis of the models and regulation articles about the matter were examined.

In the first chapter of the study, information relating to earthquake-resistant building design was given. Then, in the second chapter, general information about steel plate shear walls, which have been studied for many times in recent years, was given.

In the third chapter, examples of buildings, which were built based on steel plate shear wall application and still stand, were given. Laboratory tests done by the researchers until today on steel plate shear wall application were examined in detail.

In the forth chapter, strip model applied in modeling steel plate shear walls was modified to form a detailed model for predicting more accurately non-linear behaviors of steel plate shear walls. This model was called as detailed model. Modifications on the detailed model were generally based on the observations during laboratory tests. For the detailed model, panel region was specified and rigidity was increased here compared with other frame regions. Plastic hinges were identified with separate characteristics for each point. The compressed panel was reinforced with compression strut. Special deterioration hinges were defined for taking deterioration and corrosion effects into account. Pushover test was applied on the detailed model and the results were compared with the results of Driver (1997) test samples.

In the fifth chapter, the detailed model was examined in more detail. Embodiments were done for simpler modeling of the parameters affecting the model. As a result of these embodiments, pushover test was applied on the simplified model and the results were compared with the results of the detailed model and Driver (1997) test samples. It was seen that, the simplified model is a better model. It is even better than the detailed model for identifying pushover behavior of the sample. As a result, the simplified model was chosen for evaluating other test specimens and the researches in the future because it allows a more efficient model and less accuracy loss and it was named as re-modified strip model.

In the fifth chapter, it was studied whether the modified strip model would yield the results in same accuracy degree in cases of other frames having different geometric characteristics or not. Detailed strip models were produced for the test specimens with simple column-beam joint and moment-transfer and they were made subject to pushover tests. The results were compared with those for test specimens.

In the seventh chapter, the articles of the regulation, which can be used for steel plate shear walls, were examined. Information about the articles existing in Canadian Steel

Design Standard (CAN/CSA SI6-01), which is the only regulation in the literature about steel plate shear wall, was provided. Also, it was mentioned about other regulation articles, which can be used for steel plate shear walls.

In the eighth chapter, compliance of the test specimens produced for steel plate shear walls with the values existing in the regulation was parametrically researched. Also, in this chapter, a numeric example was given for helping design engineer in steel plate shear wall pre-sizing.

In the last chapter, other chapters were summarized and recommendations and proposals were provided for modeling and sizing steel plate shear walls according to the results obtained in this study.

1. GİRİŞ

Bir yapıya taşıyıcı sistem seçerken ve taşıyıcı sistemi boyutlandırırken yapı mühendisinin öncelikle düşündüğü yapının düşey yükler için yeterli güvenlikte olmasını sağlamaktır. Bunun sebebi yapının ömrü boyunca devamlı olarak bu düşey yükler etkisinde kalmasıdır. Sadece düşey yüklere göre boyutlandırma, yapının ayakta kalabilmesi için yeterli olduğu sürece böyle bir yaklaşım anlaşılabilir. Ancak bu şekilde çok iyi boyutlandırılmış bir yapı bile olsa, yapının yatay yükler içinde boyutlandırılması gerekmektedir. Yatay yükler içinde en önemlileri deprem ve rüzgâr etkileridir.

1.1. Binalarda Deprem Etkileri

Deprem yer kabuğunun zamana bağlı bir titreşim hareketidir. Önceden bir uyarı olmadan meydana gelmesi yönünden deprem, doğal afetler arasında en önemlilerden biri olma özeliğine sahiptir. Deprem, meydana gelmeden önce bazı önemli işaretler görülebilse de bulunduğumuz yüzyılda ve elimizdeki mevcut teknolojilerle depremin kesin yerini zamanını ve büyüklüğünü tahmin etmek henüz mümkün değildir. Pek çok deprem beklenmeden meydana gelmiş ve yapılan tahminler işe yaramamıştır. Deprem, meydana getirdiği etkiler yönünden dikkate değer pek çok özelliğe sahiptir. Toprak kaymaları, yapılarda ciddi bir hasar ve göçmeler meydana getirerek can ve mal kayıplarına sebep olur.

Bu doğa olayı belki yakın bir gelecekte yeter doğrulukta tahmin edilecek. Yeri ve zamanı hakkında çok yakın veriler elde edeceğiz. Böylece can kaybını en aza indireceğiz. Ancak depreme önlem almayan ülkelerde önemli derecede büyük hasarlar oluşturmaya devam edecektir. Bu da toplumların ekonomisinde ve sosyal yaşantısında büyük hasarlara neden olacaktır. Bu zararı en aza indirmek için yapıların tasarım ve boyutlandırılmasında yatay etkilerin en önemlilerinden deprem ve rüzgâr etkileri kesinlikle göz önüne alınmalıdır.

1.2. Binalarda Rüzgâr Etkileri

Amerikan literatürüne göre, 75 feet (25m) ve üzerindeki yapılar yüksek bina statüsüne girmektedir. 50 metre yüksekliğin, yani 15 katın üzerine çıkıldığında, ciddi sorunların oluşmaması için yapı mühendisinin yüksek yapı koşullarını iyi etüd etmesi gerekir. Yüksek yapılarda, rüzgâr etkisi özellikle dikkate alınmak zorundadır çünkü bu çok önemli bir faktördür. Rüzgâr hızı yerden olan yükseklikle artar. Bu yüksek rüzgâr hızına bağlı olarak binanın rüzgâr yönündeki cephesinde önemli bir pozitif basınç ve aksi yönde önemli bir negatif basınç oluşur. Bina cephesi açıklıklarından sızan hava çok fazladır. Bu da binanın dengesini etkiler. Yapı muhendisleri tasarım ve boyutlandırmada rüzgâr etkilerini mutlaka göz önünde bulundurmalıdırlar.

1.3. Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı

Yer hareketlerini inceleyen sismoloji bilimi sayesinde dünyadaki deprem bölgeleri belirlenmiştir. Ve şiddetini göstermek üzere farklı deprem bölgeleri tarif edilmiştir.

Buna karşılık yapının ömrü boyunca karşılayabileceği büyük depremler hakkında tahmin yapmak zordur. Bununla birlikte, depremin, şiddeti ve oluşum sıklığı istatiksel olarak tahmin edilebilir. Bir yapıya etkiyen, sabit yük, faydalı yük, sıcaklık etkisi gibi etkileri, deprem etkileriyle karşılaştırdığımızda, depremin çok daha seyrek olduğu görülür. Hatta birçok yapı bulunduğu bölgede beklenen şiddetteki bir deprem maruz kalmadan kullanım ömrünü tamamlar.

Depreme dayanaklı yapı tasarımında tüm dünyada uygulanan ilke, yapının sık ve küçük şiddet teki depremleri elastik sınırların ötesinde fakat taşıyıcı sistemde kolayca onarılabilecek önemsiz hasarlarla; çok seyrek olan şiddetli depremleri; büyük hasarla fakat taşıyıcı sistem tamamen göçmeden, can kaybı olmamaksızın taşıyabilmesidir.

Depremden hemen sora yapının işlevine devam edilmesi, meydana gelen hasarın sınırlandırılması ve yapı içindeki hayatın kurtarılması şeklinde olmak üzere, değişik sınır durumlara karşı güvenlik sağlanmaktadır. Bu sınır durumları aşağıda kısaca açıklanmıştır.

1.3.1. Kullanılabilir Sınır Durumu

Bölgede sık olarak meydana gelen küçük depremlerin, yapı taşıyıcı sisteminde herhangi bir olumsuz etki yapmamsı istenir. Bu yapının boyutlandırılması ve

tasarlanması yapılırken, şekil ve yer değiştirmelerin sınırlandırılması ile depremde oluşacak etkilerin, yapı eleman kesitlerinde oluşturacağı gerilmelin elastik bölgede tutulmasıyla sağlanır.

1.3.2. Hasar Kontrol Sınır Durumu

Tekrarlama olasılığı daha düşük ancak kullanılabilirlik sınır durumuna esas alınan depremden daha büyük depremler altında, yapı taşıyıcı sisteminde onarılabilecek düzeyde hasarlar olması istenilir. Hasar kontrol sınır durumu, ekonomik şekilde onarılabilecek ve güçlendirilecek kullanılabilir sınır durumu ile ekonomik onarım ve güçlendirilmesi mümkün olmayan göçme kontrolü sınır durumunu birbirinden ayırır. Yapıyı bu duruma getirecek depremin oluşma olasılığı düşük olması beklenir. Bu sınır durumu genelikle deprem yönetmenliğinde boyutlamaya etkili olacak deprem ivmesinin dolayısıyla kuvvetlerin öngörülmesiyle ortaya çıkar.

1.3.3. Göçme Kontrolü Durumu

Bu sınır durum, ender olarak meydana gelebilecek ancak çok şiddetli deprem sonucu, yapının taşıyıcı sisteminde ve yapısal olmayan elemanlarda onarılmayacak hasarlar söz konusu olduğunda dahi, yapının göçme mekanizmasının kontrol edilerek kısmen ya da toptan göçmenin oluşmasını engelleyerek can kaybını en aza indiren sınır durumu tarif eder. Bu sınır durumun sağlanabilmesi için, yapıdan elastik ötesi davranış beklenerek deprem yüklerinin bir kısmını (deprem enerjisini) elastik olmayan şekil değiştirmeler yoluyla tüketilmesi amaçlanır.

1.4. Depreme Dayanaklı Yapılarda Aranan Özellikler

Yapılar, açıklanan sınır durumlara göre yeter derecede güvenli olması için, bir takım özeliklere sahip olmalıdır. Bunlar şu şekilde sıralanabilir;

Yapının genel davranışı

Yapıda yeterli derecede yatay rijitlik

Süneklik

1.4.1. Yapının Genel Davranışı

Yapılar, yönetmenlikte süneklik düzeyi yüksek ve süneklik düzeyi normal sistemler olarak iki guruba ayrılmıştır. Yapının davranışının istendiği gibi olabilmesi için taşıyıcı sistemin düzenlenmesinde davranışı etkileyecek koşullar gözünde

tutulmalıdır. Yatay yükler, sağlıklı basit ve kolay bir şekilde zemine iletilmelidir. Böylece projenin modellenmesinden, inşa edilmesine kadar olan tüm süreç hızlı ve kolay olur. Ayrıca yapılan çözümler daha güvenlidir.

Taşıyıcı sistem elemanları planda mümkün olduğunca simetrik ve düzgün dağıtılmalıdır. Bundaki amaç, mümkün olduğunca sistemin rijilik merkezi ile kütle merkezini aynı noktaya taşımaktır.

Döşeme düzlemlerin yeterli derece rijitliğe sahip planda uygun şekilde yer alması ve üzerlerinde boşluklar bulundurulması, sistemde bir bütünlük sağlar. Gelen yatay yüklere de sistem birlikte çalışır. Ve kat düzlemlerinde rijit diyafram etkisi gösterir.

En önemli noktalardan biri de binayı yeterli güvenlikte taşıyacak, zeminde istenmeyen etkileri oluşturmayacak yeterli bir temelin seçilmesidir.

1.4.2. Rijitlik ve Deprem

Yapılarda standartlar ve yönetmenlikler sayesinde belirli bir rijitliğe sahip olması istenir. Gelen yatay etkileri güvenle taşıyabilmesinin yanında yeterli rijitlik ve dayanım ile yer değiştirmeler güvenli sınırlar altında tutulur. Yapılardan en genel anlamda, düşey yatay ve burulma rijitliklerinin yeterli olması beklenir.

1.4.3. Süneklik

Sayısal olarak süneklik, göçme anındaki toplam şekil değiştirmelerin, elastik şekil değiştirmeye orandır. Sistem sünekliği artıkça, elastik deprem yüklerinin daha büyük bir katsayı ile azaltılması öngörülür. Böylece sistem daha fazla enerji yutma kapasitesine sahip olur.[1]

1.5. Depreme Dayanıklı Çelik Yapı Tasarımı

Çelik ve demir yaklaşık 2 asırdır mühendislik yapılarında kullanılmaktadır.18. yy da İngiltere'de yüksek sıcaklıktaki fırınlarda font ve ham demirin üretilmesinden sonra demir, köprülerde kullanılmaya başlamıştır.

Daha sonrada teknolojinin gelişmesiyle dövme çelik ve en son olarak da dökme çelik yapılarda kullanılmıştır ve kullanılmaktadır.

Mukavemeti 200 kg/mm^2 'yi bulan çelik üretiminin sağlanması ve elektrik ark kaynağının incelenerek yaygın halde kullanılmaya başlaması bugünkü modern çelik konstrüksiyon tarzını ortaya çıkarmıştır.

Homojen ve izotrop bir malzeme olan çelik, üretimi sıkı ve sürekli denetim altında tutularak güvenli bir malzeme özelliği taşımaktadır.

Çeliğin avantajlı yanlarını aşağıdaki gibi sıralayabiliriz.

- Yüksek mukavemetli bir malzemedir. Özellikle öz ağırlığının taşınan yararlı yüke oranı oldukça küçüktür.
- Yapı çeliğinin çekme mukavemeti basınç mukavemetine eş ve hatta burkulma durumu düşünülürse daha yüksektir.
- Yapı çeliğinin elastiklik özelliği diğer yapı malzemelerine kıyasla daha yüksektir.
- Sünek bir malzemedir.
- Şantiyedeki hava koşullarından bağımsız bir şekilde çalışmaya olanak sağlar.
- Çelik yapı elemanlarında sonradan yapılacak bir değişiklik ya da takviye olanağı mümkündür.
- Monte edildiği andan itibaren tam yük taşıma kapasitesi ile çalışmaya başlar.
- Taşıyıcı sistemi çelik yapı elemanlarından oluşturulmuş bir yapı sökülebilir ve yeniden başka bir yerde gerekli hesaplamalar yapıldıktan sonra kullanılabilir.
- Uygun bir planlama ile az iskeleli inşaata olanak sağlar.
- Tüm avantajlarının yanında çeliğin sakıncalı yanlarıda vardır.
- Çelik yüksek sıcaklıkta hızlı mukavemet düşüşü gösterir. Isı iletkenliği fazladır.
- Çeliğin paslanma sorunu vardır.
- Ses ve ısı yalıtımı yapılması gerekir.
- Birim fiyatı diğer malzemelere göre fazladır.

Dünyada çok katlı çelik yapıların en yükseği 2004 yılında Taiwan'da yapımı tamamlanan 509 metre yüksekliğinde ve 101 katlı "Taipei 101" isimli yapıdır. Büyük açıklıkların kısa zamanda geçilmesi, dev gökdelenlerin yapılması imkânı çelik yapıyı rakipsiz ve modern bir yapı tarzı yapmıştır.

Çelik yapılar ,yüksek dayanım ve süneklik özelliklerinden dolayı büyük deprem performansına sahiptir. Deprem tasarımı yapılacak yapıda, sınır durumlar göz önünde tutularak, temel gereksinimlerin en iyi şekilde karşılanacağı, tasarımlar yapılmalıdır. Çelik yapılar genelilkle ,düzgün eksenlere yerleştirmiş kolon ve kirişlerin oluşturduğu çerçevelerdir. Sistemin yatay rijitliğin artırılması açısından büyük çelik çaprazlar ya da çelik veya betonarme perdeler bulunabilir. Birleşimlerde perçin, bulon ve kaynak gibi birleşim araçları kullanılır.

Çelik yapılarda taşıyıcı sistem eleman boyutlandırılmasında üç farklı yöntem söz konusudur.

Emniyet gerilmesi yöntemi

Taşıma gücü yöntemi

Plastik hesap yöntemi

Depreme dayanıklı çelik taşıyıcı sistemin oluşturulması taşıyıcı sistemde yeterli yatay rijitliğin bulunması ve sürekliğin yüksek olması ile sağlanır.Bir sistemin yatay yükler altındaki sürekliği, çevrimsel etkiler altında enerji tüketen bölgelerin bulunması ile artar.

Çelik yapı tasarımda bu gereksim dört farklı şekilde karşılanır.

Moment aktaran çerçeveler (Enerji çerçeve birleşim noktalarından harcanır.)

Merkez çaprazlı çerçeveler

Dış merkez çaprazlı çerçeveler

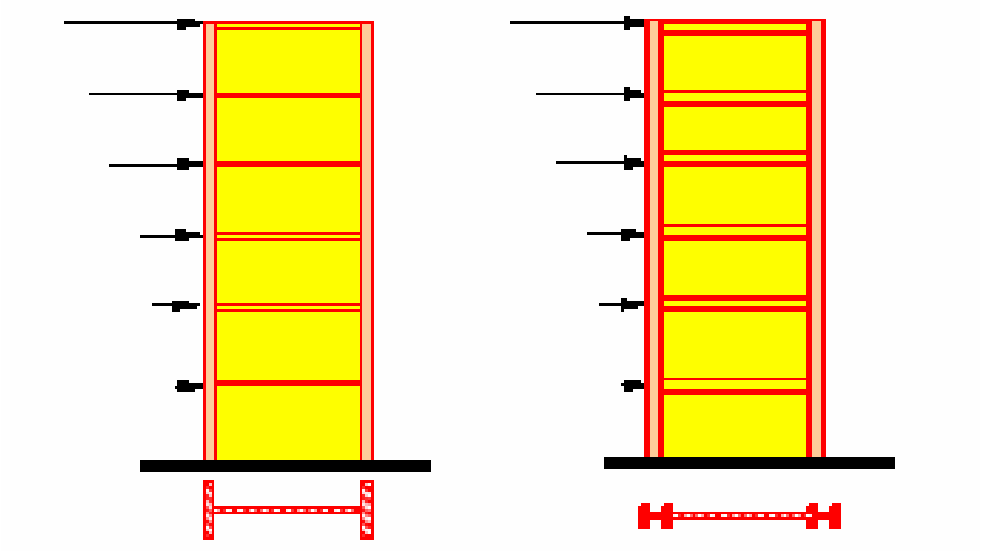
Ve son yıllarda gündeme gelen üzerinde araştırmalar ve geniş çaplı deneylerin yapıldığı ÇELİK PLAKA PERDE DUVARLI ÇERÇEVELERDİR.

2. ÇELİK PLAKA PERDE DUVARLARI

2.1. Tanım

Yapılarda, deprem ve rüzgâr gibi yatay yükleri taşıtmanın çeşitleri yöntemleri vardır. Çelik yapılar için bu yöntemlerden en bilinenleri çelik çaprazlı çerçeveler, kolon-kiriş birleşimlerinin moment aktaracak şekilde tasarlandığı rijit çerçeveler veya betonarme perdeli çerçevelerdir. Son yıllarda bu bilinen yöntemlere alternatif teşkil edebilecek kadar dikkat çeken bir sistem çelik plaka perdeli çerçeve sistemlerdir.

Çelik plaka perdenin ana fonksiyonu yatay yükler altında yatay kat kesme kuvvetlerine ve devrilme (eğilme) momentine karşı koymaktır. Genelde, çelik plaka perde sistemi iki tane sınır kolonu ve yatay kirişlerden oluşmaktadır (Şekil 2.1). Kolonlar düşey taşıyıcının, flanşları gibi çalışırlar. Çelik plaka perde de bu sistemin gövdesi gibi çalışır. Bu plak taşıyıcıda yatay kirişler, hemen hemen enine berkitmeler olarak çalışırlar.



Şekil 2.1 Çelik plaka perdeli çerçevenin ana elemanları; kolonlar, kat kirişleri ve çelik plakalar [2].

Yatay yüklere karşı direnmede çelik plaka perde duvar kullanmanın bazı avantajları:

- Çelik perde sistemlerin doğru detaylandırılması ve tasarlanması ile yapıda çok fazla bir süneklik elde edilir. Büyük enerji dağıtma kapasitesine sahiptir.
- Çelik perde sistemleri göreceli olarak yüksek başlangıç rijitliğine sahiptirler. Bunun sonucunda yatay ötelemeyi önemli ölçüde sınırlandırırlar.
- Çelik perde sistemleri betonarme perde duvarlara karşı çok hafiftir. Bu bina taşıyıcı sistemine daha az yük etkimesine sebep olur. Yapı ağırlığındaki bu azalma, binaya daha az bir sismik yük etkimesini sağlar.
- Atölyede kaynaklanmış, sahada bulonlanmış çelik perde duvarları kullanarak, yapı maliyeti azaltılabilir, inşa işlemi hızlandırılabilir, saha denetimi ve kalite kontrolü, bu sistemlerin daha etkili olmasıyla sonuçlanabilir.
- Kalınlıklarının az olması nedeniyle çelik perde duvarları, mimari açıdan betonarme perde duvarlara göre daha az yer kaplar. Yüksek yapılarda, betonarme perde duvarlar alt katlarda fazlasıyla kalın olur ve kat alanında fazla yer işgal ederler.
- Güçlendirme projeleri için daha elverişlidir.Betonarme perdelere göre daha hızlı ve kolay inşa edilirler.
- Bu sistemler betonarme yapmanın ekonomik olmayacağı, dökümün zor olacağı soğuk hava koşullarında da çok pratik ve kullanışlıdırlar.

1970'lerde Amerika Birleşik Devletlerinde ve Japonya'da, çelik plaka perde kullanılmış, önemli birçok yapı tasarlanmış ve inşa edilmiştir. Bu yapılardan bazıları önemli ölçüde büyük depremler geçirmişlerdir. Yapılar bu depremleri hasarsız ya da çok az hasarla atlatarak çok iyi performans göstermişlerdir.

Amerika, Kanada ve Japonya'daki laboratuarlarda, çelik plaka perde duvarının gerçek depremler sırasındaki davranışlarının incelenmesine ek olarak, çelik plaka perde duvarının tekrarlı yüklemeler altındaki davranışları birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir. Son yıllarda bu araştırmalar ülkemizde İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi Yapı ve Deprem laboratuvarında Dr. Cüneyt VATANSEVER tarafından yürütülmektedir. Çelik plaka perde duvarının yapım ve tasarım teknolojilerinde yeterli derecede ilerleme olmasına rağmen Kanada Yönetmeliği (CCBFC) dışında çelik plaka perde duvarının üzerine çok sınırlı miktarda sismik yönetmelik maddeleri vardır [2].

2.2. Çelik Plaka Perde Duvar Tipleri

Kavramsal olarak, çelik plaka duvarlar iki temel tip olarak sınıflandırılabilir;
Berkitmeli çelik plaka perde duvarlar; plakanın burkulması berkitmeler ile önlenir.
Berkitmesiz çelik plaka perde duvarlar; plaka burkulması meydana gelir ve sistem dayanımı, berkitmesiz narin bir plaka seçimi ile plakaların burkulma sonrası gücüne dayalıdır.

2.2.1. Berkitmeli Çelik Plaka Perde Duvarlar

1970'li yılların başından beri yapılan deneysel ve analitik araştırmalar, iyi bir şekilde tasarlanmış perde duvarların, binalarda rüzgâr ve deprem yanal yüklerine direnme bakımından etkin ve ekonomik bir tasarım alternatifi olduğunu göstermişlerdir. Birçok bina, bir yanal yük direnç sistemi olarak çeşitli şekillerde çelik plaka perde duvarlarla desteklenmiştir. İlk tasarımlar, dolgu plakanın burkulmadan dolayı kaymasını önleme kavramına dayalıydı. Japonya'da, bu, kuvvetle takviye edilmiş ince plakalar kullanılarak gerçekleştirilirken, ABD'de, orta kalınlıkta plakalar kullanılmıştır. Şekil 2.2'de berkitmeli çelik perde duvar sistemine ait bir uygulama görülmektedir.

Çelik plaka perde duvarlı sistemler için bu tasarım uygulaması çelik plakaların elastik burkulma kapasitelerini sınırlamaktır. Çelik plaka panellerin elastik burkulma gücüne dayalı olarak tasarlandığı çelik plaka perde duvar sistemlerinin kapasitesi, çelik plaka panellerin burkulma sonrası gücünün bir oranına erişmeden önce kolonların burkulma ve akması ile sınırlı olacaktır. Yani sistemin göçme mekanizması kolonlar tarafından yönetilecektir. Berkitmesiz plakalar kullanıldığında, çelik plaka perde duvarın imalatı göreceli olarak basittir zira berkitme elemanlarını çelik plakalara kaynakla tespit etmek maliyetli ve zaman alıcıdır. Astaneh (2001) berkitmeli çelik plaka perde duvarların sadece ekonomik olmamakla kalmayıp aynı zamanda tavsiye edilebilir de olmadığını belirtir [2].



Şekil 2.2 Berkitmeli çelik perde duvar sistemi görüntüsü.

2.2.2. Berkitmesiz Çelik Plaka Perde Duvarlar

Son zamanlarda, kaymaya dirençli sisteminde berkitmesiz ince dolgu plaka kullanılan birçok bina yapılmıştır. Berkitmesiz uygulamada hedef, çelik plakanın elastik burkulmasına izin verilir ve kat kesme kuvvetleri elastik burkulma sonrası oluşan diagonal çekme alanı etkisi ile taşınır. Aynı kat kesme kuvvetini taşıyacak berkitmesiz plaka kalınlığı, berkitmeli plakaya göre daha fazla olacaktır. Ancak, yapılan araştırmalar ve deneyler, berkitmesiz çelik plaka uygulamasının daha ekonomik ve daha iyi çözümler verdiğini göstermiştir.

Çelik plaka burkulması, kolon burkulmasındaki kopma kavramı ile aynı anlama gelmez. Çok uzun zamandan beri berkitmesiz kesme panelde önemli ölçüde art burkulma dayanımı bulunduğu bilinmektedir.

Burkulma noktasında, yüke dirençli mekanizmadaki plaka, içi kesilmeden, dolu gövdeli kirişler için tanımlanmış diagonal çekme bölgesine dönüşür. Panel ince olduğunda, çok alt yüklerde burkulma meydana gelir ve çelik plakalarda temel çekme gerilmesinin yönlerine paralel olarak çelik plakalarda oluşan çekme bölgesi davranışı panelin direncini tayin eder. Perde plaka çekme alanının, çerçeve elemanlarının eğilme dayanımı ile birleşmesi, bir yandan sünek bir sistemi muhafaza

ederken bir yandan yüksek bükülme direnci ve güç elde etmek için ideal bir sistem olduklarını ortaya koymuştur.



Şekil 2.3 Berkitmesiz çelik plaka perde duvar sisteminden bir görüntü. (Quebec, Kanada 6 katlı bir bina)

Berkitmesiz çelik plaka duvarlar, literatürde kalınlığına bağlı olarak, berkitmesiz çelik plaka perde duvarlar, berkitmesiz kalın çelik plaka duvarlar ve berkitmesiz narin çelik plaka duvarlar olarak sınıflandırılırlar. Ancak, sınıflandırmanın çelik plaka perde duvarların narinlik durumlarına göre yapılması daha anlamlıdır.

Narinlik durumuna göre, çelik plaka perde duvarlar 3 katagoride incelenir.

Kategori1: Kompakt-(Sıkıştırılmış)

Kategori2: Non-kompact-(Sıkıştırılmamış) ve

Kategori3: Narin

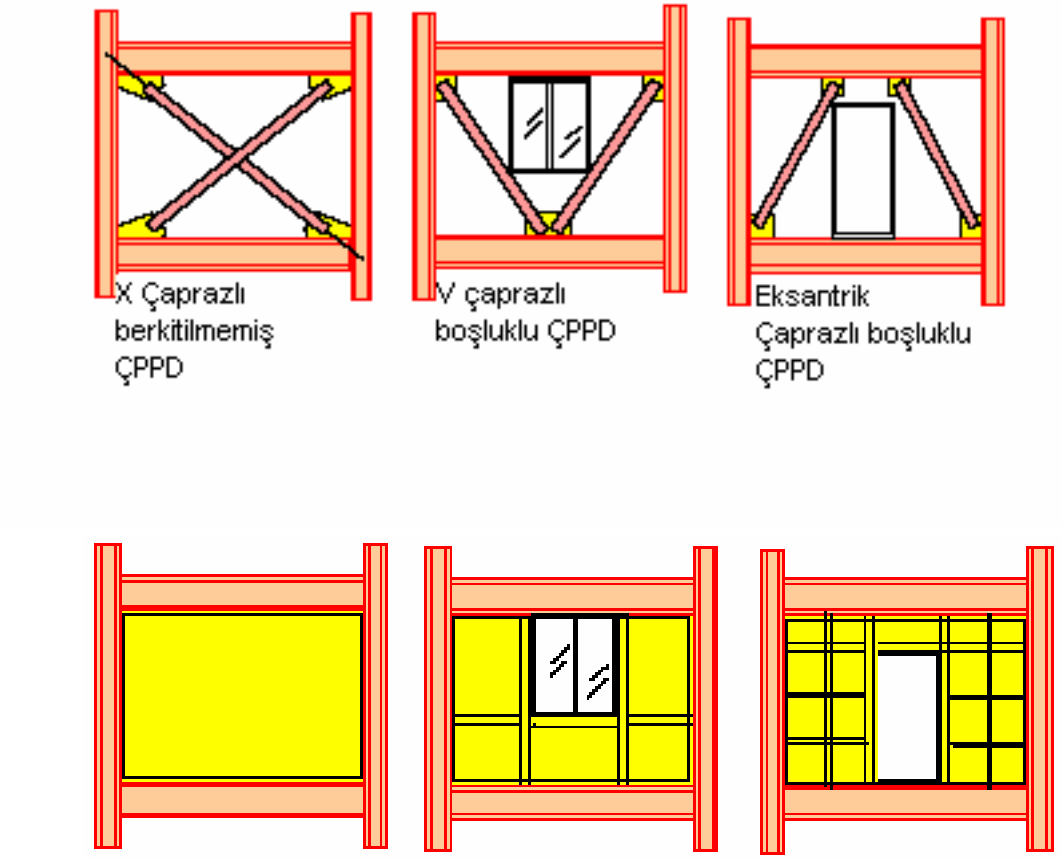
Sıkıştırılmış berkitmesiz çelik plaka perde duvarlar, berkitmesiz kalın çelik plaka perde duvarlara denk gelir ve sıkıştırılmamış çelik plaka perde duvarlar ise, berkitmesiz narin çelik perde duvarlara denk gelir.

Yapılan araştırmalar, önerilen tasarım ve boyutlandırma yöntemleri, berkitmesiz çelik plaka perde duvarlar üzerine yoğunlaşmıştır. Bu tez çalışmasında da berkitmesiz çelik plaka perde duvarların yatay yükler altındaki davranışı incelenecektir. Bahsedilen kategoriler ile ilgili bilgiler daha sonraki bölümlerde detaylı şekilde verilecektir.

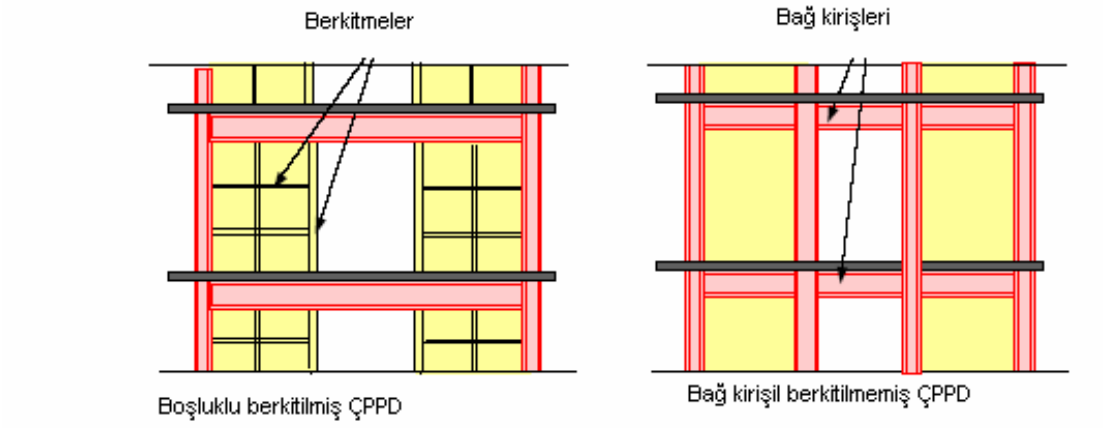
2.3. Çelik Plaka Perde Uygulamalarında Göz Önünde Bulundurulması Gerekenler

Amerika Birleşik Devletleri'nde ve Japonya'da çelik plaka perdelerin ilk uygulamalarında, perdelerde yatay ve düşey berkitmeler kullanıldı. Uygulanan bu berkitmeler perdelerin yatay yük taşıma kapasitesini önemli ölçüde arttırdığı gözlendi. Ancak günümüzde yapılan teorik araştırmalar, gerçek boyutlardaki numunelerin testleri, berkitmesiz olarak uygulanan perdelerinde yatay yüklere karşı istenilen düzeyde sünek bir davranış sergilediğini göstermiştir. Bu sayede berkitmesiz olarak uygulanan perdeler maliyeti büyük ölçüde azaltmış, yapım süresini kısaltmıştır. Son yıllardaki çelik perdelerin birçok uygulamasında berkitmesiz çelik plakalar etkili ve ekonomik bir şekilde kullanılıyor.

Çelik perde sistemlerde pencere ve kapı gibi boşlukların uygulanması durumunda, boşluk kenarlarının berkitilmesi gerekir Şekil 2.4'de. Çelik plaka perdelerde dikkat edilecek bir husus da, çekme bölgesi hareketinin devamlılığını sağlamak için, boşluklar sadece kolon alanlarının yarı yüksekliğinde ve kiriş alanının yarı açıklığında olmalıdır. Diğer bir çözürn de Şekil 2.5'de gösterildiği gibi iki ayrı çelik plaka perdenin başka bir çift kiriş ile birbirine bağlanmasıdır. İki ayrı çelik plakanın kullanıldığı bu sistem çok sünek ve arzulanan bir performans gösterilebilir (Astaneh-Asl ve Zhao, 2000).



Şekil 2.4 Çapraz elemanlı uygulamalar ve bunların plaka perdeli sistem karşılıkları [2]



Şekil 2.5 Perde duvarlarının örnekleri [2].

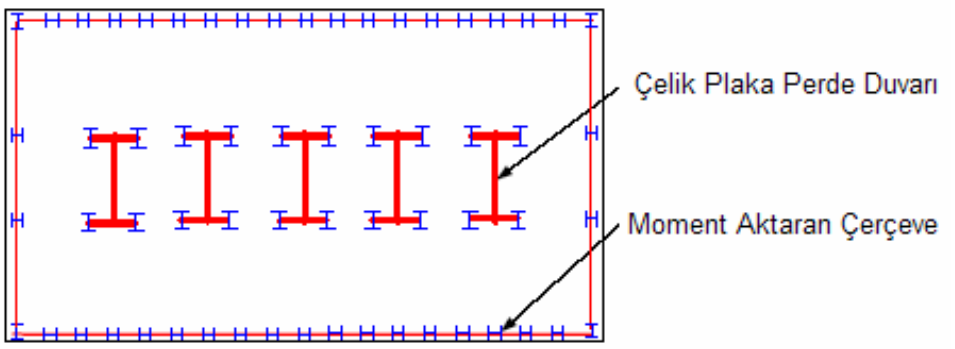
3. LİTERATÜR TARAMASI

3.1. Çelik Plaka Perde Duvarı Sisteminin Uygulandığı Bazı Yapılar

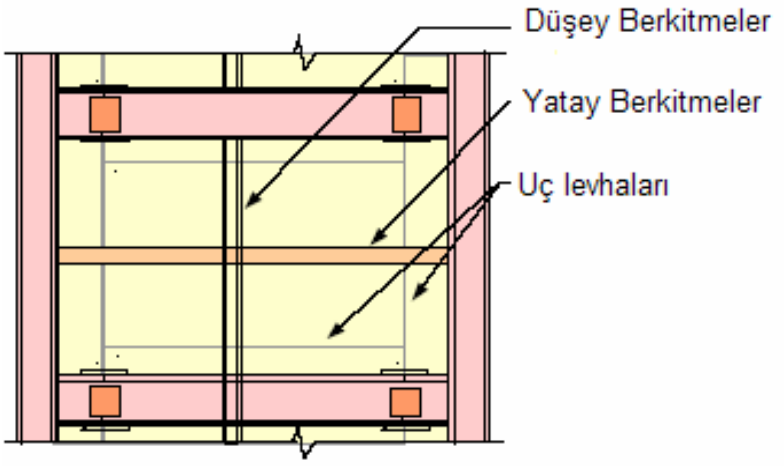
3.1.1. Japonya - Tokyo'daki 20 Katlı Bir Ofis Binası

1970'de tamamlanmış ve Tokyo'da bulunan bu bina , Thorburn et al.(1983)'a gore Nippon çelik binası referans gösterilerek, çelik plaka perde kullanılmış ilk ana binaydı [2].

Yapı uzun doğrultuda yatay yükleri moment aktaran çerçeve sistemi ile karşılıyordu. Bununla birlikte yapının merkezinde, H biçimli çelik plaka perde duvarı ve enine doğrultuda çelik plaka perde bulunuyordu. Bu sayede yatay yükleri güvenle karşılayabilecek bir sistem oluşturulmuştu. Şekil 3.1'de yapının tipik bir planı gösteriyor. Çelik plaka perde panelleri yatayda ve düşeyde berkitilmişti. Şekil 3.2, çelik plaka perde sisteminin detaylarını gösteriyor. Çelik plaka perdeler boyutlandırılırken, düşey yükleri almadığı, yatay yükleri ise burkulmadan taşıyabilmesi esas alındı.



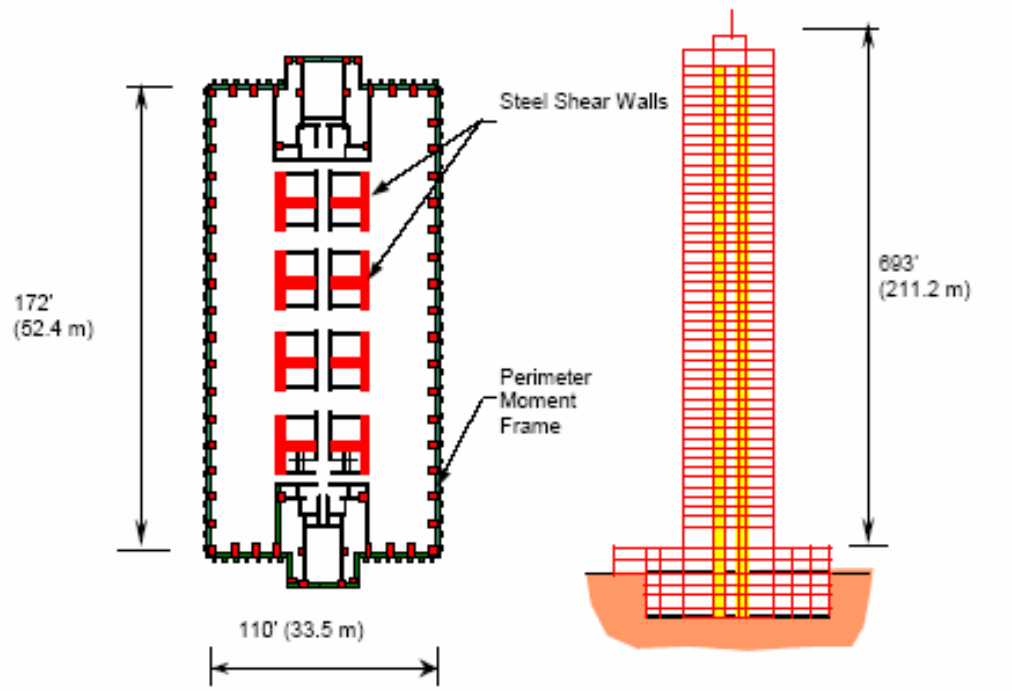
Şekil 3.1 Nippon çelik binasının tipik kat planı [2].



Şekil 3.2 Nippon çelik binasında kullanılan çelik plaka perdelerin detayları [2].

3.1.2. Japonya - Tokyo'da 53 Katlı Yüksek Bir Yapı

Betonarme perde duvarlı olarak tasarlanan bina daha sonra patent problemlerinden dolayı yapıda çelik plaka perde duvarının uygulanmasına karar verildi [2]. Şekil 3.3, yapının planını ve görünüşünü göstermektedir. ENR(1978) makalesine göre, çelik plaka perdeyle kıyaslayınca "yüklenici, çelik çaprazlı çekirdeği daha pahalı bulduğu için reddetti" [2]. Yapını çevresi moment çerçevesinden oluşuyordu. Merkezde ise "T" şeklinde güçlendirilmiş çelik plaka perdeler bulunuyordu. 10-ft yüksekliğindeki, 16,5-ft uzunluğundaki çelik perdelerin bir tarafında düşey doğrultuda, diğer tarafında ise yatay doğrultuda berkitmeler vardı. Çelik plakalar kolonlara bulonlar ile bağlıydı.



Şekil 3.3 Tokyoda'ki 56 katlı binanın planı ve enine kesiti. [2].

3.1.3. ABD - Dallas'ta 30 Katlı Bir Otel

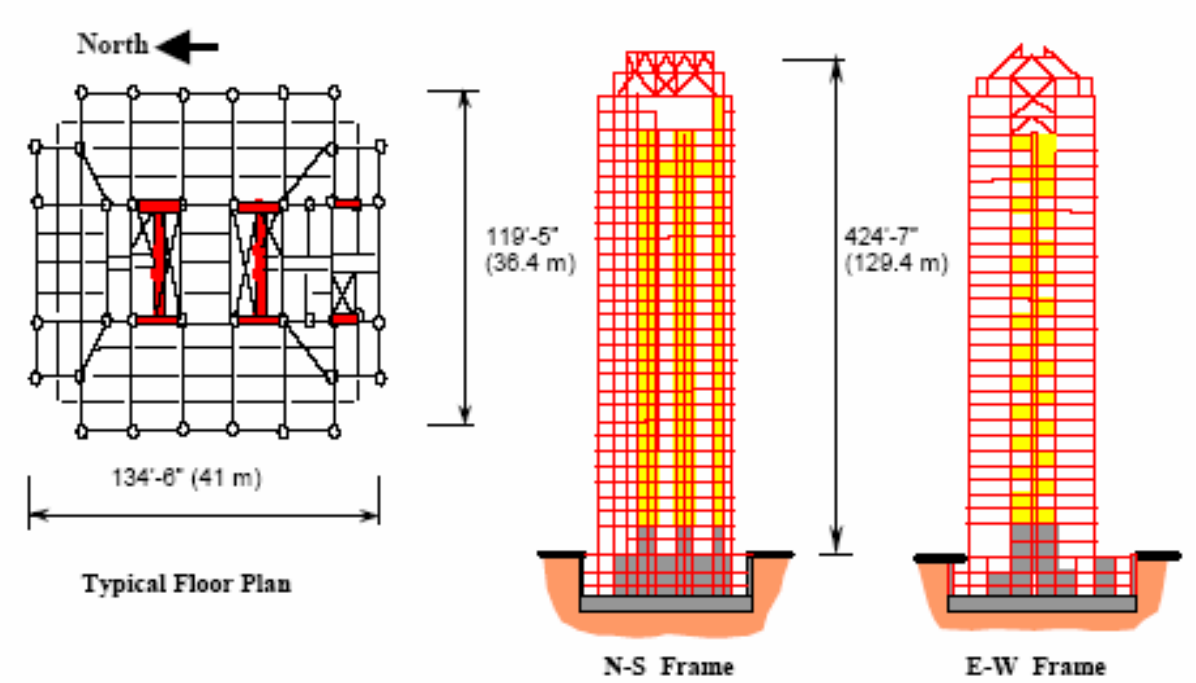
Bu yapı, çelik plaka perdelerin sadece deprem yüklerine karşı değil rüzgâr yüklerine karşıda etkili bir şekilde kullanılabileceğinin örneğidir [2]. Dallas'ta rüzgâr yükleri hakim yatay yüklerdi. Rüzgâr yükü ile tasarım altında, maksimum yer değiştirmelerin çok küçük olduğu görüldü. Çelik plaka perdelerde yüksek düzlem rijitliğinden dolayı göreceli yer değiştirmede düşük seviyelerde kalıyordu. 30 katlı yapı boyuna doğrultuda çelik çaprazlara ve enine doğrultuda çelik plaka perde duvarlara sahipti. Yapıda, düşey yükün %60'ı çelik plaka perde duvarlara, %40'ı ise geniş başlıklı kolonlara taşıtıldı [2]. Çelik plaka perdelerin düşey yükü taşıyan elemanlar olarak kullanılmasıyla, tasarımcılar, kirişlerde ve kolonlarda önemli ölçüde çelik tasarrufu sağlamışlardır. Bu yapının, moment aktaran çerçevelerle tasarlanmış eşdeğer bir bina ile kıyaslandığında, çelik perde duvar sisteminde 1/3 oranında daha az çelik kullanıldığı görülmüştür (Troy and Richard, 1988) [2]. Şekil 3.4 yapının görünüşünü göstermektedir.



Şekil 3.4 Dallas'taki 30 katlı yapının görünüşü [2].

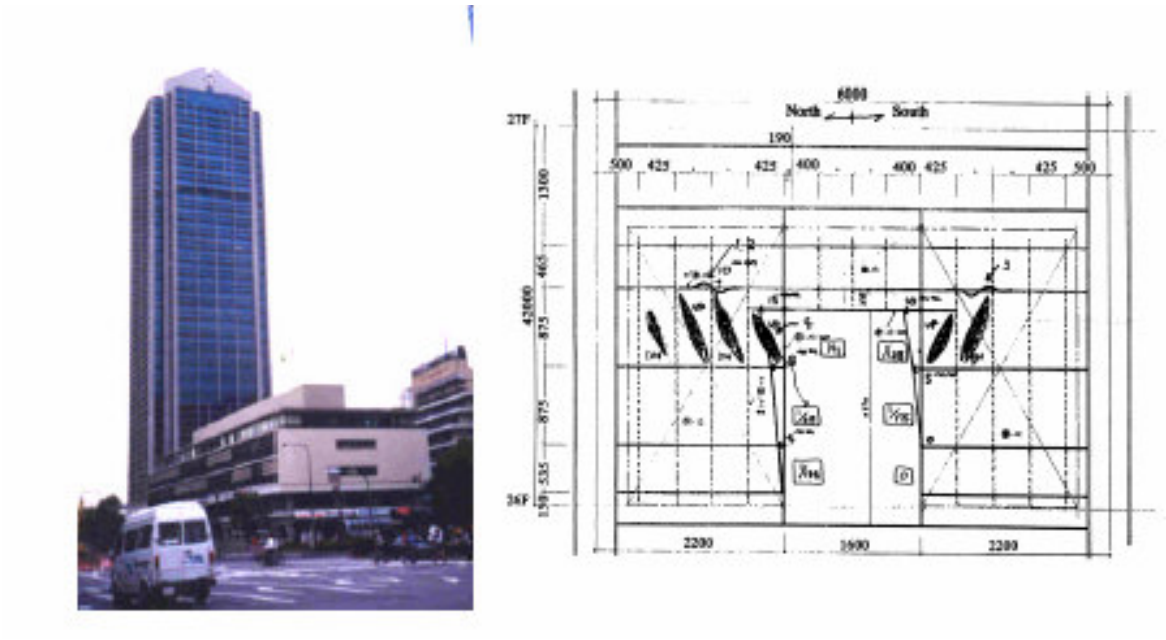
3.1.4. Japonya - Kobe'de 35 Katlı Bir Ofis Binası

Japonya, Kobe'de bulunan 35 kat yüksekliğinde çok katlı bu yapı 1988'de inşa edildi ve 1995 Kobe depremine maruz kaldı. Bu binadaki taşıyıcı sistem, moment aktaran çerçeve sistem ve perde duvarlardan oluşturuldu. Bodrum katı seviyesindeki perde duvarlar betonarme, birinci ve ikinci katlardaki duvarlar kompozit, ikinci katın üzerindeki duvarlar berkitilmiş çelik perde duvarlar kullanıldı. Şekil 3.5, yapının planını ve tipik çerçevelerini göstermektedir. Astaneh-Asl, 1995 Kobe depreminden yaklaşık iki hafta sonra bu binayı ziyaret etmiştir ve gözle görülebilir hiçbir hasar bulamamıştır. [2].



Şekil 3.5 Kobe'deki 35 katlı binanın plan ve kesit görünüşü [2].

Depremden sonra yapı üzerinde yapılan detaylı araştırmalar oluşan küçük hasarın 26. kattaki berkitilmiş çelik plaka perde duvarda oluşan yerel burkulmasından dolayı olduğunu gösterdi (Fujitani et al. 1996) (AIJ, 1995). Çatıda 225mm kuzeye ve 35mm batıya doğru kalıcı deplasman oluşmuştu [steeltips]. Şekil 3.6'da 26.kattaki perde duvarın hasarının eskizini göstermektedir.



Şekil 3.6 35 Katlı binanın bir görünüşü ve 26. katın perde duvarının hasarı [2].

3.1.5. Kaliforniya - San Francisco'da 52 Katlı Bir Konut Binası

Şu anda, ABD'nin çok yüksek sismik alanları içinde çelik plaka perde duvarları ile yapılmış en yüksek yapı San Francisco'daki 52 katlı bir binadır. Bina bir konut kulesidir, 48 katı yerin üzerinde ve dört katlı parkı bodrum seviyesindedir. Yapıya ait temsili resim Şekil 3.7'de gösterilmiştir.



Şekil 3.7 Century binasının temsili resmi. [2]

Düşey yükler, çekirdekte dört büyük çelik tüpün betonla doldurulması ve çevresinde donaltı daha küçük çelik tüp kolonlarının betonla doldurulması ile taşınmaktadır. Çekirdeğin dışındaki katlar art-germeli düzlem döşemelerden oluşmaktadır; çekirdeğin içinde ve alt katlarda tipik kompozit çelik üzeri beton döşemeden oluşmaktadır. Yapının ana yatay yük taşıyıcı sistemi dört büyük beton alanlı her biri çekirdeğin bir köşesinde olan çelik tüplü çekirdek arasına çelik perde duvarlar ve bağ kirişlerinin montajı ile oluşmaktadır. İki köşe boru kolonlarının arasında H kolonları inşa edilmiştir. Çelik perde duvarları beton doldurulmuş çelik tüplere bağ kirişleri ile bağlanmıştır. Perde duvar birimleri öncelikle hazır kaynaklıdır ve şantiyede her katın yarı yüksekliğinde uç uca bulonlanmıştır. Kaynaklanan tek yer, kirişlerin bağlantıları ve çelik plaka perde duvarların büyük betonarme doldurulmuş çelik tüp kolonlarına bağlantısıdır.

3.1.6. A.B.D – Seattle 22 Katlı bir Ofis Binası

Yapı Skilling Ward Magnusson Barkshire tarafından tasarlanmıştır. Binanın katlara ait zemin çerçevesi kompozit olarak oluşturulmuş. Bunlar geniş başlıklı kiriş ve kolonlar tarafından desteklenmiştir. Binanın temsili resmi şekil 3.8' de gösterilmiştir. Yapıdaki yatay yüklere karşı dayanımı, dört geniş çaplı beton dolgulu çelik tüplerin birbirleri ile bir yönde çelik plaka perde duvarlarla diğer yönde çelik çaprazlı sistemlerle bağlanması ile sağlanmıştr. Tasarım ve boyutlandırmada, bu beton dolgulu tüpler düşey yükleri taşırken, çelik plaka perde duvarların moment aktaran çerçevelerle birlikte kullanımının yatay yükleri taşıyacağı göz önünde bulunduruldu. Beton dolgulu tüpler şekil 3.9 de gösterilmiştir.



Şekil 3.8 Binanın temsili resmi [2].



Şekil 3.9 Beton dolgulu tüpler ve Tüpler arası Berkitmeli Çelik Plaka perde duvar uygulaması [2].

3.2. Çelik Plaka Perde Duvarlarının Laboratuar Testleri

ABD, Japonya, Kanada, İngiltere ve son yıllarda Türkiye'de birtakım araştırmacılar çelik plaka perde duvarlarının davranışlarını incelemişlerdir.

Çelik plaka perde duvarlar hakkında araştırmalar 1970'li yılların başında yapılmaya başlanmıştır. O zamandan beri yapılan deneysel ve analitik araştırmalar, iyi bir şekilde tasarlanmış perde duvarların, binalarda rüzgâr ve deprem yanal yüklerine direnme bakımından etkin ve ekonomik bir tasarım alternatifi olduğunu göstermişlerdir. Birçok bina, bir yanal yük direnç sistemi olarak çeşitli şekillerde çelik plaka perde duvarlarla desteklenmiştir. İlk tasarımlar, dolgu plakanın burkulmadan dolayı kaymasını önleme kavramına dayalıydı. Japonya'da, bu, kuvvetle takviye edilmiş ince plakalar kullanılarak gerçekleştirilirken, ABD'de, orta kalınlıkta plakalar kullanılmıştır. Ancak son zamanlarda, kaymaya dirençli sisteminde berkitmesiz ince dolgu plaka kullanılan birçok bina yapılmıştır.

Takviye sınır çerçeveli bir plakanın burkulmasının, plakanın kayma kapasitesinin sınırını göstermediği uzun yıllardır bilinmektedir. İyi tasarlanmış bir perde plakanın burkulmasından sonra, düzlemsel bir diyagonal çekme alanı meydana gelir. Wagner (1931), takviye sınır elemanlarıyla desteklenmiş ince uçak perde panellerinde burkulmadan sonra diyagonal bir çekme alanı meydana geleceğini göstermiştir [2]. Takviye sınır elemanlarıyla desteklenmiş ince bir plakada meydana gelen diyagonal

çekme alanının kayma direnci için esas mekanizma olduğunu söyleyen "saf" çekme alanı teorisi geliştirmiştir. Kuhn ve çalışma arkadaşları (1952), plaka kayma kapasitesini, saf kayma ve eğimli çekme alanının bir kombinasyonu varsayan "tam olmayan" diyagonal çekme teorisi önermişlerdir. Wagner ve Kuhn'un araştırmalarının ardından, Basler (1961) aralıklı enine takviyeli çelik plaka krişlerin kayma kapasitesini tahmin etmek için, gerilme bölgesine ankraj yaparak tam olmayan bir diyagonal gerilme alanı modeli geiştirdi. Basler'in çalışması büyük ölçüde kabul gördü ve günümüzde birçok çelik tasarım standartları ve spesifikasyonlarında plaka kirişlerin tasarımı için temel olarak bulunabilir [3].

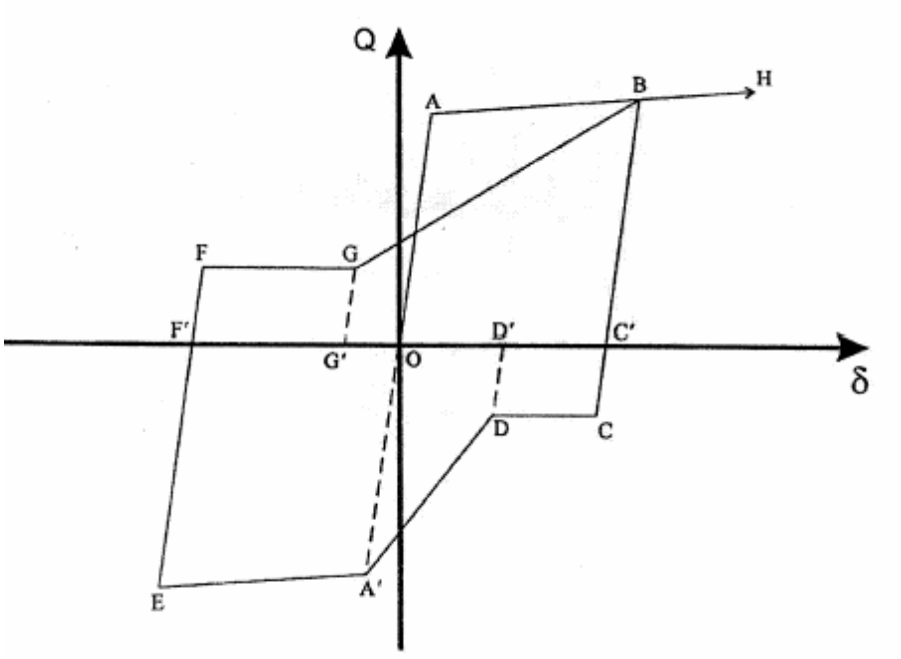
Çelik plaka perde duvar panellerinin davranışı hakkında ilk kapsamlı araştırma programını gerçekleştirdikleri düşünülen Takahashi ve çalışma arkadaşları (1973), birçok piyasada ekonomik olacağa benzemese de, sismik yükler altında kuvvetli bir şekilde takviye edilmiş çelik panellerin, berkitmeli çelik panellerden daha iyi performans gösterdiğini bulmuşlardır.

Aşağıdaki bölümlerde, analitik teknikler üzerinde durularak berkitmesiz çelik plaka perde duvarlarla ilgili önemli araştırma ve geliştirmeler açıklanmaktadır. Ayrıca, çelik plaka perde duvarların üzerinde yapılan deneyler, bu deneyler sırasında çelik plaka perde duvarların davranışı ve bu deneylerden bazı resimler sunulacaktır.

Bu araştırmada geliştirilen model, ilk olarak Thorburn ve çalışma arkadaşları (1983) tarafından önerilen şerit modeline dayandığından, bu analitik teknikteki geliştirmeler, ayrıntılı olarak anlatılacaktır.

3.2.1. Mimura ve Akiyama (1977)

Test eden bir programa ilaveten, Mimura ve Akiyama (1977), çelik plakalı bir perde duvar panelinin histeretik davranışını açıklamak üzere Şekil 3.10'da görüldüğü gibi, ters yönde yükleme yapıldığında, çekme alanı meydana gelmesi için gerekli deformasyonun önceki sismik yük plastik deformasyonun yarısına eşit olduğunu varsayan bir model geliştirdiler. Şekilde, Q, panele uygulanan yanal yüktür ve δ meydana gelen yanal yerdeğiştirmedir. Plakanın plastik Poisson oranının 0.5 olarak kabul edilmesi ve çekme alanı eğiminin, 45° sabit açıda tutulması sisteme ait önemli varsayımlar arasındadır [4].



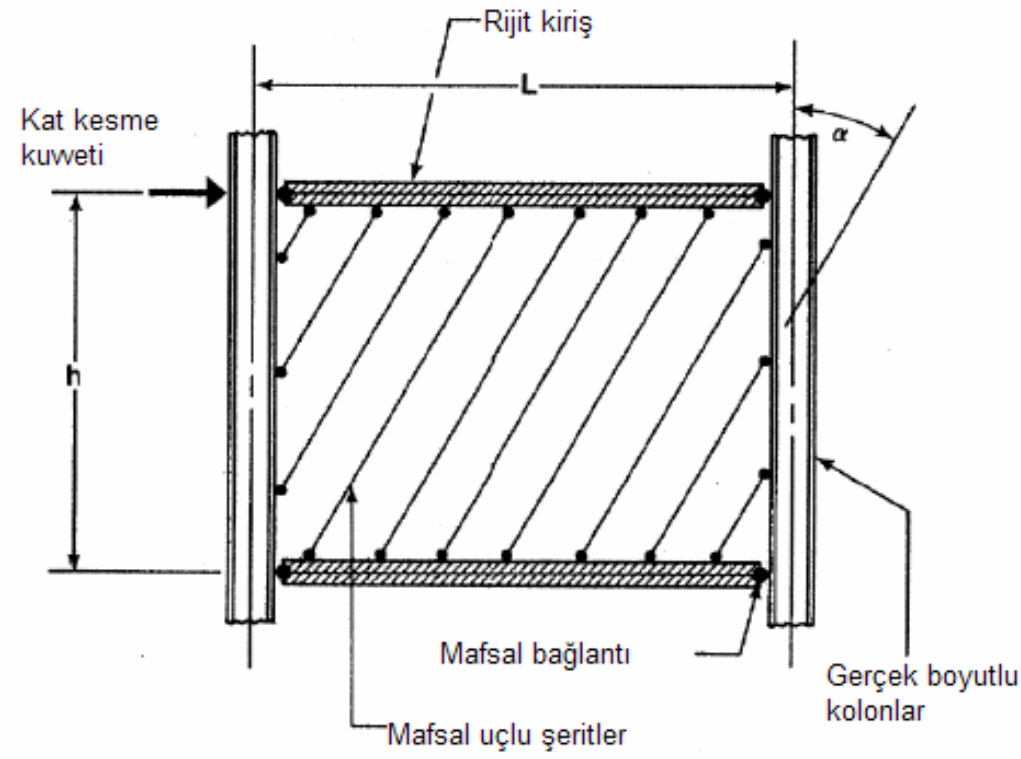
Şekil 3.10 Histeretik Model [4]

OAB yolu, çelik plaka perde duvarın başlangıç (pozitif-itme) yüklemesini açıklar. BC tarafından açıklandığı gibi, çelik plaka perde duvarın yükünün kalkmasının, başlangıç yükleme yolu OA'ya paralel olduğu varsayılmıştır. C'C, duvarın ters yönde yüklenmesi ya da negatif (çekme) yüklemeyi açıklar. Plakanın kayma burkulmasının C noktasında oluştuğu ve plakadaki çekme alanının D noktasında tekrar meydana geldiği varsayılmıştır. Çekme alanının tekrar meydana geldiği nokta, OA'ya paralel ve plakanın Poisson oranının 0.5 olarak belirlenmesinin direkt bir sonucu olarak O ve C noktaları arasındaki mesafenin tam ortasında bulunan D' noktasında başlayan bir çizgi üzerinde bulunmaktadır. Negatif tek yönlü bir eğri, OA'E, varsayarak, histeretik modeli, DA'E yolu boyunca devam eder. EF' tarafından açıklandığı gibi duvardan negatif yükün kaldırılmasının OA'ya paralel olduğu varsayılmaktadır.

3.2.2. Thorburn, Kulak, ve Montgomery (1983)

Çelik plaka perde duvarları üzerine ilk çalışma Thorburn ve çalışma arkadaşları (1983) tarafından yapılmıştır. Thorburn ve çalışma arkadaşları, dolgu plakanın yanal yüklerden dolayı burkulmasının, çelik plaka perde duvarların en yüksek kapasitesini göstermediğini ve eğimli çekme alanının dolgu plakaların burkulma sonrası davranışını belirlediğini bulmuşlardır. Diğer bir deyişle, burkulma öncesi panel dayanımının göz ardı edilebilir olduğu varsayılmıştır. Çekme alanı davranışını simüle etmek amacıyla şerit modeli denilen analitik bir model geliştirildi. Dolgu

plaka, aynı eğim açısına sahip bir dizi yalnızca gerilen seritler ya da çekme alanı olarak modellenmiştir. Perde duvarın tek katını temsil eden tipik bir panel, Şekil 3.11'de görülmektedir. Katların tepkilerinin toplamının, yaklaşık olarak tüm duvarın şerit modelinin tepkisini verdiği ortaya konmuştur, böylece, birçok benzer panelin bulunduğu modellemeler yapmaya gerek kalmamıştır. Şerit modeli, modellenen panelin üstünde ve altındaki ters yönde çekme alanlarının olduğunu göstermek için, sınır kirişlerin sonsuz rijit (bükülmez) olduğunu varsayar. Araştırmacılar, çerçeve davranışının dahil edilebileceğini belirtseler de, bu tezde incelenen modelde, kiriş uçlarında mafsallı bağlantılar kullanılmıştır (Şekil 3.11). Plaka malzemesinin çekme mukavemetinin sınırlayıcı çekme olduğu varsayılmış ve burkulma öncesi dolgu plakanın kayma direnci ihmal edilmiştir. Thorburn ve çalışma arkadaşları (1983), her panelde on bandın plakada gelişen çekme alanını yeterince temsil ettiğini göstermişlerdir. Bu araştırmada yapılan tüm analizler elastiktir. Kanada çelik tasarım standardı CAN/CSA SI6-01, çelik plaka perde duvarlar için tasarım aracı olarak şerit modelini tavsiye eder.[5]



Şekil 3.11 Şematik çelik plaka perde duvar şerit modeli [5]

Thorburn ve çalışma arkadaşları (1983), asgari iş prensibini kullanarak aşağıdaki hale getirilen bir eşitlik türettiler:

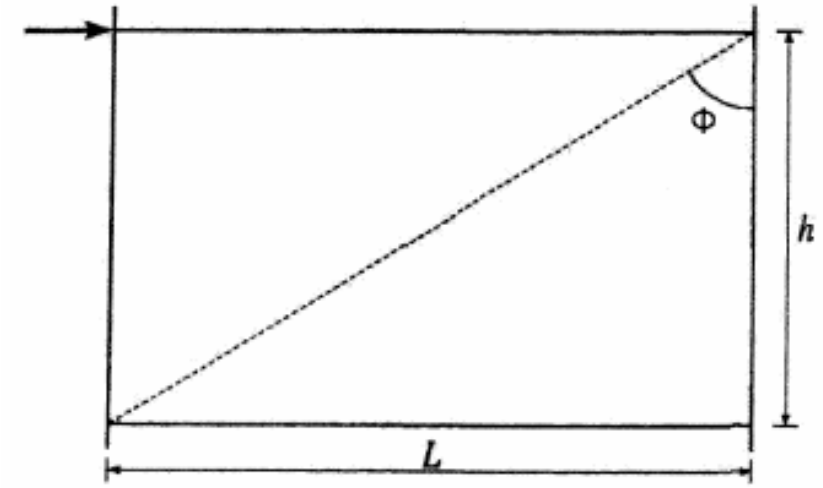
$$\tan^4 \alpha = \left[\frac{1 + \frac{L.t_p}{2.A_c}}{1 + \frac{H.t_p}{A_b}} \right] \tag{3.1}$$

Burada t dolgu plakanın kalınlığıdır. Ac ve Ab sırasıyla kolonun ve kirişin kesit alanlarıdır. Bu türev, sınır elemanların eksenel etkisini içermekte ancak eğilme etkisini içermemektedir. Yani kolonların eğilme etkisi göz önüne alınmamıştır. Çelik plakalı bir perde duvar tasarlama amaçlı tekrarlanan işlemi sadeleştirmek için Thorburn ve çalışma arkadaşları (1983), Şekil 3.12'de görülen eşdeğer destek modeli olarak bilinen bir Pratt kiriş modeli geliştirdiler. Tek bir kattaki dolgu plaka, çerçevenin çalışan noktalarıyla kesişen tek bir diyagonal sadece gerilen kiriş olarak modellenir. Bu diyagonal kiriş , sabit sınır elemanları varsayarak dolgu plakadaki çekme alanının takviye özelliklerini temsil eder. Destek alanı eşitliği aşağıdaki gibidir:

$$A = \frac{tL \sin^2 2\alpha}{2 \sin\phi \sin 2\phi} \tag{3.2}$$

Burada ϕ , diyagonal kirişin kolona göre dar açısıdır ve tüm diğer parametreler, yukarıda açıklandığı gibidir. CAN/CSA S16-01 (Madde 20.2) Çelik plakalı bir perde duvarların ön tasarım aracı olarak eşdeğer destek modelini tavsiye eder.

Thorburn ve çalışma arkadaşları (1983), panel kalınlığı, panel yüksekliği, panelin genişliği ve kolon elastik takviyesinin panel takviyesi ve mukavemetine etkisini değerlendirmek üzere parametrik bir araştırma yapmışlardır. Parametrelerin birbiriyle yakın ilişkili oldukları anlaşılmıştır.

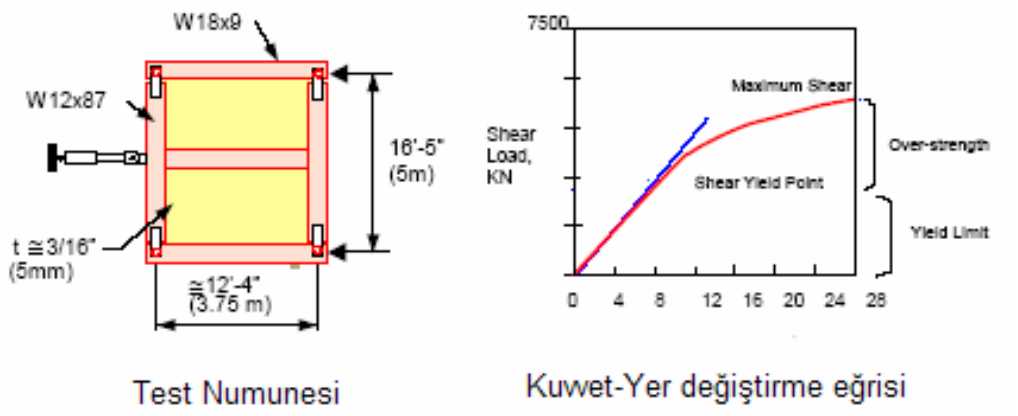


Şekil 3.12 Eşdeğer Destek (Pratt kiriş) modeli [5].

Önerilen ikinci model ise makaslı kiriş modeldi (Equivalent Truss Model). Makaslı kiriş modeli ise şerit sisteminin basitleştirilmiş haliydi. Bu model kat rijitliği hakkında karar vermede pratikti ancak çerçevenin boyutlandırılması hakkında gerekli bilgiyi vermiyordu.

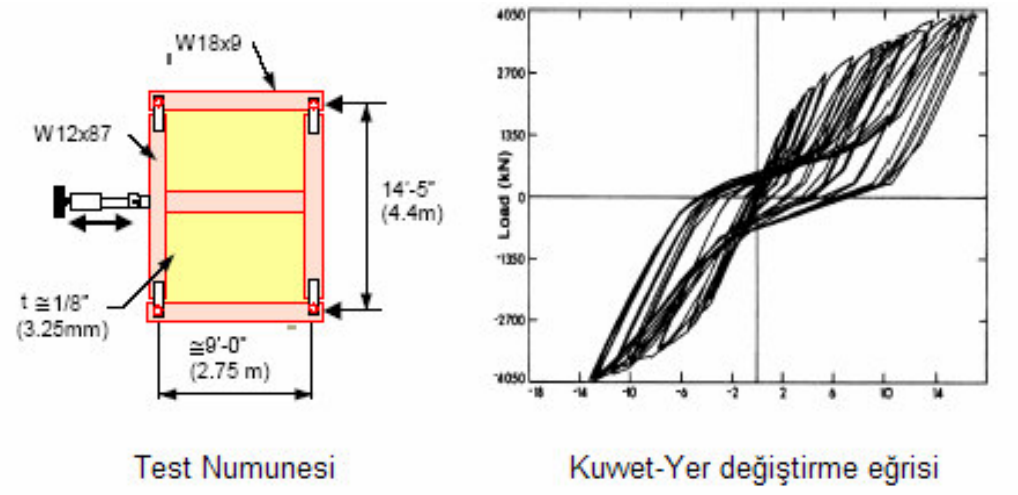
3.2.3. Timler ve Kulak (1983)

Timler ve Kulak (1987), Thorburn'un çalışmalarını doğrulamak amacıyla yeni çalışmalar yapmışlardır. (Kulak, 1991) ve (Drivet ve çalışma arkadaşları., 1996), çelik perde duvarlarının tek yönlü ve çevrimsel (cyclic) deneylerini yönetmişlerdir [steeltips]. Şekil 3.13, Timler ve Kulak (1983) tarafından yapılan, numune ve statik monotonik test için yük yer değiştirme eğrisini göstermektedir. Yük yer değiştirme eğrisinden, davranışın sünek ve yüksek mukavemet değerine sahip olduğu anlaşılıyor. Numunede sünekliğin 4.0'ü aştığı görülmektedir. Ayrıca bu deney, önceleri Thorburn et al. (1983) analitik araştırmaların sayesinde çekme bölgesinin eğim açısı için önerdiği denklemin yeterli doğrulukta olduğunu da kanıtlamış oldu.



Şekil 3.13 Alberta Ünversitesi'nde yapılan ilk statik yükleme testi [2]

Timler ve Kulak benzer deney düzeneğini (1983) çevrimsel yükler altında da test etti. Şekil 3.14 numuneye ait kuvvet yer değiştirme eğrisini göstermektedir. Şekil numunenin tekrarlı yükler altında histeretik bir davranış sergilediğini, sünekliğin 3,5'den fazla olduğunu, rijitliğin ise 2'den fazla olduğunu göstermektedir [6].



Şekil 3.14 Alberta Üniversitesi'nin ikinci testi (çevimsel yükleme) [2]

Araştırmacılar, kolonların eğilme etkilerinin atalet momenti α değerini etkilediğini bulmuşlardır. Bu durumda, ilk olarak Thorburn ve çalışma arkadaşları (1983) tarafından α için geliştirilen eğim açısı aşağıdaki gibi modifiye edilmiştir:

$$\tan^4 \alpha = \sqrt[4]{\frac{1+\frac{Lt_p}{2A_c}}{1+th(\frac{1}{A_b}+\frac{H^3}{360I_cL})}} \tag{3.3}$$

Burada I_c panele dik bir eksen etrafında kolonun eylemsizlik momentidir ve tüm diğer parametreler daha önce açıklanmışlardır. Bir perde duvarın tepesindeki (veya test numunesinin kenarındaki) kiriş gibi sadece bir yönde bir dolgu plakaya sahip olan ve bu yüzden burkulmakta serbest olan kirişler için, kirişin atalet momenti α'yı etkiler. Bu durumda, çelik plakalı bir perde duvarın tepesindeki dolgu plaka için α eşitliği yeniden hesaplanmış ve aşağıdaki gibi gösterilmektedir:

$$\tan\alpha = \sqrt[4]{\frac{1+Lt\left(\frac{1}{2A_c}+\frac{L^3}{120I_b h}\right)}{1+ht\left(\frac{1}{2A_b}+\frac{h^3}{320I_c L}\right)}} \tag{3.4}$$

Burada h, panele dik bir eksen etrafında kirişin eylemsizlik momentidir ve tüm diğer parametreler daha önce açıklanmışlardır. 3.2, 3.3, ve 3.4 eşitliklerinin tümü, mafsallı kiriş kolon bağlantıları varsayılarak modellenmiştir. Kanada çelik tasarım standardı (Madde 20.3.1, CAN/CSA S16-01) α hesaplanması için eşitlik 3.3'ün kullanılacağını belirtmektedir.

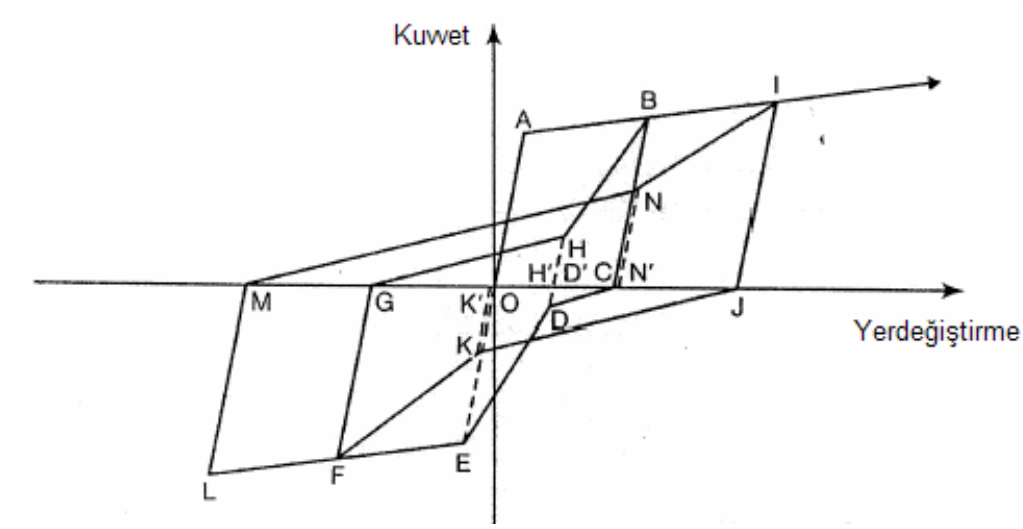
Timler ve Kulak (1983), şerit modelini kullanarak kendi test numunelerini modellemişlerdir. Elastik bir analiz programı kullanıldığından dolayı, sınır elemanlarda elastik olmayan davranış, gerilimi, çekme bölgelerinde ölçülen statik gerilimiyle sınırlayarak elemanların tam boyunun kesit özelliklerinde ve bantlarda ardışık indirgemelerle simüle edilmiştir. Tahmini ve gerçek dolgu plaka gerilimleri, eksenel gerilimler ve yüke karşı sapma tepkisi değerleri arasında iyi korelasyon bulunmuştur. α için Thorburn ve çalışma arkadaşları (1983) tarafından geliştirilen eşitliğin kullanılması durumunda oluşan farklılıklar önemli değildir. Ancak, çekme alanı açısını daha doğru tanımlamak için revize edilmiş 3.3 eşitliğinin kullanılması tavsiye edilmektedir.

3.2.4. Tromposh ve Kulak (1987)

Tromposch ve Kulak (1987), daha ince bir plakaya (3.25 mm) ek olarak tipik olarak alanda ve takviye kolonlarda kullanılacak olan vidalı kiriş kolon bağlantılarının kullanılması haricinde Timler ve Kulak (1983) tarafından test edilene benzer bir tek katlı iki panelli numuneyi test etmişlerdir. Ayrıca, yapıdaki düşey yüklerni simüle

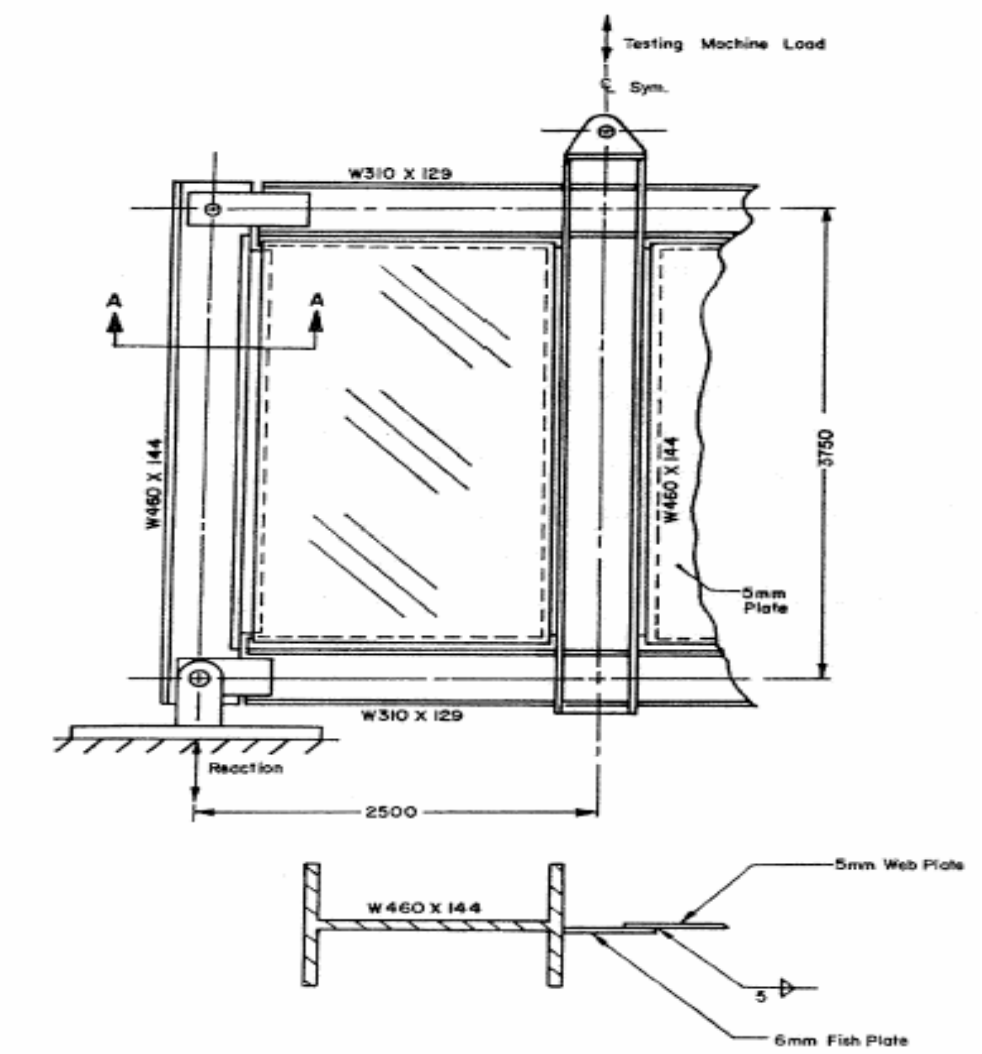
etmek amacıyla testten önce kolonlara ön-germe uygulanmıştır. Bu testlerin esas amaçları, numunenin histeretik davranışını incelemek ve Thorburn ve çalışma arkadaşları (1983) tarafından önerilen analitik şerit modelini doğrulamaktır. Numune, ince plaka ve elastik sınır çerçeve yüzünden histeretik eğrili sünek davranış göstermiştir.

Şekil 3.15'te, Mimura ve Akiyama (1977) tarafından daha önce gerçekleştirilen araştırmaya dayalı Tromposch ve Kulak (1987) tarafından geliştirilen histeretik modeli görülmektedir.



Şekil 3.15 Tromposch ve Kulak tarafından önerilen çevimsel yükleme [7]

Bu model, moment aktaran kiriş kolon bağlantılı perde duvarlar için kullanılabilir olmalarına rağmen, bu testler gerçekleştirilmemiştir. Ayrıca, Tromposch ve Kulak, şerit modelinin (Thorburn ve çalışma arkadaşları 1983) çelik plaka perde duvarların başlangıç takviyesi ve kapasitesi hakkında ihtiyatlı tahminler vermekte olduğunu göstermişlerdir. Elastik olmayan davranış, Timler ve Kulak (1983) tarafından kullanılana benzer bir şekilde oluşturulmuştur. Tromposch ve Kulak (1987), modelin tipik vidalı bağlantıların davranışını tahmin edebilme yeteneğini değerlendirmek için mafsallı kiriş kolon bağlantılarını incelemişler ve test numunesinin davranışının bu iki uç arasında bulunduğu sonucuna varmışlardır. Ayrıca araştırmacılar, bağlama plakasının sınır elemanların merkezine göre egzantrikliğinin çelik plaka perde duvar numunesinin performansına önemli bir etkisi olmadığını saptamışlardır. (Şekil 3.16).

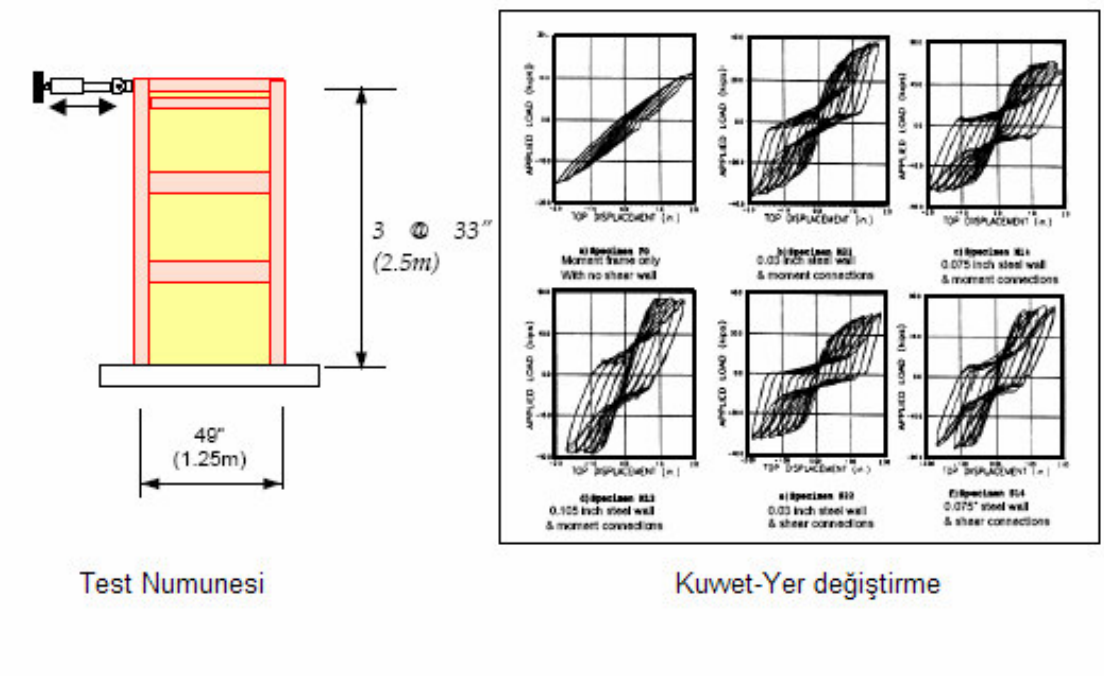


Şekil 3.16 Timler ve Kulak (1983) test numunesi [7]

3.2.5. Elgaaly ve Çalışma Arkadaşları (1993A)

Elgaaly ve çalışma arkadaşları (1993a), üç adet çeyrek ölçekli çelik plaka perde duvar test numunesi üzerinde analizler yapmışlardır (Caccese ve çalışma arkadaşları 1993). Tüm numuneler üç kat yüksekliğinde ve bir açıklık enindedirler. Şekil 3.17 test düzeneğini ve test sonuçlarını göstermektedir. Dolgu plakaların kalınlığı 0.76 mm ve 2.65 mm arasında değişmektedir ve kiriş kolon bağlantıları sabit tiptedir. Bu üç numuneden ikisi, her biri kiriş ve kolonları temsil eden dolgu plaka ve üç düğüm noktalı izoparametrik kiriş elemanlarını temsil eden kabuk elemanlarının altıya altı kafesi kullanılarak modellendi. Elastik olmayan davranış, von Mises elastiklik kriteri ve plastik akış teorisi kullanılarak modellendi. Bir Newton-Raphson iterasyon şeması yapıldı. Kabuk elemanı, test numunelerinin elastik katılığı ve istenen kapasitesini fazla gösterdi. Bu durum, dolgu plakadaki düzlem dışı deformasyonların

modellenememesi ve kafesin, modelin test sırasında gözlemlenen çoklu burkulma dalga boylarını doğru bir şekilde temsil etmesini engelleyecek kadar hantal olmasına atfedildi.



Şekil 3.17 Elgaaly test numunesi ve davranışı. [2]

Elgaaly ve çalışma arkadaşları (1993 a), Thorburn ve çalışma arkadaşları (1983) tarafından geliştirilen şerit modeline dayalı bir "kiriş" modeli geliştirdiler. Her panele eşit aralıklarla on iki bant yerleştirildi ve bantların malzeme özellikleri, tri-lineer çekmeye karşı gerilme ilişkisine dayanmaktaydılar. Başlangıç modülü, çeliğin nominal elastiklik modülüne dayanmaktayken, ikinci modül, analitik ve deneysel sonuçlar arasında iyi bir uyuşma elde etmek üzere seçildi. Araştırmacılar tarafından analitik ve deneysel sonuçlar arasında iyi bir uyuşma elde etmek üzere tanımlanan noktada başlayan düz bir çizgi elde edildi. Sabit kiriş kolon bağlantılı çelik plaka perde duvar numunesi üzerinde bu tri-lineer model kullanılarak istenen kapasite test sonuçlarıyla iyi bir uyum bulunduğu anlaşıldı, ancak, model elastik katılığı fazla göstermekteydi. Elgaaly ve çalışma arkadaşları (1993a) ayrıca, dolgu plaka çekme alanı eğim açısı, a, ve tri-lineer kiriş modelindeki her paneldeki bant sayısının etkisini araştırmak amacıyla hassasiyet çalışmaları yaptılar. Her panelde dört kiriş bantlı modelin, istenen mukavemeti yaklaşık %2.5 fazla gösterdiği ve altı- ve on iki bantlı modeller için istenen mukavemetin pratik olarak aynı olduğu anlaşıldı. Ayrıca,

38° ila 45° arasında değişen α'nın, başlangıç katılığını pek az etkilediği ve istenen mukavemet farkının %5.1 olduğu anlaşıldı.

Çelik plaka perde duvar numunelerinin histeretik davranışını araştırmak üzere ikinci bir kiriş modeli gerçekleştirildi. Gerilme bantları her iki diyagonal yönde aynı hizadaydılar ve 42.8° eğimliydiler. Test sonuçlarından elde edilen ampirik faktörler, iyi bir uyuşma elde etmek üzere modele uygulandı. Model ve test sonuçları arasında tatmin edici bir uyum vardır ancak, bu sonuçların sadece araştırmacılar tarafından kullanılan test numuneleriyle ilgili olduğuna dikkat edilmelidir. Kullanılan ampirik faktörlerin hassasiyeti hakkında daha fazla araştırma gerekmektedir [8].

3.2.6. Xue ve Lu (1994)

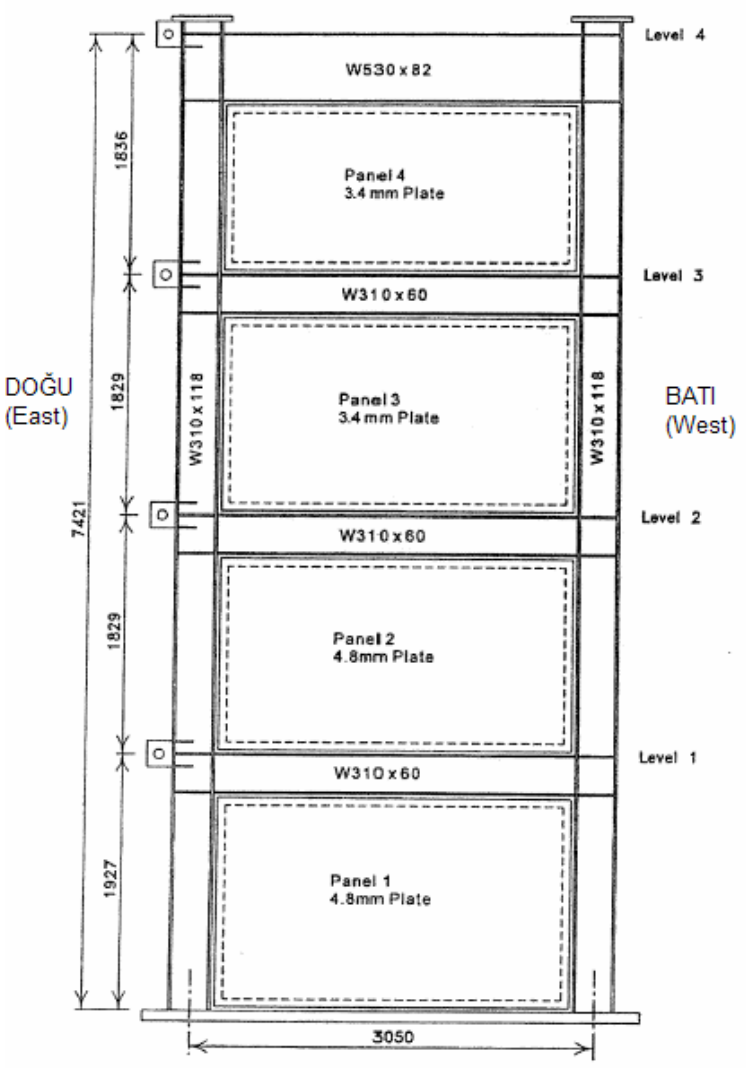
Xue ve Lu (1994), dört adet on iki katlı, üç bölümlü çelik plakalı perde konfigürasyonları üzerinde araştırmalar yaptılar. Her durumda,dış kenarlarda moment dayanımlı kiriş kolon bağlantıları bulunmaktaydı ve her katta iç kenarlarda çelik dolgu plakalar bulunmaktaydı.

İç kenar, basit kiriş kolon bağlantılarından oluşmaktaydı ve dolgu plaka, sadece tüm kirişlere bağlıydı. Karşılaştırma yapmak için, on iki katlı, tek açıklıklı çelik plaka perde duvarların üst ve alt durumları analize dahil edildi. Üst kısım, iç bölümde, tüm sınır elemanlara bağlı yük altında burkulmadığı varsayılan dolgu plakalardan oluşmaktaydı ve tüm çerçeve mafsallarında kiriş kolon bağlantıları sabitti. Alt kısım, iç bölümde basit kiriş kolon bağlantılı bir çerçeveden meydana gelmekteydi ve dolgu plakalar yoktu. Kolon ve kirişler için elastik çizgi elemanları ve dolgu plaka için geniş deformasyon kapasiteli dört düğüm noktalı kabuk elemanlar kullanılarak altı çerçeve duvar yapısı modellendi. 6x8 kafes kullanılan dip panel hariç tüm paneller için 6x6 kafes kullanıldı. Yapılar her katta tek yönlü bir şekilde yanal kuvvetlerle yüklendi. Yerçekimi kuvvetleri uygulanmadı. Analiz sonuçlarına göre, Xue ve Lu (1994), kiriş kolon bağlantı tipinin, çerçevenin yatay rijitliğine pek az etkisi olduğu sonucuna vardılar. Tüm çevreleyen sınır elemanlarına bağlı dolgu plakalı çerçevelerin rijitliğinin neredeyse üst kısımdaki kadar yüksek olduğu anlaşıldı. Sadece kirişlere bağlı dolgu plakalı çerçevelerin, alt kısımdan çok daha yüksek rijitliğe sahip olduğu ancak, dolgu plakaların kendilerini çevreleyen tüm sınır elemanlara bağlı olmaları halinde daha düşük olduğu anlaşıldı. Bu gözleme rağmen, Xue ve Lu (1994), dolgu plakanın sadece kirişlere bağlanmasını tavsiye ettiler. Bu

karara sebep olan ana etken şuydu: analiz, destek sistemi kolonlarının, kolonların erken başarısızlığına sebep olabilecek kat kaymalarının nispeten büyük bir kısmını taşıyacağını tahmin etti [9].

3.2.7. Driver, Kulak, Kennedy, ve Elwi (1997; 1998A,B)

Driver et al (1996 ve 1998) dört katlı bir çelik perde duvar numunesinin çevrimsel testinin sonuçlarını rapor etmiştir [steeltips]. Şekil 3.18 numune düzeneğini ve çelik plaka perde duvarın ilk katının çevrimsel yükler altındaki davranışını gösteriyor. Ayrıca grafikte, sonlu elemanlar programı ile modellenmiş test numunesinin çevrimsel yükler altında ki davranışı da gösteriliyor. Şekil 3.19 ise numunenin sonlu eleman modelini göstermektedir.

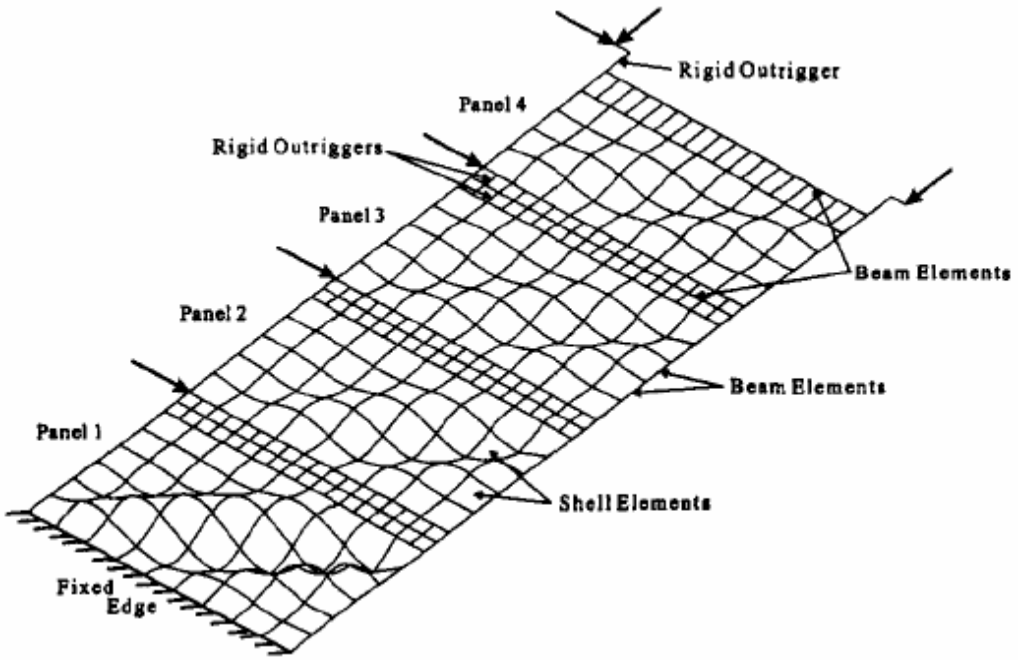


Şekil 3.18 Test düzeneği [10]

Sistemdeki göçme modu taban plakasına kaynaklanmış sol kolonun ısıyla etkilenmiş bölgesinde çatlama oluşmasından kaynaklandı. Bu testin hedeflenen noktaya kadar gitmesini engellemiştir. Çatlamanın nedeni reaksiyon kirişine bağlı kolonun muhtemelen reaksiyon döşemesine ve test takımına bağlı numunenin tabanındaki stres yoğunluğundan dolayıdır. Oysa gerçek bir yapıda böyle bir durum söz konusu değildir. Bu nedenle araştırmacılar (Driver et al, 1998) çatlamadan dolayı oluşan göçme moduyla değil, 20 çevrim sırasında meydana gelen, kolon başlık levhasının yerel burkulmasından ve burkulmuş alanların deformasyonlarından ouşabilecek göçme modu ile ilgilendiler [steeltips]. Bu numunedeki kolonun tabanı erken göçmüş olsa bile, çevimsel davranış, mukavemetin 1.3 ve sünekliğin 6.0'dan büyük olduğunu göstermiştir. Özetle, test davranışı, iyi tasarlanmış bir çelik plaka perde duvar sisteminin sismik yükleme için mükemmel bir yanal yük dayanımlı sistem olduğunu gösterdi.

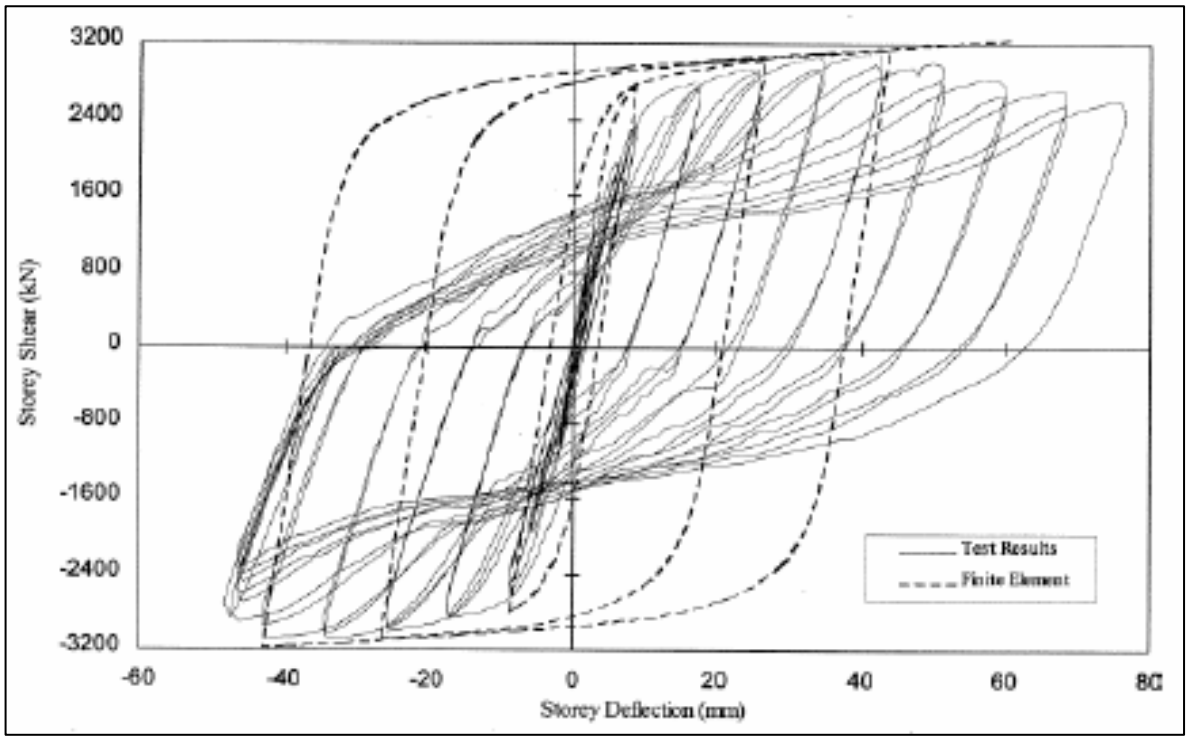
Bunların yanında, Driver ve çalışma arkadaşları (1997; 1998B), çelik plaka perde duvar numunesinin yapısal davranışını tahmin etmek üzere iki analitik model - geliştirdiler. İlki, kiriş ve kolonları temsil etmek üzere dörtlü kiriş elemanları ve dolgu plakaları modellemek üzere dörtlü plaka/kabuk elemanları kullanılan sonlu bir modeldi. Şekil 3.19 test numunesinin sonlu elemanlar modelini göstermektedir. Test numunesinin bitmiş haldeki boyutları ve ölçülmüş malzeme özellikleri, modele girildi. Panellerin tahmini düzlem dışına açıklıkları ve kalan gerilimler de eklendi. Sistem üzerine önemli ölçüde bir noktaya kadar yükleme yapılarak geometrik ve malzeme bakımından non-lineerlik içeren bir analiz yapıldı.

Bu non-lineer analizin, deneysel verilerle mükemmel bir şekilde uyuştuğu ancak, tam



Şekil 3.19 test numunesinin sonlu elemanlar modeli [10]

perde duvar kapasitesine ulaşamadığı anlaşıldı. Ayrıca, bir tam tepki analizi de (geometrik non-lineerlikler hariç) gerçekleştirildi ve istenen mukavemet mükemmel bir şekilde tahmin edildi (neredeyse tam olarak, ancak model eğrisi kapasite bakımından artmaya devam etmektedir), ancak başlangıç rijitliği %15 fazla tahmin edildi. Geometrik non-lineerlikler hariç tutularak çevrimsel bir sonlu eleman analizi yapıldı. Analizden elde edilen yüke karşı yer değiştirme sonuçları, test verileriyle uyumu azalttı ancak, dalgalanan histeretik eğrileri sergilemediler. Şekil 3.20 test sonuçlarının sonlu elemanlar model analizi ile karşılaştırılmasını gösteriyor.

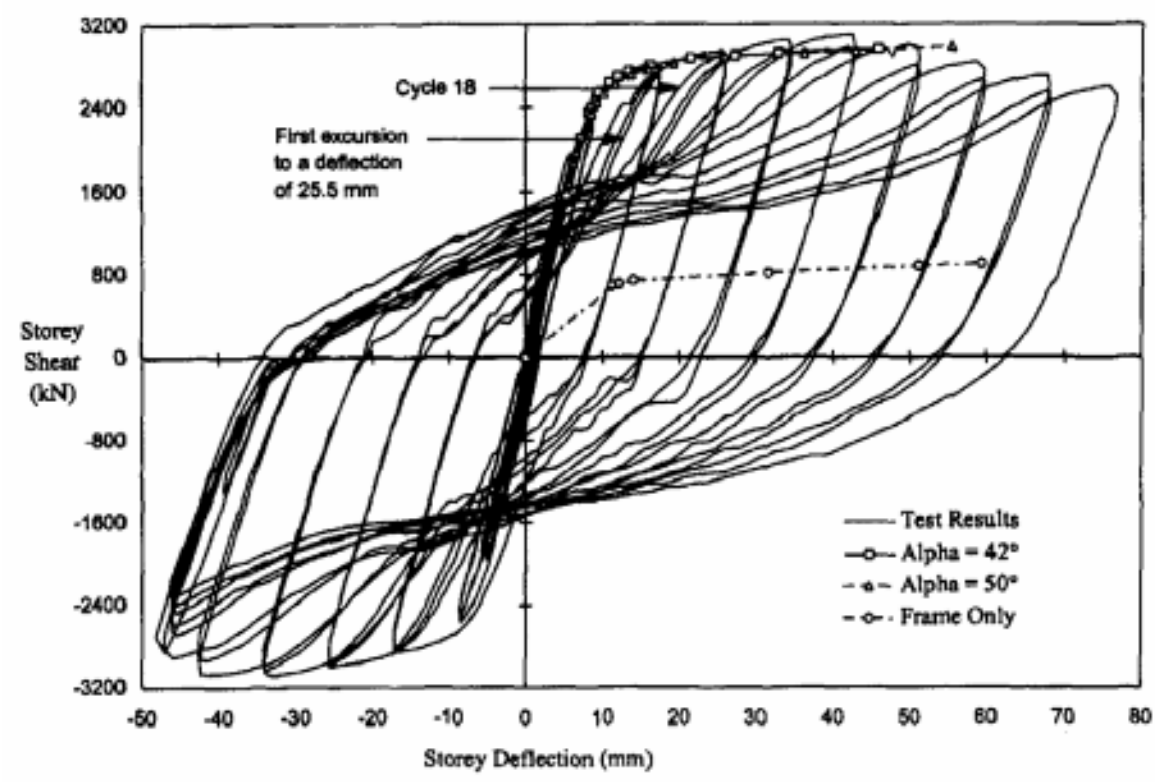


Şekil 3.20 Test numunesinin sonlu elemanlar modeli ile karşılaştırılması, [11]

İkinci model için, Driver ve çalışma arkadaşları (1997; 1998B), testte elde edilen eğrilerin teğetini tahmin etmek üzere şerit (Thorburn ve çalışma arkadaşları, 1983) modeli esasını kullandılar.

Bu modelin amacı, tasarım bürosunda büyük ölçüde kullanılan yapısal analiz yazılımını kullanarak numuneyi analiz etmekti. Bu durumda elastik olmayan davranış, aralıklı plastik mafsallar kullanılarak modellendi. O zamanlar, bu davranışı direkt olarak açıklayabilecek yaygın ticari bir yapısal analiz programı bulunmamasına rağmen, eğimli gerilme bölgeleri ve çerçeve elemanlarının

bağlanması, tekrar tekrar elastik bir analiz programı kullanılarak modellendi. Bir kolon ya da kiriş sırasıyla Mpc veya Mp, plastik moment kapasitesine ulaştığında, o noktaya gerçek bir mafsal yerleştirildi ve mafsala, Mpc veya Mp büyüklüğünde sabit moment uygulandı. Eleman merkezi hat boyutları kullanılarak çerçeve modellendi ve yalnızca çerçeve elemanı uç noktaları mafsallı bağlantı davranışı açısından incelendi. Bir çekme şeridi akma sınırına ulaştığında, modelden çıkarıldı ve şeridin elastik çekme kuvveti, şeridin çerçeveye bağlandığı uçlara çekme ekseni yönünde uygulandı. Her bağlanmadan sonra, gözden geçirilmiş modifiye model tekrar yüklendi ve plastik bir mekanizma elde edilene kadar bu işlem tekrarlandı. Testte düşey yükler kullanıldı ve P-Δ etkileri de analize dahil edildi. Modelin test numunesinin elastik katılığını bir parça düşük tahmin ettiği ve istenen mukavemetle mükemmel bir uyum sağladığı anlaşıldı. Şekil 3.21 test sonuçlarının, şerit model analizi ile karşılaştırılmasını gösteriyor.

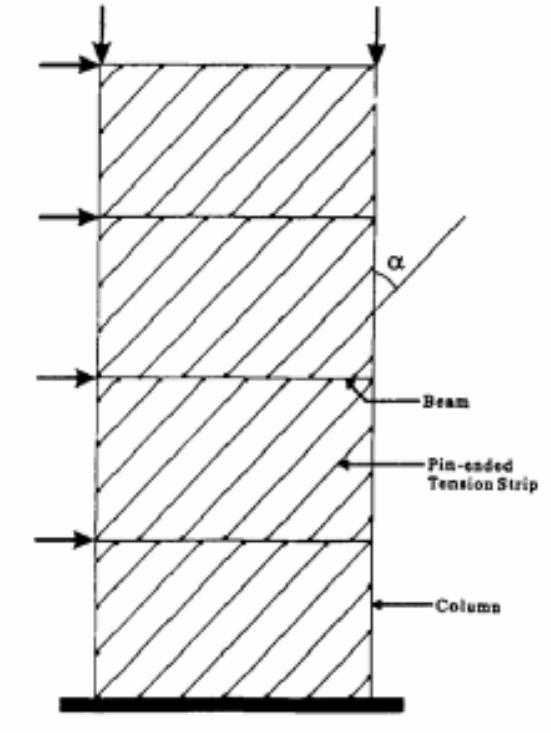


Şekil 3.21 Test numunesinin şerit model analizi ile karşılaştırılması [11]

Driver (1997; 1998B), şerit modeli tarafından test numunesinin başlangıç rijitliğinin neden eksik tahmin edildiği hakkında tartıştılar. Bunun bir sebebi, plakanın

sıkıştırılmış uzunluğunun kısa olduğu yerdeki deforme yapıda dar açılar meydana getiren çerçevenin diyagonal olarak zıt köşelerinde yoğunlaşan sıkıştırma alanı olabilir. Bir başka faktörse, ona bağlı dolgu plakanın varlığından kaynaklanan kolon çekmesi eksenel katılığındaki artıştır.

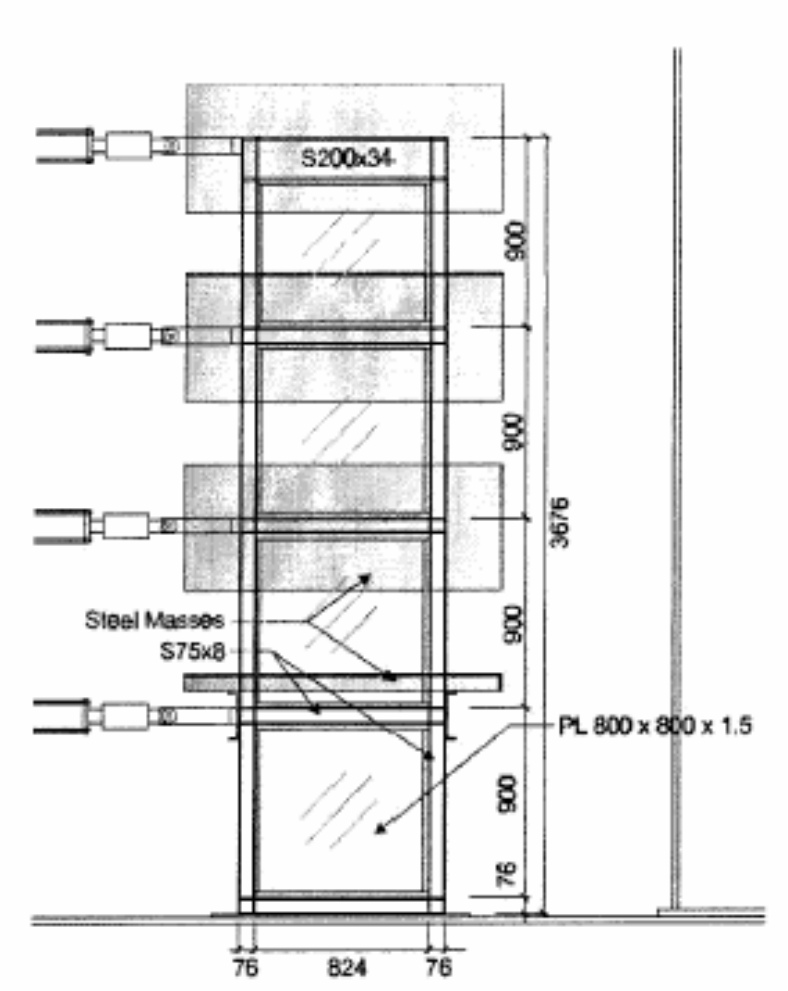
Driver ve çalışma arkadaşları (1997; 1998B) ayrıca, kendi perde duvar numuneleri için, 42° ila 50° arasında değişen çekme alanı eğim açısının kat sapma tahminlerine karşı tahmini kat kaymasını pek az etkilediğini gösterdiler ve bu gözlemi daha fazla incelemek amacıyla parametrik bir araştırma yapılmasını tavsiye ettiler. Ayrıca, dolgu plaka modellemek için yirmi bant kullanıldığında on bant kullanıldığında elde edilenden daha iyi tepki tahmini elde edilemediğini gösterdiler. Ayrıca, araştırmacılar, şerit modeline dayanarak, çelik plaka perde duvar davranışını, sismik davranışın daha iyi tahmin edilebildiğinin görüldüğü iki ayrı bileşene, moment-dirençli çerçeve ve dolgu panel , şekilde ayıran yeni bir histeretik modeli önerdiler. Şekil 3.22 test nmunesinin şerit modelini göstermektedir. [10,11]



Şekil 3.22 Test numunesinin şerit modeli [11]

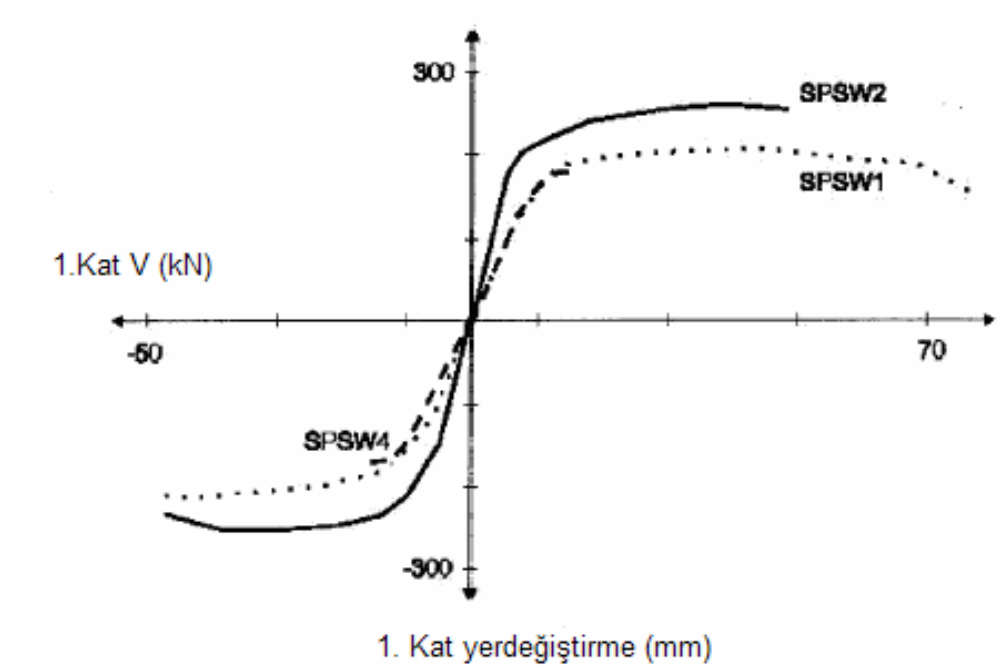
3.2.8. Lubell (1997)

Lubell (1997), Şekil 3.23'te görülen bir adet dört katlı çelik plaka perde duvar numunesi üzerinde deneyler yaptı. Tüm numunelerde kirişler kolonlara moment aktaran bağlantılar kullanılarak bağlandılar. Numune SPSW2'nin tepe kirişi, komşu flanş uçları boyunca biri diğerinin üzerine tam kaynaklı iki adet S75x8 parçasından oluşmaktadır. SPSW1'in üretimi esnasında panelin merkezinde kaynak dolayısıyla maksimum 26 mm düzlem dışı deformasyon meydana geldiği anlaşılmıştır. Bu deformasyon SPSW2 ve SPSW4 numunelerinde düzeltilerek maksimum düzlem dışı deformasyon 5 mm'nin altına indirilmiştir. Yerçekimi yüklemesini simüle etmek amacıyla SPSW4 numunesinin her katına çelik kütleler yerleştirilmiştir.



Şekil 3.23 dört katlı plaka perde duvar test numunesi (SPSW4) [12].

ATC-24 (Uygulamalı Teknoloji Konseyi 1992) koşullarına uygun olarak her üç numuneye de statik benzeri sismik test uygulanmıştır. Tek katlı numunelerin, yaklaşık $6\delta_y$ elastik olmayan deformasyona erişerek çok sünek oldukları görülmüştür. Ancak, Şekil 3.24'de, numunelerin başlangıç katılığının önemli miktarda değiştiği görülmektedir. Bunun sebebi, muhtemelen, SPSW1 numunesinin dolgu plakasının büyük başlangıç düzlem dışı deformasyonları ve SPSW2 numunesinin daha yüksek kiriş rijitliği olması olabilir. SPSW4'ün SPSW2'den daha elastik olduğu gösterilmiştir (Şekil 3.24). Bu da, dört katlı numune üzerine aşırı dönme momenti etkisiyle açıklanmıştır.



Şekil 3.24 tek katlı ve dört katlı test numulerinin karşılaştırılması [12].

Zayıf kolonda global düzlem dışına burkulma meydana geldiğinde ilk kat 1.5δy yer değiştirecek şekilde yükleme yapılmıştır. Düşük akma sınırlarından dolayı tüm numunelerde kolonların önemli ölçüde aktığı görülmüştür.

Lubell (1997), non-lineer bir çerçeve analiz programı, CANNY-E, kullanarak test numunelerinin analitik araştırmalarını yapmıştır. Her kat için eşit cephe oranları (1:1) elde etmek için kiriş elemanı tepe flanşın 37 cm altına yerleştirilen SPSW4'ün tepe kirişi hariç kiriş ve kolon elemanları her elemanın merkezine yerleştirilmiştir. SPSW4 modelinin ara kirişleri sabit kiriş kısımları olarak modellenmiştir. Eşit

aralıklarla yerleştirilmiş onbeş adet yalnızca gerilen eğimli eleman her panelin dolgu plakasını temsil etmek üzere kullanılmıştır ve kolona göre eşitlik 3.3 (Timler ve Kulak 1983) ile hesaplandığı gibi 37° eğimlidirler. Kiriş ve plaka elemanları, akma ve akma sonrası sertleşmeyi açıklamak için üç doğrulu (tri-lineer) rijitlik parametreleri içermekteydiler ve kullanılan kolon elemanları, kolon derinliğinin %20'si varsayılan bir mafsal uzunluğu üzerine eksenel yük etkileri ve akma dayanımı arasındaki elastik olmayan etkileşimleri modellemek için çift doğrulu (bi-lineer) yaylar kullanmışlardır. P-Δ etkileri de hesaba katılmışlardır. İki tip şerit modeli meydana getirilmiştir. İlki, numunelerin toplam itme davranışını açıklamak için tek yönlü yükleme kullanmıştır. İkincisi modellerin histeretik davranışını açıklamak amacıyla tersinir çevrimsel yükleme kullanmıştır. İkinci modelde, yalnızca gerilen bantlar, her panelde toplam otuz bant olacak şekilde, her iki yöne de eğimlendirilmişlerdir. Çevrimsel model yükleme senaryoları, birleşik test numunelerininkine benzerdir.

Monotonic SPSW1 modelinden elde edilen sonuçların test sonuçlarıyla uyumlu olmadığı anlaşılmıştır. Model daha yüksek bir başlangıç katılığı ve istenen mukavemet tahmin etmiştir (test istenen mukavemetinin %10 üzerinde). Lubell (1997), bu sapmaları, dolgu plakanın başlangıç düzlem dışı deformasyonları, test boyunca α açısının değişmesi ve tepe kirişin yanlış modellenmesine atfetmiştir. Bu sayısal yanlışlardan dolayı SPSW1 modelinin çevrimsel analizi takip edilmemiştir.

Monotonic SPSW2 modeli, numunenin başlangıç rijitliğiyle iyi uyuşmuş ancak, istenen mukavemeti biraz düşük hesaplamıştır. Çevrimsel model, dalgalı histeretik eğrilerini kapsayabilmekteydi. Çevrimsel modelin toplam davranışı testinkiyle eşleşti. Ancak, kullanılan sayısal modelleme sadeleştirmelerden dolayı birkaç önemsiz fark vardı.

SPSW4 numunesi için iki monotonik model kullanıldı. Hiçbirinin numunenin toplam itme davranışını tam olarak doğru bir şekilde açıklayamadığı anlaşıldı. Bu model, Eşitlik 3.3'e göre hesaplanan α değerini (37°) kullanarak, numuneninkinin neredeyse iki katı bir başlangıç katılığı tahmin etti. Ancak, istenen mukavemetle iyi bir uyuşma bulundu. Çekme bantları, kolon ve kirişlere bağlı olduğu halde, 22° a değerli çekme alanının sadece kirişlerle tutulduğu kısmi çekme alanına dayalı bir model analiz edildi (Thorburn vça 1983). Bu model, numunenin başlangıç rijitliğiyle iyi uyum gösterdi ancak, numunenin istenen mukavemetini düşük tahmin etti. İyi esneme

sonrası sonuçları verdiği için SPSW4 çevrimsel modeli için, α değeri 37° seçildi. SPSW4 modelinin histeretik döngülerinin tersinir yükleme bölgelerinin tek katlı modelinkilerden daha eğimli olması haricinde, modelin çevrimsel davranışı SPSW2 modelininkine benzerdi. Çevrimsel model, kolon burkulmasaydı, numunenin daha fazla yükleme döngüsüne direnebileceğini düşündürdü. Model ve numunenin histeretik döngüleri arasında direkt karşılaştırma yapılmadı.

Lubell (1997), bazı model parametrelerinin hassasiyetini araştırmak üzere SPSW2 tek yönlü modelini kullanarak bir dizi parametrik araştırma gerçekleştirdi. Başlangıç rijitlğinin dolgu plaka kalınlığındaki t değişimlere aşırı derecede hassas olmadığı ancak, istenen dayanımının t arttıkça arttığı anlaşıldı. Ayrıca, α azaldıkça numunenin hem başlangıç rijitliği hem de istenen dayanımı azaldı.[12]

3.2.9. Takanashi, Mimumra ve Akiyama (1973)

Çelik plaka perde duvar panellerinin davranışı ile ilgili ilk kapsamlı araştırma programı Takahashi ve çalışma arkadaşaları (1973) tarafından gerçekleştirilmiştir, bu çalışmada elastik olmayan çevrimsel yüklenmeye maruz kalan berkitmeli, kesme panellerinin muhtelif konfigürasyonları yapılar için yanal yüklere dirençli sistem olarak uygunluklarını belirlemek için incelenmişlerdir. Takanashi, 12 adet tek katlı ve 2 adet iki katlı numunelerin çevimsel testlerini yaptı. 12 adet tek katlı numuneler yaklaşık 1.2 m genişliğinde 0.9 m yüksekliğindeydi. Numunelerde 2.3 mm, 3.2 mm, 4.5 mm kalınlıklı çelik plakalar kullanıldı. Numunelerin birisi hariç diğerlerinde düşey veya yatay berkitmeler bir veya iki tarafta çelik plaka plakaya kaynaklandı. Moment aktaran çerçeve sistemi tasarlandı. Numunelerin test sırasında çok sünek davranış sergilediği görüldü. Araştırmacılar çelik plaka perde duvarların kesme mukavemetin, $V_y = A(F_y/\sqrt{3})$ formülü ile hesaplanan Von Mises akma kriteri olacağını düşündüler. Takanashi, iki katlı deney numunelerini ise, geçtiğimiz bölümde anlatılan Japonya, Kobe'deki 35 katlı ofis binasının çelik plaka perde duvarlarını temsil etmek için yaptı. Numuneler birebir boyuttaydı. Bir numunede boşluklu perde uygulaması, diğerinde ise dolu perde uygulaması yapıldı. Boşluklu numunede 6 mm kalınlıklı çelik plaka kullanılırken, boşluksuz çelik plakada 4.5 mm kalınlıklı plaka kullanıldı. Test sonunda, Von Mises akma kriteri ile tahmin edilen kesme sınır mukavemetinin, deney sonuçları ile çok yakın olduğu görüldü.

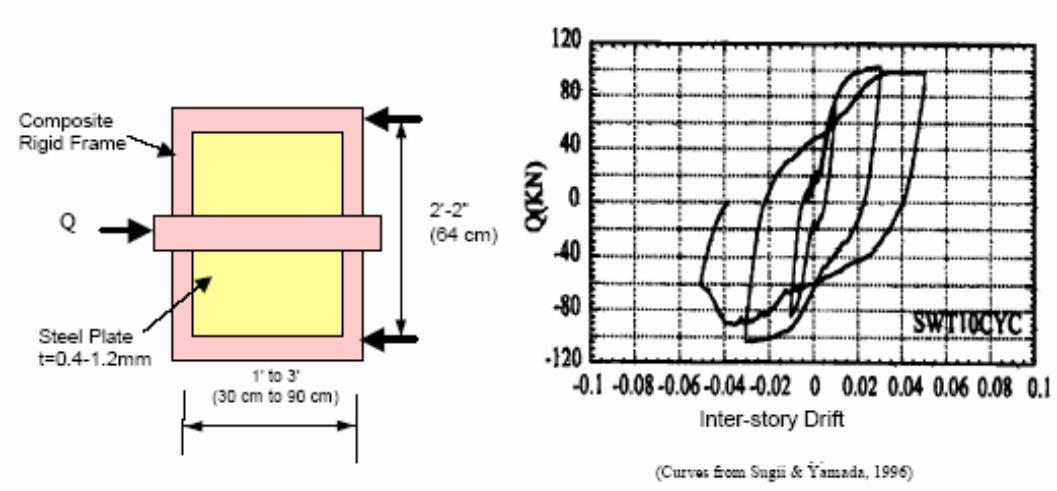
Araştırmacılar, her ne kadar her iki tip de genel olarak istikrarlı ve sünek şekilde davrandılarsa da berkitmeli panellerin berkitmesiz panellere nazaran çok daha fazla enerjiyi dağıttığını ispat ettiler.

Sonuçlara dayalı olarak, araştırmacılar berkitmeli çelik plaka perde duvarların, kesme paneli elastik şekil değiştirmeyecek şekilde boyutlandırmayı önerdi. Ayrıca, elastik olmayan burkulma meydana gelirse, berkitme elemanları arasında yerel burkulma ile sınırlı olacaktır, yani berkitmeli panelin baştan aşağı burkulmayacaktır. Ekonomik nedenlerle, daha yakın zamandaki araştırma elastik olarak burkulan berkitmesiz perde duvarlar üzerinde odaklanmış olsa da, Takahashi ve çalışma arkadaşları tarafından kanıtlandığı gibi berkitmeli panellerin bir şekilde üstün histeretik davranışı teyit edilmelidir [13].

3.2.10. Sugii ve Yamada (1992, 1996)

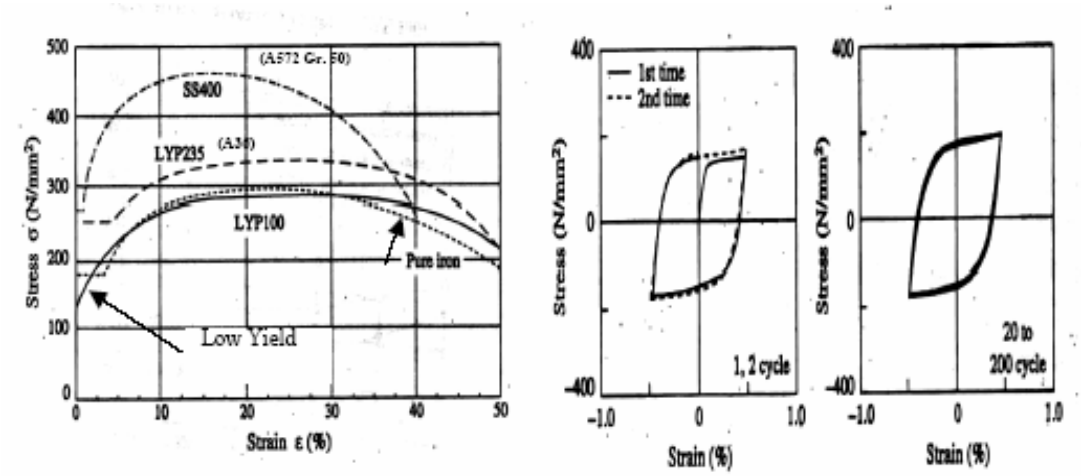
Yamada (1992) çelik ve kompozit perde duvarlarının çevimsel testlerinin sonuçlannı rapor etmiştir. İki numune berkitilmemiş çelik plaka perde duvarından oluşmaktadır. Numuneler 1.2m genişliğinde ve yaklaşık 0.6m yüksekliğindedir. Duvarların kalınlığı da 1.2mm veya 2.3mm'dir. Sınır çerçeveler dikdörtgen betonarme kesitlerin içine rijit olarak gömülmüş çelik çerçevelerdir. Numuneler monotonik yükleme ile diyagonalleri doğrultusundaki yüklemeye maruz kalmışlardır. Göçme modu sınır rijit çerçevelerinin tabanının çatlaması şeklindeydi. Numunelerin davranışları oldukça sünek ve çekme bölgesi diyagonal boyunca şekillenmişti.

Sugii and Yamada (1996), 14 adet çelik plaka perde duvarlarının çevimsel ve monotonik testlerinin sonuçlarında yayınladılar. Numuneler 1/10 ölçekli modellenmiş ve 2 kat yüksekliğindeydi. Sınır çerçeve dikdörtgen betonarme kesitlerin içerisine gömülmüş I çelik profilli rijit kompozit çerçevelerdi. Şekil 3.25, tipik bir numuneyi ve histeretik döngüleri göstermektedir. Tüm numuneler basınç bölgesinin burkulmasından dolayı histeretik döngülerin sıkıştığını göstermektedir.



Şekil 3.25 Tipik test düzeneği ve 1mm kalınlıklı plakanın histeretik davranışı [2].

Torii et al. (1996) çok katlı yapılardaki "düşük akmalı" çelik plaka perde duvar uygulamaları üzerinede çalışmalar yaptı. Düşük akmalı çelik plaka perde duvarlar yatay yükler etkisinde akma gerilmesine daha çabuk ulaşarak büyük şekil değiştirmeler yapıyor böylece büyük enerji sönümlüyorlar. Ayrıca yapılan deneylerde düşük akmalı çelik plaka perde duvarların çevimsel yükler altında kararlı histeretik davranış sergilediği görülmüştür. Şekil 3.26 düşük akmalı çelik plakanın histeretik davranışını göstermektedir.



Şekil 3.26 Düşük akmalı çelik plakanın gerilme şekil değiştirme eğrileri ve histeretik davranışı

Japonya'da yapılan testlerin sonucunda, dinamik yatay yükler altında, düşük akmalı çelik perde duvarların çok iyi performans sergilediği ve çeliğin daha faydalı kullanıldığını gösterdi. Günümüzde düşük akmalı çelik perde duvarlar Japonya'da etkin bir şekilde kullanılıyor. Şekil 3.27 Japonya'da düşük akmalı perde duvar kullanılmış bir binayı ve duvarını gösteriyor.



Şekil 3.27 Düşük akma noktalı çelik plak perde duvarlı binanın ve duvarının görünümü [2].

3.2.11. Elgaaly ve Liu (1997)

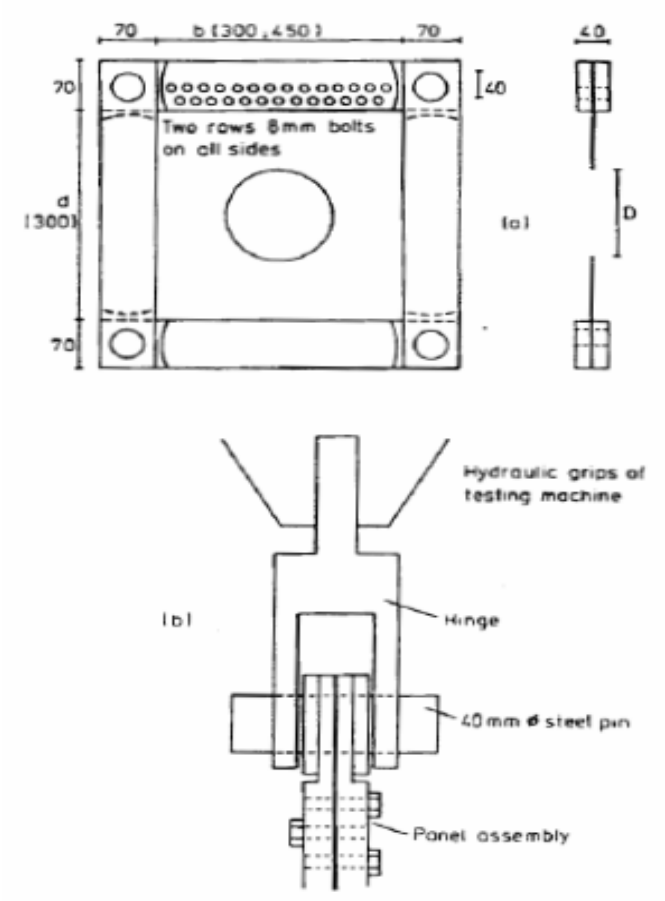
Elgaaly ve Liu (1997), çelik plaka perde duvarlar hakkında analitik bir inceleme yaptılar. Caccese (1993) tarafından yapılan test gözlemlerine dayanarak, dolgu plakadaki çekmelerin homojen olmadığı, sınır elemanların yakınında daha yüksek olduğu anlaşıldı. Bu gözlemi yansıtmak için, araştırmacılar, gerilme bantlarının uçlarındaki bağlantı plakalarını birleştirerek tri-lineer malzeme modelini modifiye ettiler (Elgaaly ve çalışma arkadaşları 1993a). Bağlantı plakaları, yalnızca çekme bantlarının davranışından farklı olarak saf kayma ve diyagonal çekme kombinasyonuna direndiler. Çekme bantlarından önce bağlantı plakalarında esneme meydana geldi. Bağlantı plakalarının boyutları, kare bağlantı plakasının burkulan kayma gerilimi plaka malzemesinin kayma elastiklik gerilimine eşitlenerek saptandı. Çekme bantlarının eğim açısının 45° olduğu varsayıldı ve analize, analitik model ve Caccese ve çalışma arkadaşlarının (1993) çeyrek ölçekli test numunesi arasında iyi bir uyum elde etmek amacıyla ampirik plastik deformasyon faktörü dahil edildi. Elgaaly ve Liu (1997), iki tip çelik plaka perde duvar analiz ettiler: dolgu plakaların sınır elemanlara kaynakla bağlandığı tip ve vidayla bağlandığı tip. Analizlerden elde edilen sonuçlar, dolgu plakaların sınır elemanlara kaynakla bağlandığı çelik plaka perde duvar numuneleri (Elgaaly ve çalışma arkadaşları 1993A) ve vidayla bağlandığı numunelerle (Elgaaly ve çalışma arkadaşları 1993B) karşılaştırıldı. Vidalı perde duvarlarda gözlemlenen farklı davranışı, özellikle vida deliklerinde vida kayması ve aşınma potansiyelini yansıtmak amacıyla, üç doğrulu (tri-lineer) gerilme bantlarının sisteme girilmesiyle modellendi. Test verileriyle iyi bir uyuşma sağlanması amacıyla Elgaaly ve çalışma arkadaşları (1993A) tarafından kiriş modelinde kullanılan ampirik faktörler kullanıldı [14].

3.2.12. Saburi-Ghomi ve Roberts (1992, 1995)

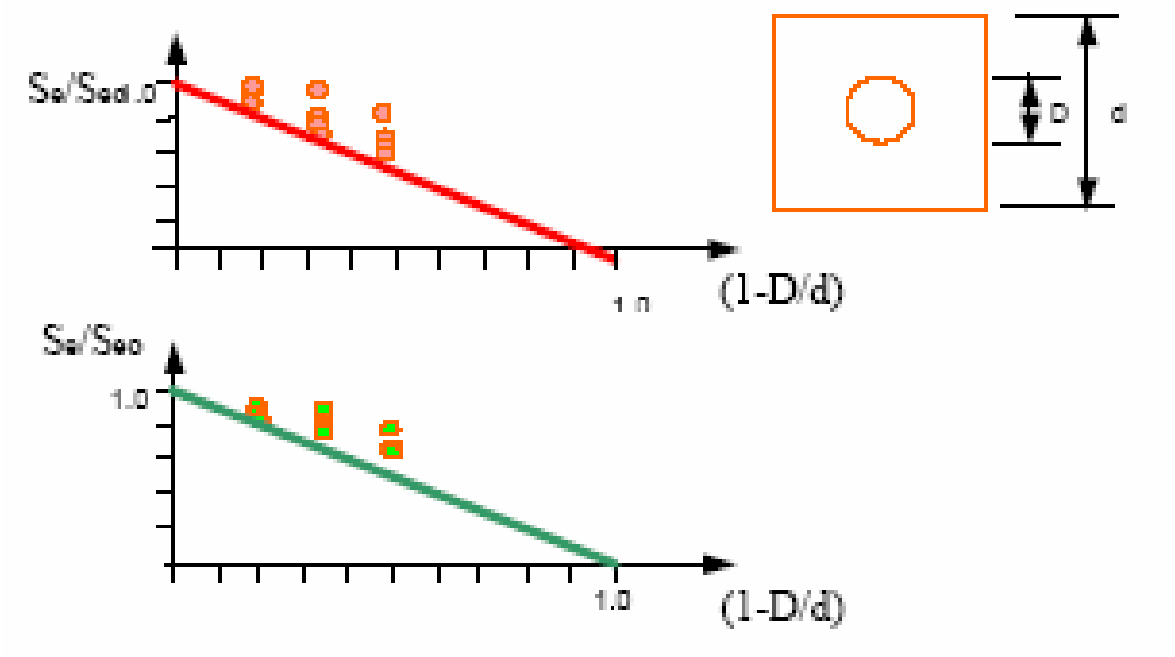
İngiltere'de Sabouri-Ghomi ve Roberts (1992) diyagonal olarak yüklenmiş, üzerlerinde dairesel delik bulunan çelik perde panellerin histeretik davranışını araştırdılar. Test 16 numuneden oluyordu[perforated thesis]. Bu testlerdeki numuneler, 300 x 300 mm veya 400 x 400mm boyutlarında olup 0.83 mm veya 1.23 mm çelik plaka kalınlığına sahiptiler. Çelik plakalar çerçeveye 8 mm çapındaki yüksek mukavemetli bulonlar ile bağlıydılar. Bazı paneller deliklere sahipti. Delikler 60, 105, veya 150 mm çaplarındaydı. (Şekil 3.28).

Çevimsel yük, çelik plakanın sadece kesmeye maruz bırakılıp sonuçlanmasıyla, diyagonal aks boyuca uygulanmıştır. Testler şunları göstermiştir: tüm paneller yeterince sünekliğe ve uzun süreli dört büyük elastik olmayan döngüye sahiptir. Roberts (1992)'ta sunulan tipik histeretik döngüler, mukavemetlerinde hiçbir düşüşün olmadığı 7'den büyük sünekliğe ulaşan numuneleri göstermektedir. Bu test programının enteresan bakış açılarından birisi, mukavemet ve sertlik üzerine duvardaki deliklerin etkilerinin araştırılmasıydı. Araştırmacılar şu sonuca vardılar: Şekil 3.29'de gösterildiği gibi, mukavemet ve sertlik lineer olarak (l-D/d)'in artmasıyla azalmaktadır. Araştırmacılar şu formülü verdiler.

$$\frac{V_{yp.perf}}{V_{yp}} = \frac{K_{perf}}{K_{panel}} = \left[1 - \frac{D}{d}\right] \tag{3.5}$$



Şekil 3.28 Şematik test numunesi
(a) delikli çelik plaka (b) mafsal bağlantı şekli [2].



Şekil 3.29 Delikli çelik plak panellerde gerilme ve rijitliğin delik boyutuyla değişimi [2]

3.2.13. Timler ve Çalışma Arkadaşları (1998)

Araştırmacılar ve sanayide profesyonel çalışan mühendisler, çelik plaka perde duvarların tasarım ve maliyet fizibilitesi hakkında analitik bir araştırmada birlikte çalıştılar. Kanada çapında farklı yerleşimler için süneklik derecesi değişen çelik plaka perde duvarlı orta boyutlu ofis binalarının kapsamlı tasarımları yapıldı ve betonarme perde duvarlar kullanılan alternatif tasarımlarla karşılaştırıldı. Çelik bina tasarımları, CAN/CSA SI6.1-94 Ek M'ye dayanmaktaydı ve uygulanan sismik yükleri meydana getirmek için 1995 Kanada Ulusal Bina Kodu (NBCC 1995) kullanıldı.

Tasarım alıştırmalarına göre, CAN/CSA SI6.1-94 çelik plaka perde duvarlar talimatlarına göre bazı modelleme sadeleştirmeleri önerildi. Bu öneriler arasında, sabit kiriş kolon bağlantılı çerçeveler için, kiriş üzerindeki ortak düğün noktalarına uyum sağlamak üzere, gerilme alanlarının değişimini içeren çekme alanının ortalamasının alınması ve R'nin, NBCC 1995'den alınan sistem davranış katsayısı R = 4 için tasarlanmış çekirdek kolonlarını sınırlayan eksenel yükü serbest bırakmak da bulunmaktadır. Ancak, bu konuların önemsiz olduğu anlaşılmış ve çelik plaka perde duvar tasarım prosedürünün temel analitik araçlar kullanılarak gerçekleştirilebilecek kadar basit olduğu anlaşılmıştır. Çelik plaka perde duvar yapıları, üst ve alt yapı çalışmalarının geleneksel betonarme perde duvar

şekillerinden daha ucuz olduğu anlaşılmıştır. Ayrıca, çelik plaka perde duvarlı bir binanın, betonarme çekirdekli benzer bir binadan daha çabuk sahibine teslim edilebileceği de anlaşılmıştır. Bu faktörler, çelik plaka perde duvarlı yapıların ekonomik fizibilitesine katkı sağlamaktadır [15,16].

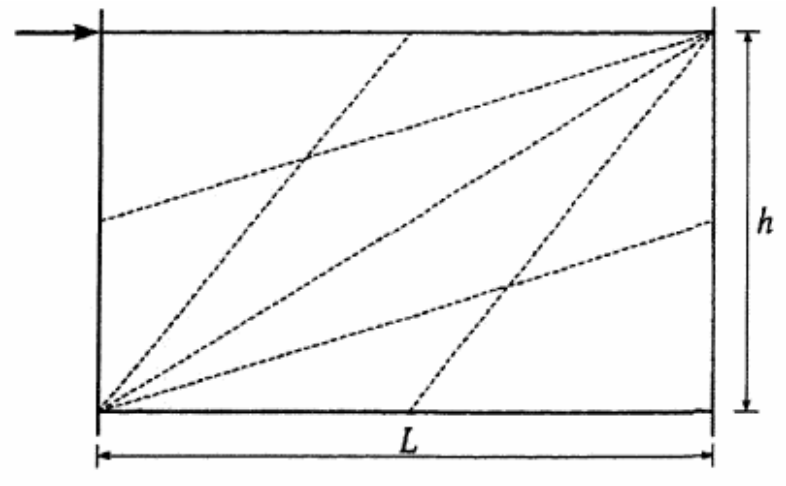
3.2.14. Rezai (1999)

Rezai (1999), dinamik davranışı araştırmak üzere Lubell (1997) tarafından test edilene neredeyse özdeş çeyrek ölçekli dört katlı çelik plaka perde duvar numunesi üzerinde sarsma tablası testi gerçekleştirdi. Çelik plakalı bir perde duvar numunesine bu tür bir test ilk kez uygulanmaktaydı. Tüm kiriş kolon bağlantıları, moment aktaranydiler. Ancak, bu bağlantılar için kolonlar üzerinde takviye (süreklilik plakaları) sağlanmamıştı. Çelik plakalar her seviyede 1700 kg'lık bir kütle sağlayacak şekilde her kattaki kirişlerin üzerine yerleştirildiler. Numune, yoğunlukları değişen çeşitli yerlerde kaydedilen ve sentetik olarak üretilen yer hareketlerine tabi tutuldu. Sarsıntı tablasındaki sınırlamalar dolayısıyla, test sonuçları esas olarak elastik aralıkta kaldı. Dolayısıyla, çelik plaka perde duvar numunesinin non-lineer davranışı ayrıntılı olarak anlaşılamadı.

Rezai (1999), ilk modun, daha yüksek modların küçük katkılarıyla titreşimin esas modu olduğunu buldu. Tepe katlar elastik davranışın baskın olduğunu düşündüren davranışlar sergilerken, zemin kat, test dizisi boyunca perde panel görevi yaptı. Dört katın tümü için deformasyona karşı yük grafiğine dayanarak, enerjinin büyük bölümünü ilk katın harcadığı ve üst katların ilk kat etrafında dönen sabit bir birim olarak işlev gördüğü gösterildi. Ayrıca, ara düzey kirişlerinde üretilen elastik çekmelerin ihmal edilebilir olduğu anlaşıldı.

Rezai (1999), ayrıca, dolgu plakası çekme alanı eğim açısı değerini, α, değerlendirmek amacıyla, Eşitlik 3.3 ve 3.4'ü kullanarak hassasiyet analizi yaptı. Bir yapısal özellik değiştirilirken diğerleri sabit tutuldu. Beş farklı test numunesi kullanıldı: Timler ve Kulak (1983), Tromposch ve Kulak (1983), Caccese (1993), Driver (1998a), ve Lubell (1997). Eşitlik 3.3 kullanıldığında kiriş ve kolon kesit alanındaki değişiklikler ve 6 mm ve daha büyük dolgu plaka kalınlıkları t için α'nın büyük ölçüde değişmediği anlaşıldı. Eşitlik 3.4 kullanıldığında, t'deki değişiklerle α önemli ölçüde değişti.

Rezai (1999), çelik plaka perde duvar davranışını analiz etmek üzere Şekil 3.30'de görüldüğü gibi "sadeleştirilmiş" şerit modeli geliştirdi.



Şekil 3.30 Sadeleştirilmiş şerit model [17,18]

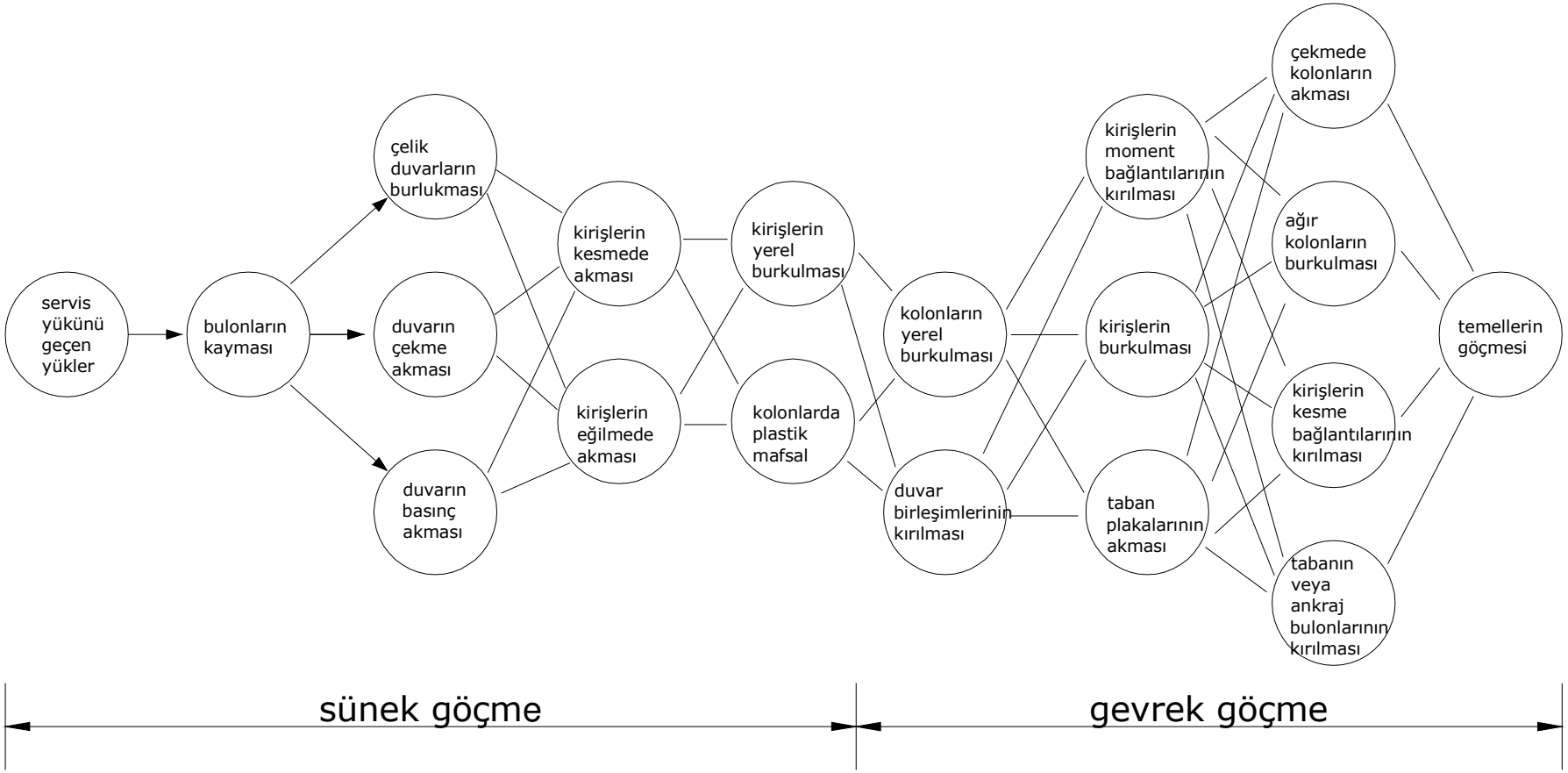
Her panele, zıt köşeler arasında ve köşelerden sınır elemanların açıklık ortasına kadar 5 bant olmak üzere diyagonal olarak yalnızca gerilen bantlar yerleştirdi. Bu bantlar, bu anlamda, homojen olmayan α açısını ve her panelin köşe katılığını yansıtacak şekilde yerleştirildiler. Bu model kullanılarak, Lubell'in (1997) tek katlı numunelerinin tahmini ve deneysel elastik katılığı arasında iyi bir uyum elde edildi. Ancak, modelin, istenen kapasite tahmininde muhafazakar olduğu anlaşıldı. Rezai (1999) ayrıca, "sadeleştirilmiş" şerit modelinden elde edilen sonuçlarla, temel olarak Driver vça (1998a) tarafından test edilen numuneyi kullanarak ilk şerit modelinden elde edilen sonuçları karşılaştırdı. "Sadeleştirilmiş" model, konvansiyonel şerit modelinin verdiğinden daha yüksek bir tahmini elastik rijitlik ve istenen kapasiteye sahipti [17,18].

3.2.15. Astaneh-Asl (2001)

Astaneh-Asl (2001), çelik plaka perde duvarların davranışı ve tasarımını ayrıntılı bir biçimde açıklayan kapsamlı bir belge derleme teşebbüsünde bulundu. Berkitmeli ve berkitmesiz paneller incelendi ve takviye gerektiren perde duvarda açıklıklar olmadığı sürece berkitmesiz dolgu plakaların kullanılması önerildi. Şekil 3.31'de başarısız modların hiyerarşik sırasına göre muhtemel başarısız mekanizmaların bir listesi görülmektedir. Süneklik başarısızlık modları, bu sıralamada kırılganlık

başarısızlık modlarından daha fazla istenir düzeye yerleştirilmiştir ve ilk olarak düzenlenmişlerdir. Bu tablo, çelik plaka perde duvar sisteminde her bir elemanı kontrol etmek için etkin bir tasarım yardımcısı olabilir.

Astaneh-Asl (2001), berkitmesiz çelik plaka perde duvarların tasarımı için plaka kirişlerin davranışını açıklayan eşitliklerin kullanılmasını tavsiye etmiştir (AISC 1999). Berman ve Bruneau (2004), bunu daha sayısal ayrıntılarla vurguladılar ve plaka kiriş davranışlarının çelik plaka perde duvar tasarımı için yeterli olmadığı sonucuna vardılar [2].



Şekil 3.31 Sadeleştirilmiş şerit model [17,18].

3.2.16. Kulak ve Çalışma Arkadaşları (2001)

Kulak ve çalışma arkadaşları (2001), o güne kadar yapılmış çelik plaka perde duvar araştırmalarına toplu bir bakış sundular. Vancouver, Kanada'da, yanal yük direnç sistemi olarak çelik plaka perde duvarlar kullanarak kuramsal bir sekiz katlı bina tasarım örneği sundular. Ön tasarım, eşdeğer kuvvet yöntemi kullanılarak gerçekleştirildi ve ayrıntılı tasarım, şerit modeli kullanılarak gerçekleştirildi (Thorburn ve çalışma arkadaşları 1983). Elemanlar boyutlandırıldıktan sonra, iki yönlü yalnızca gerilen şerit modeline serbest titreşim analizi yapıldı ve buradan, duvarın temel doğal titreşiminin 1.65 s olduğu anlaşıldı. Ayrıca, daha yüksek titreşim modlarının bina yüksekliği boyunca yanal kuvvet dağılımına etkisini hesaplamak için bir tepki spektrum analizi de gerçekleştirildi. Analiz sonucunda, rüzgâr ve sismik yüklerden dolayı meydana gelen sapma oranlarının, 1995 Kanada Ulusal Bina Kodu (NBCC 1995) sınırları dahilinde olduğunu saptadı.

Perde duvarın elastik olmayan statik ve dinamik tepkisini anlamak için, çekme şeritlerinin her iki yöndeki yanal kuvvetlere direnmek üzere her iki yöne de eğimli olduğu bir çekme sıkıştırma modeli kullanılarak analiz edildi. Dolgu plaka çekme kapasitesinin %8'i olarak alınan bantların sıkıştırma kapasitesi, Driver ve çalışma arkadaşları(1998A) testinden elde edilen histeretik luplu taşınan yük ve alınan enerji için çekme-sıkıştırma modelini kalibre edilerek tayin edildi. 0.15 çekmede gerilme mukavemetinin 1.4 katına çekme sertleşmesi ve sonra da düz bir eğri elde etmek üzere malzeme davranışı lineer elastik davranışlı üç doğrulu (tri-lineer) alınmıştır. Ayrıca, P-Δ etkileri de açıklandı. Çekme itme şerit modeline non-lineer itme analizi yapıldı ve perde duvarın NBCC 1995 perde tasarımına göre yaklaşık iki kat fazla mukavemetli olduğu anlaşıldı. Bu yüksek mukavemet, büyük ölçüde, ön tasarım sırasında tayin edildiği gibi gerekenden önemli ölçüde fazla olan 4.8 mm minimum dolgu plaka kalınlığı kullanılmasından kaynaklanmıştır. Non-lineer bir dinamikzaman tanım aralığı analizi, katlar arası sapmaların, çelik plaka perde duvar ile yapısal ve yapısal olmayan elemanların hasar görmekten korunmasını içeren, NBCC 1995 sismik sınırları arasında olduğunu göstermiştir. Ayrıca, veriler, elastik katın, tasarım yük düzeylerinde kendini göstermediğini ortaya koymuşlardır. Elastik olmayan davranışın çoğunun, üçüncü katta en üst seviyeyi bulduğu anlaşılmıştır. Sınıf 1 kolon

kısmının, lokal burkulma yüküne ulaşmadan, maksimum kuvvet çekmeleri yeterli olandan fazla olduğu anlaşılmıştır. Ayrıca, daha sağlam bir kısım elde etmek için üçüncü ve dördüncü katların kolon kısımları değiştirilerek elastik olmayan davranışın ilk katta yükü bulmaya zorlandığı anlaşılmıştır [19,20]

3.2.17. Behbahanifard, Grodin, ve Elwi (2003)

Behbahanifard ve çalışma arkadaşları (2003), çelik plaka perde duvarların deneysel ve sayısal araştırmasını yapmışlardır. Test numunesi direkt olarak, ilk testte hasar gören en alt panel çıkarılmak ve böylece büyük ölçekli üç katlı tek açıklıklı bir numune haline getirilmek suretiyle Driver (1998A) tarafından test edilen numuneden alınmıştır. Yükleme sırası ATC-24 talimatlarına uygun yapılmıştır. Numune istenen mukavemete ulaşmadan önce, ilk kiriş, tepe flanşta ve kiriş kolon bağlantı noktasında kırılmıştır. Testin amaçlarından biri, fazla yükleme koşulları altında duvarın istenen kapasitesini ve sınır elemanların davranışını gözlemlemek olduğundan, kırılma onarılmış ve teste devam edilmiştir. Alt kat dolgu plakada aşınma deformasyonundan dolayı mukavemetin derece derece azalmaya başladığı noktada elastiklik sapmasının yedi katı olan sapmada numune istenen kapasitesine ulaşmıştır ($7\delta_y$). Numune, yüksek elastik rijitlik, mükemmel süneklik, yüksek enerji harcama yeteneği, stabil histeretik lupları göstermiştir.

Çelik plaka perde duvarların analizi için sonlu bir eleman modeli geliştirilmiştir. Malzeme ve geometrik non-lineerlikler modele dahil edilmiştir. Perde duvarın analizi için Bauschinger etkisini simüle etmek amacıyla kinematik sertleşen bir malzeme modeli gerçekleştirilmiştir. Bu model, Behbahanifard ve çalışma arkadaşları (2003) and Driver (1998A) numunelerinin tek yönlü ve çevrimsel tepkilerini simüle etmek amacıyla kullanılmıştır. Bu nedenle, sayısal kararsızlıkla karşılaşılmadan analiz tamamlanabilmiştir. Tahmini kapasitenin, sonlu eleman tarafından biraz düşük hesaplanmış olmasına rağmen, test sonuçları ve sayısal tahminler arasında mükemmel bir uyum gözlemlenmiştir (üçüncü kat numunesi için %12 ve dördüncü kat numunesi için %7.8). Ayrıca, sayısal model, test numunelerine göre daha az olmakla beraber, itme etkisini kapsaması dahil her iki numunenin de histeretik davranışını iyi tahmin etmiştir.

Tek panelli çelik plaka perde duvar davranışını etkileyen bazı boyut dışı parametreleri bulmak ve değerlendirmek amacıyla değerlendirilmiş sonlu eleman modeli

kullanılarak parametrik bir araştırma yapılmıştır. Dolgu plakaların cephe oranının 1.0 ile 2.0 aralığında değişmesinin perde duvar panelinin davranışını ihmal edilebilir düzeyde etkilediği anlaşılmıştır. Ancak, 1.0'den küçük cephe oranları için, normalize rijitlik ve normalize panel kayma kapasitesi artar. Dolgu plakanın eksenel rijitlik oranı kolonlarınkine ($tL/2A_c$) çıkarılırsa, perde duvar panelin rijitliği artar ancak, bunun, sistemin normalize kayma kapasitesi üzerine etkisi ihmal edilebilecek kadardır. CAN/CSA S16-01 Madde 20.4.2'de açıklandığı gibi kolon atalet momenti artarsa, $\alpha>h$, kolonlarda burkulma deformasyonu artar. Çekme alanı davranışı dolayısıyla kolonların içlerinde oynama olması, homojen olmayan bir çekme alanına yol açar. Böylece, kolon atalet momenti arttıkça sistemin rijitliği ve kapasitesi artar. Ayrıca, dolgu plakadaki başlangıç düzlem dışına açıklık kusurlarının perde panelin rijitliğini önemli ölçüde etkileyebildiği ancak kayma kapasitesine pek az etkisi olduğu da gösterilmiştir. Aslında 0.0\4Lh'den az kusurlar ihmal edilebilir bir etkiye sahiptirler. Aşırı dönme momenti ve uygulamalı yerçekimi yükü etkileri de, değerlendirilmiş sonlu eleman modeli kullanılarak incelenmiştir. Yerçekimi yükü veya dönme momentindeki artışların neredeyse lineer anlamda perde duvar panelinin elastik rijitliğini azalttığı ve ayrıca normalize kapasite ve sünekliği de önemli ölçüde azalttığı anlaşılmıştır [21].

3.2.18. Berman ve Bruneau (2003)

Berman ve Bruneau (2003), dolgu plakayı temsil etmek üzere plastik analiz teorisi ve ayrık bantlar varsayımını kullanarak, basit ya da sabit kiriş kolon bağlantılı tek ve çok katlı çelik plaka perde duvarların istenen mukavemetini hesaplamak üzere eşitlikler türetmişlerdir. Çok katlı perde duvarlar için, yaklaşık istenen mukavemetleri veren iki tip mekanizma durumuna dayanarak eşitlikler geliştirilmiştir:

- Kat mekanizması
- Dolgu plakaların tüm katlarda aynı anda akması.

Daha düşük kapasite sınır tahmini sağlamak için, basit kiriş kolon bağlantılı tek katlı çelik plaka perde duvarlar için türetilen eşitlik, literatürden mafsallı ya da yarı sabit bağlantılı çeşitli tek ve çok katlı çelik plaka perde duvar numunelerinin kapasitesini tahmin etmek üzere kullanıldı. Bu eşitliğin, deneysel kapasiteleri, bir durumun kapasitesini yaklaşık %9 fazla tahmin etmekle beraber, ortalama %6 eksik tahmin etmekte olduğu anlaşıldı. Kat mekanizması için türetilen eşitlik, sabit bağlantılı çok

katlı test numunelerinin kapasitesini yaklaşık %17 fazla tahmin etti. Bu model, sadece istenen kapasiteyi sağlamaktadır. Önerilen eşitlikler, başlangıç rijitliği, süneklik ya da gerçek mekanizma durumunu açıklamamaktadır ve tasarımda kullanılmak üzere çerçeve kuvvetleri tayin etmemektedirler. [22,23]

Berman ve Bruneau, ayrıca, çelik plaka perde duvarların tasarımını CAN/CSA S16-01'i kullanarak da incelemişlerdir. Geleneksel gerilme modelli ile birlikte gerçek bir tasarım durumunu kullanarak eşdeğer kat destek yöntemi (Thorburn 1983) kullanılmıştır. Cephe oranı bire eşit değilse, eşdeğer destek yönteminin şerit modelinden daha yüksek bir kapasiteye yol açacağı anlaşılmıştır (ancak, eşdeğer destek model kullanımının sadece ön boyutlandırmaya yönelik olduğunu ve ayrıntılı tasarıma yönelik olmadığına dikkat edilmelidir).

Araştırmacılar, dolgu plaka tasarımı için eşdeğer yanal kuvvet yöntemi kullanılarak bulunan kat kaymasının ($V_{s)}$, 1.1 ile 1.5 arasındaki bir sistem fazla mukavemet faktörüyle ($Q_{s)}$, çarpılması gerektiğini gözlemlemişlerdir. Bu durumda, her kat için minimum dolgu plaka kalınlığı:

$$t = \frac{2V_s\Omega_s}{F_y L \sin 2a} \tag{3.6}$$

Burada F_y dolgu plakanın akma mukavemetidir.

3.2.19. Kharrazi ve Çalışma Arkadaşları (2004)

Kharrazi ve çalışma arkadaşları (2004), sünek çelik plaka duvarların kayma ve bükülmesini analiz etmek için modifiye plaka-çerçeve etkileşim (M-PFI) modeli denen sayısal bir model önerdiler. Bu M-PFI modeli, sünek çelik plaka duvarların davranışını üç kısma ayırmaktadırlar:

- elastik burkulma
- burkulma sonrası
- akma

Bu davranışlar birçok aşamada incelendiler. Önce, dolgu plakalar ve çerçevelerin davranışını ayrı ayrı inceleyen bir kayma analizi yapıldı ve sonra, sünek çelik plaka duvarın kayma davranışını elde etmek üzere her biri için kaymaya karşı yük yer değiştirme ilişkileri ilave edildi. İkinci olarak, çerçeve ve plakanın, tek bir birim gibi davrandıkları varsayılarak bir bükülme analizi gerçekleştirildi. Kayma ve bükülme

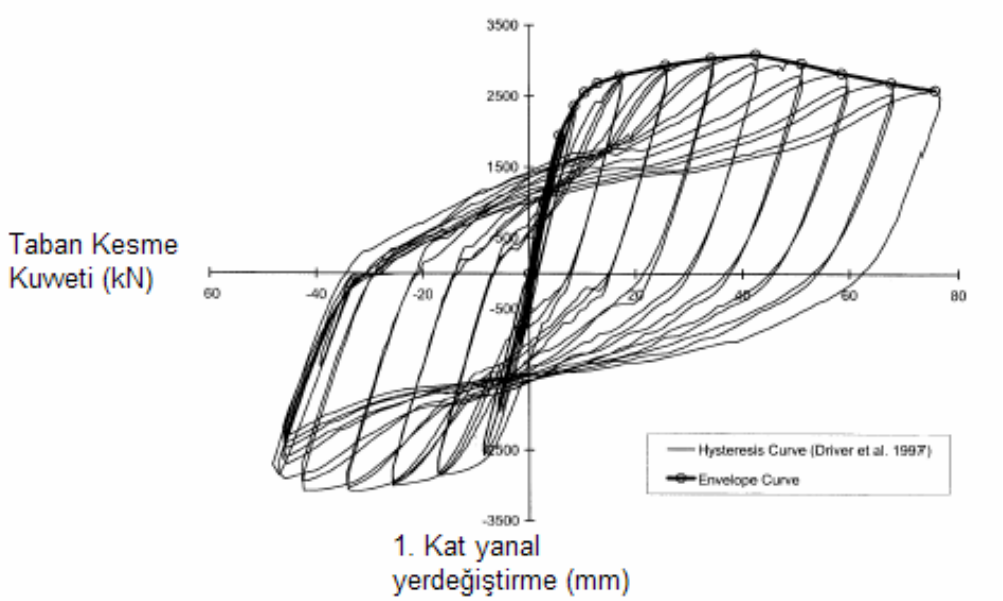
davranışı arasındaki etkileşim analizi tamamlamaktadır. Eşitliklerin, perde duvar davranışını analiz etmek için kullanılabilen bir kaymaya karşı yanal yer değiştirme grafiği üzerindeki bazı noktaları elde etmeleri önerilmektedir.

Kharrazi ve çalışma arkadaşları (2004), M-PFI modelini değerlendirmek için, çekme alanı eğimini 45° varsayarak Driver (1998A) test verilerini kullanmışlardır. Model, numune kapasitesini başlangıç rijitliğinde bir parça fazla hesaplamasına rağmen, numunenin rijitliğini %5 fazla ve istenen kapasitesini yaklaşık %10 eksik tahmin etti (deneysel teğet eğrinin bükülme noktasında). Model çelik plaka perde duvar numunesinin sünekliğini veya gerçek başarısızlık mekanizmasını açıklamamakta ve tasarımda kullanılmak amacıyla çerçeve kuvvetleri saptayamamaktadır [24].

4. AYRINTILI MODEL

4.1. Giriş

İyi tasarlanmış bir çelik plaka perde duvarın tipik lineer olmayan davranışı, başlangıçta yüksek bir rijitliğin ardından, çerçevenin bölgesel plastik mafsalların oluşmasından sonra, duvarın maksimum mukavemetine erişilene kadar dolgu plakaların çekilerek akmasından ibarettir. Daha sonra, büyük yer değiştirmelerle mukavemet yavaş yavaş azalır. Sistemin sünekliği çelik plaka perde duvarın büyük enerji dağıtma kapasitesine katkıda bulunur ve yük taşıma kapasitesi, özellikle çerçevenin moment aktaran kiriş kolon bağlantılarından yapılmış olduğu durumlarda sağlamlığına katkıda bulunur. Çelik plaka perde duvar davranışı histeretik eğrileri enerji dağıtımı hakkında ek bilgi içermesine rağmen, genelde tüm bu özellikler, Şekil 4.1'de görüldüğü gibi, çevrimsel yüklü duvarın teğet eğrisinde yansıtılmaktadır. Bu yüzden, tasarım mühendisinin, bu davranışı, hem etkin hem de doğru bir şekilde modelleyebilmesi gerekir.



Şekil 4.1 Driver ve çalışma arkadaşları (1998A) tes numunesi histeretik ve zarf eğrileri

Çelik plaka perde duvarların davranışını açıklamak için birçok analitik model önerilmiştir. En yaygın şekilde kullanılan model, şerit modelidir. (Thorburn ve çalışma arkadaşları 1983). Bu modelde, her panelin dolgu plakası, eşit aralıklarla yerleştirilmiş en az on yalnızca çekme kiriş elemanına ayrılmıştır. Bunlar, yanal yükler altında meydana gelen ana gerilmelerin ortalama eğim açısına uygun olarak dolgu plakalardaki eğimli çekme alanlarını temsil ederler. Kolon ve kirişleri temsil eden sınır elemanları, çelik çerçevenin her elemanının merkezi ekseniyle aynı hizadadırlar. Daha sonra, yapının tepkisini saptamak amacıyla dikey ve yanal yükler uygulanır. Şerit modeli, konvansiyonel yapısal analiz yazılımıyla kullanılabilir ve Kanada çelik tasarım standardı, CAN/CSA SI6-01, tarafından tavsiye edilmektedir.

Driver ve çalışma arkadaşları (1998B), elastik olmayan davranışı modellemek amacıyla elasto plastik şerit ve çerçeve mafsallarını birleştiren şerit modelinin, büyük ölçekli çelik plaka perde duvarın tepkisini makul bir şekilde tahmin ettiğini ancak elastik burkulma ve istenen mukavemeti düşük tahmin etme eğiliminde olduğunu rapor etmişlerdir.

Bu bölümde, büyük ölçekli çelik plaka perde duvar numunelerinin laboratuar testleri esnasında gözlemlenen olaylara dayanılarak, şerit model için birçok geliştirme tanımlanmakta ve önerilmektedir. Ayrıca bu bölüm, çelik plaka perde duvarı üzerinde, yapısal analiz yazılım paketi kullanılarak yapılan bir itme analizini, analizin yöntemlerini ve sonuçlarını verecektir.

Bu geliştirmelerin esas amacı, belirli bir çelik plaka perde duvar numunesinin lineer olmayan davranışını doğru tahmin ederken deneysel teğet eğrinin tüm önemli özelliklerini de kapsayan ve buradan itibaren ayrıntılı model olarak anılacak olan bir model geliştirmektir. Ayrıntılı model üzerinde statik bir itme analizi gerçekleştirilmekte ve elde edilen sonuçlarla bir itme eğrisi meydana getirilmektedir. Daha sonra bu eğri, test numunesinin teğet eğrisiyle karşılaştırılmakta ve ayrıntılı modelin doğruluğu kanıtlanmaktadır. Bir sonraki bölümde ise, ayrıntılı modelle ilgili münferit geliştirmelerin yararları açıklanacak ve değerlendirilecektir.

Bu araştırma için sadece yaygın bir şekilde kullanılan ve itme analizleri gerçekleştirebilen bir yapısal analiz yazılım paketi gerekmiştir. Tasarım mühendisinin bulabileceği çeşitli ticari yazılım programlarının lineer olmayan yeterliliklerini saptamak üzere bir araştırma yapılmıştır. Yaygın olarak kullanılması, lineer olmayan

itme analizleri yapabilmesi ve araştırmacıların kolayca bulabilmesi dolayısıyla SAP2000® (CSI 2000) seçilmiştir. Ancak, sonraki bölümlerde belirtildiği gibi, ayrıntılı model geliştirmesi tamamen geneldir ve aynı yeterliliklere sahip herhangi bir analiz programında da yürütülebilir.

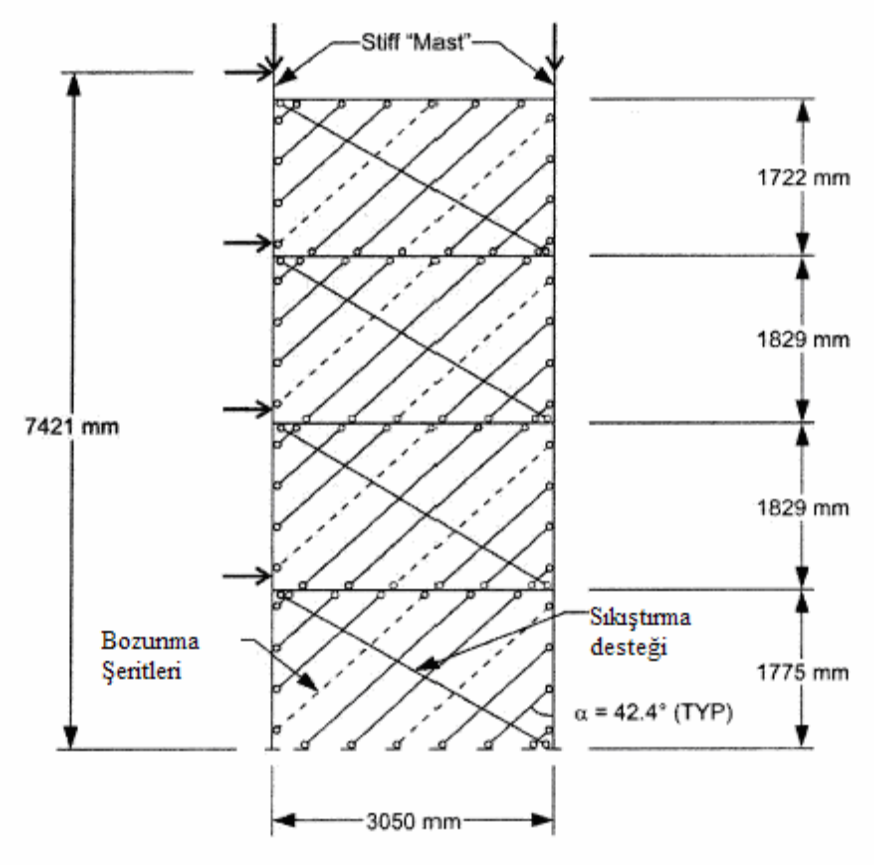
4.2. Test numunesi ve Model Geometrisi ve Yükleme

Ayrıntılı modeli geliştirmek için, Şekil 3.23'de görülen dört katlı bir çelik plaka perde duvar numunesi (Driver ve çlışma arkadaşları 1998A) seçilmiştir. Büyük ölçekli, makul orantılı olduğundan ve kapsamlı deneysel veriler kolayca bulunabildiğinden bu numune seçilmiştir. Ayrıca, ayrıntılı modelin geliştirilmesine katkıda bulunan olayların çoğu, bu numunenin test edilmesi esnasında gözlemlenmiştir.

Driver ve çalışma arkadaşları (1997) tarafından gerçekleştirilen yardımcı testlere dayanarak Tablo 4.1'de, ayrıntılı modele konan test numunesinin malzeme özellikleri verilmektedir. Şekil 4.2'de numunenin bitmiş boyutlarına dayanan ayrıntılı modelin geometrik düzenlemesi görülmektedir. Test numunesi, bir düzlem çerçeve olarak analiz edilmiştir. Kolon bazında düğüm noktaları sınırlanarak ve duvar bazında ilk panel çekme bandı düğüm noktaları sınırlanarak sabit bazlı bir destek durumu meydana getirildi.

Tablo 4.1 Ayrıtılı model için tanımlanan malzeme özellikleri [10,11]

Numune	Elastisite modülü (Mpa)	Akma dayanımı (Mpa)	Maksimum Dayanım (Mpa)	Kopma dayanımı (Mpa)	Akma gerilmesi (%)	Pekleşme gerilmesi (%)	Maksimum gerilme (%)	Kopma gerilmesi (%)
Panel 1 & 2	208 800	341	456	367	0.175	2,62	20,1	34.2
Panel 3	210 900	257	344	277	0.134	2,44	20.0	42.5
Panel 4	203 100	262	375	303	0.145	1,53	17,7	34.1
W 310 x 118	203 000	313	482	402	0.169	1,41	15,7	26,3
W 310 x 60	203 900	332	478	431	0.191	1,76	16,8	26,2
W 530 x 82	206 100	349	493	421	0.204	1,85	15,5	27



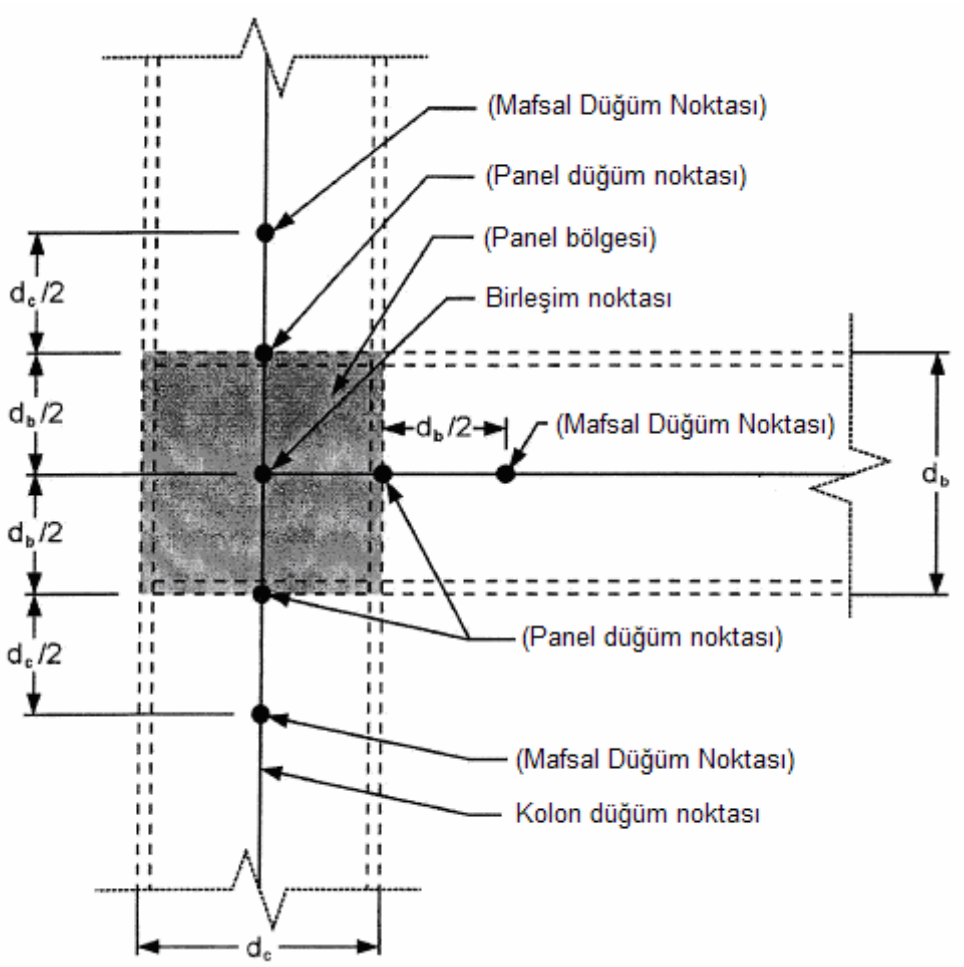
Şekil 4.2 Numunenin bitmiş boyutlarına dayanan ayrıntılı modelin geometrik düzenlemesi [10,11]

Kolonlar, kiriş merkezi eksenine kadar sürekliydiler ve tüm kiriş kolon bağlantıları mafsallı olarak modellendiler. Her bir münferit dolgu plakasının çekme alanı eğim açısı CAN/CSA S16-01 Madde 20.3.1'e göre hesaplandı (Eşitlik 3.3). Açılar 41.8° ve 43.5° arasında değişmektedirler, ancak tüm paneller için 42.4° ortalama değeri kullanıldı. Ayrıca, her bandın alanını tayin etmek için, her panelde on bant olmak üzere, her panel için mafsal uçlu yalnızca çekme bantlarının eni ve aralarındaki boşluklar da hesaplandı. Ayrıntılı model için, bantların dağıtılmasında her panele ayrı bir düzen gösterildi. Bu nedenle Şekil 4.2'de görüldüğü gibi, ara kirişin yanlarındaki çekme bantları her zaman ortak bir düğüm noktasında buluşmamaktadır.

Test numunesi yükleme durumlarına dayanarak iki statik yük durumu açıklanmıştır. İlki, test numunesinin her bir kolonunun tepesine uygulanan 720 kN'luk çelik plaka perde duvarın kendi ağırlığı ve dikey yüklerdir. İkincisiyse, testte olduğu gibi, dört katın her birinde kiriş tepe flanşında bir kolona uygulanan eşit büyüklükte yatay yüklerden oluşmaktadır. Bu ikinci yükleme düzenlemesi, zemin kitleleri tarafından harekete geçirilen atalet kuvvetlerinin yerleşimini simüle etmek amacıyla seçilmiştir. İtme analizi, yanal itme durumunda yer değiştirme kontrolünü gerçekleştirirken, her katta eşdeğer yanal yük büyüklüklerini sürdürür. Tepe kirişin tepe flanşında faaliyet gösteren yanal yükün doğru bir şekilde modellenebilmesi için, Şekil 4.2'de görüldüğü gibi, W530x82 kirişin tepe flanşına sabit bir "dikme" konmuştur.

4.3. Panel Bölgeleri

Şekil 4.3'de koyu renkli bölgede görüldüğü gibi, moment aktaran bir bağlantı için, panel bölgesi, kolonun, bağlantı kirişinin derinliğiyle sınırlandırılan alanıdır (dc×db). Panel bölgelerinin, moment çerçevelerindeki sismik enerji dağıtımı için bir süneklik sigortası sağlayabildiği ve böylece bir deprem sırasında çerçeveye ihtiyacı azalttığı gösterilmiştir (Krawinkler ve Popov 1982, Popov ve çalışma arkadaşları 1986). Ancak, Driver ve çalışma arkadşları (1998A), kendi çelik plaka perde duvar numunelerinde, esas süneklik sigortaları dolgu plakalar olduğu için, panel bölgelerindeki elastik olmayan deformasyonların, küçük kalma eğiminde olduğunu ve bölgelerin esas olarak maksimum duvar kapasitesine kadar elastik kaldıklarını belirttiler.



Şekil 4.3 Rijit bağlantılar için tipik çerçeve düğüm noktası detayı

Panel bölgesi, düğüm noktalarının her iki yanında, kiriş ve kolon elemanlarının birleştiği ve buradan itibaren "bağlantı düğüm noktası" diye anılacak olan düğüm noktasından kiriş elemanları için kolon derinliğinin yarısına kadar ve kolon elemanları için kiriş derinliğinin yarısına kadar uzanır. Şekil 4.3'te görüldüğü gibi, panel bölgesinin çevresindeki düğüm noktalarına buradan itibaren "panel düğüm noktaları" denilecektir. Şerit modelindeki panel bölgeleri dahilindeki hat elemanları, sonlu derinlik ve ene sahip bağlantı bölgesinin rijitliğini doğru olarak temsil etmezler. Baskın olarak elastik kalması beklenen bir panel bölgesinin gerçek davranışını tahmin etmek için, panel bölgesi dahilindeki kiriş ve kolon elemanlarının, panel bölgesi dahilindeki elemanları etkin bir şekilde sabitleyecek kadar büyük bir elastik modüle sahip olmaları daha uygun olacaktır. 200.000 GPa elastisite modülü veya nominal elastisite modülünün 1000 katı, yeterli bulunmuştur ve ayrıntılı modeldeki panel bölgesi dahilindeki hat elemanları için kullanılmıştır.

4.4. Plastik Mafsallar

Plastik mafsalların, çelik plaka perde duvarların elastik olmayan davranışını doğru modellemeleri gerekmektedir. Çerçeve elemanlardaki elastik plastik mafsallar, genelde hemen hemen elemanın derinliğine eşit sonlu bir uzunluğa sahip olmasına rağmen, ayrı bir noktada plastik mafsal modellenmesi daha uygundur. Panel bölgesinin etkin bir şekilde sabit bir alan olduğu varsayıldığından, elastik plastik mafsalları temsil eden noktalar, panel bölgesinin sınırından eleman derinliğinin yarısına kadar olan bir mesafede yerleştirilirler. Bu noktalara buradan itibaren Şekil 4.3'te görüldüğü gibi "mafsal düğüm noktaları" denecektir. Benzer şekilde, elastik mafsal da, her kolon temeli destek düğüm noktası, kolon derinliğinin yarısına kadar olan bir mesafede yerleştirilirler. Dolgu plakanın akmasını simüle etmek için, mafsal uçlu çekme bantlarının her biri boyunca herhangi bir farklı noktaya eksenel mafsal yerleştirilir. Analiz edilmiş model için, eksenel mafsallar her bandın orta noktasına yerleştirilmişlerdir.

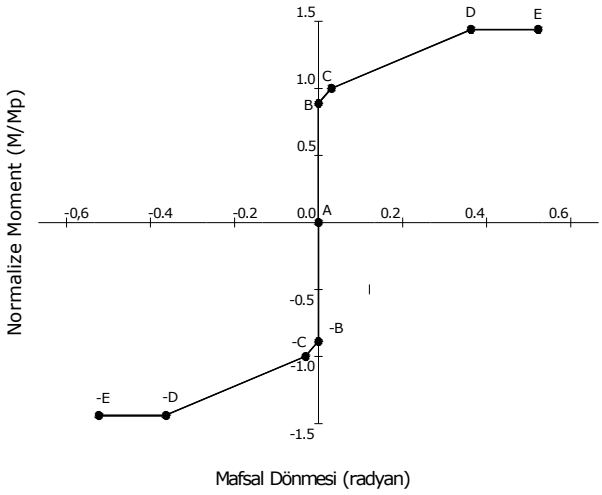
Kullanıcı tanımlı moment dönme eğrileri, kiriş ve kolon elemanlarındaki elastik mafsalların davranışını açıklarken, kuvvet şekil değiştirme eğrileri, çekme bantlarındaki eksenel mafsalların davranışını açıklar.

Her mafsalda, akma başlayıncaya kadar, rijit olduğu düşünülür ve bu noktaya kadar mafsallar arasındaki hat elemanlarında tüm deformasyonlar elastik olarak maksimumu bulur. Buradan itibaren, mafsal davranış tanımlarında belirtildiği gibi, duvarın tüm davranışı, dağılmış elastik eleman deformasyonları ve ayrı mafsal deformasyonlarının kombinasyonundan etkilenir.

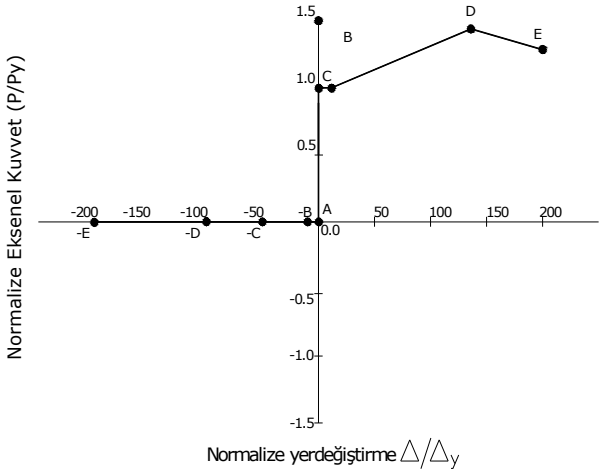
Elastik mafsallar için, elemanın kesiti boyunca bir lineer gerilme gradyeni varsayılarak aşağıdaki aşırı kuvvet gerilmeleri için momentler hesaplanır;

- Elastik limit,
- Pekleşme başlangıcı,
- İstenen mukavemette gerilme ve kopma

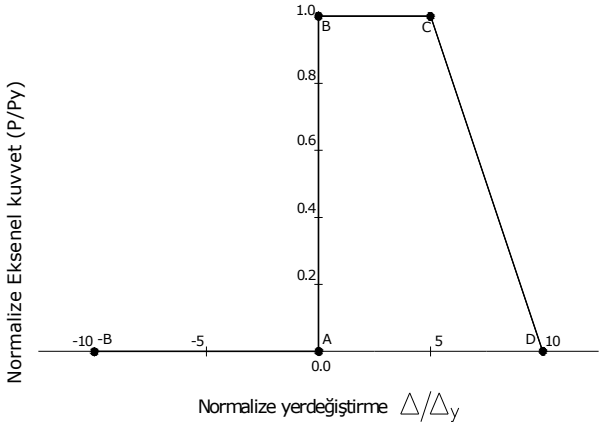
Bu gerilme düzeylerinin her biriyle ilgili eğimler tanımlanmaktadır ve mafsal uzunluğunun elemanın derinliğine eşit olduğu ve mafsal uzunluğu dahilinde eğimin sabit olduğu varsayılarak, ayrık mafsal dönmeleri meydana getirilir. Bu hesaplanmış değerler kullanılarak, Şekil 4.4(a)'da görüldüğü gibi mafsal dönmelerine karşı dörtlü bir doğrusal moment eğrisi elde edilmektedir.



(a)



(b)



(c)

Şekil 4.4 Mafsalların tipik davranışı (a) Mafsal dönmesi (b)Mafsallardaki eksenel gerilme (c) Mafsallardaki bozulma

Tablo 4.2'de, genellikle tasarım için Sınıf 1 veya Sınıf 2 kesiti maksimum kapasitesi olduğu düşünülen plastik kesit momenti tarafından normalleştirilmiş momentli Driver ve çalışma arkadaşları (1998A) numunesine dayanan ayrıntılı modele konmuş elastic mafsal değerleri görülmektedir.

Tablo 4.2 Mafsal tanımlamaları [10,11]

Mafsal	A		B		C		D		E	
	M/Mp	θ (rad)	M/Mp	θ (rad)	M/Mp	θ (rad)	M/Mp	θ (rad)	M/Mp	θ (rad)
W 310 x 60 Kiriş	0	0	0.902	0	0.999	0.035	1.402	0.336	1.402	0.524
W 530 x 82 Kiriş	0	0	0.874	0	0.999	0.037	1.359	0.310	1.359	0.538
W 310 x 118 Kolon	0	0	0.897	0	0.999	0.028	1.484	0.310	1.484	0.526

B noktasına ulaşılana kadar ve elemanın elastik deformasyonları uzunluğu boyunca dağılana kadar mafsal dönmelerinin sıfır olduğuna dikkat ediniz. Momentin işaret değiştirmesinde tüm elastik mafsallar simetriktir. Kiriş elastik mafsalları, baskın olan elamanın elastik davranışını tanımlar ve herhangi bir çakışık eksenel kuvvetten bağımsız olduğu varsayılmaktadır. Kolon elastik mafsalları ise sadece elastik davranışı değil aynı zamanda Eksenel yük ve moment arasındaki etkileşimi ve buna bağlı olarak azalan belirlenmiş momentleri de tanımlarlar. Eksenel yük ve moment arasındaki etkileşimi tanımlamak için birçok yöntem vardır. Ayrıntılı model için bu etkileşim aşağıdaki gibidir (FEMA 356):

$$M_{pc} = 1.18ZF_y(1-\frac{P}{A_cF_y}) \le ZF_y \qquad (4.1)$$

Burada F_y kolon akma gerilmesi, P eksenel yük ve Z kolon plastisitesidir. A_c kolon en kesit alanıdır. Gerilme bölgesindeki mafsal için yük şekil değiştirme eğrisi, elastik mafsallar için yukarıda tanımlanan aynı referans gerilmeler kullanılarak plaka malzemesinin gerilmeye karşı mukavemet çoklu lineer yaklaşımıyla uyum içinde tanımlanmıştır. Sadeleştirme amacıyla malzeme genellikle elasto-plastik olarak modellenirken, ayrıntılı modelde, gerilme sertleşmesi, çelik plaka perde duvarın lineer dışı davranışını daha doğru tahmin etme teşebbüsüne dahil edilmektedir. Genelleştirilmiş eksenel mafsal eğrisi Şekil 4.4(b)'de görülmektedir. Tablo 4.3'te ise,

ayrıntılı modelle ilgili olarak, sırasıyla ilk esnemede bantta esnemeye ve tüm elemanın şekil değiştirmesine yol açan kuvvet tarafından normalleştirilen eksenel kuvvetler ve mafsal uzamaları görülmektedir. Yine burada da, elemanın uzunluğu boyunca dağılmış elastik deformasyonlarla B noktasına ulaşılana kadar eksenel mafsalın dönmediğine dikkat edilmelidir. Nispeten ince plakanın burkulmasını simüle etmek için çekme bantlarının eksenel mafsallarının hiçbirinde sıkıştırma kapasitesi yoktur. Bunun sebebi, eksenel kısalmaya uğrayan elemanlar için sıfır eksenel kuvvet atanmış olmasıdır.

4.5. Sıkıştırma Desteği

Driver ve çalışma arkadaşları (1997), çelik plaka perde duvarda şerit modelinin kapsamadığı bazı olaylar gerçekleştirildiğine dikkat etmişlerdir. Bu olaylar, kısmen, şerit modelinin elastik rijitlik ve istenen kapasiteyi eksik hesaplama eğilimini açıklayabiliyorlardı. Şerit modeli, sıkıştırılan plakanın etkin uzunluğunun az olduğu köşe bölgelerde önemli olabilen sıkıştırma direncinin dolgu plaka rijitlik ve mukavemetine küçük katkısını ihmal etmektedir. Ayrıca, duvarın çekilen tarafındaki kolona bitişik dolgu plakada meydana gelen aşırı dönme momentinden kaynaklanan dikey çekme alanı hesaba katılmamaktadır. Ayrıntılı modelde, minimum modelleme çabasıyla yaklaşık olarak bu gözlemleri hesaba katmak amacıyla mafsal uçlu bir sıkıştırma desteği kullanılmaktadır. Sıkıştırma desteği, Şekil 4.2'de görüldüğü gibi her panelde çekme bantlarının zıt diyagonal yönünde köşeden köşeye uzanan bir kiriş elemanıdır. Tüm plakanın sıkıştırma direncine katkıda bulunduğu varsayılarak destek alanı, eşdeğer destek yöntemine dayanan Eşitlik 3.2 kullanılarak tanımlanır (Thorburn ve çalışma arkadaşlar 1983). Bu yaklaşımın kullanılması, tam bir diyagonal sıkıştırma alanı meydana gelmesi demektir, ancak, yukarıda tanımlanan sıkıştırma desteğinin çelik plaka perde duvarın yanal yüklemesi esnasında fiziksel olarak gelişmediğine dikkat edilmelidir. Sıkıştırma desteği kullanılması, çelik plaka perde duvarın tüm mukavemetinde gözlemlenen ek katkıların yarı ampirik bir modelleme yöntemidir. Sıkıştırma desteği, yalnız dolgu plakanın köşelerinde meydana gelen sıkıştırmayı değil aynı zamanda yalnızca çekme bantlı modelin kapsamadığı bir dizi karmaşık olayı da temsil etmesine rağmen, kolaylık amacıyla bu olayları ileriki kısımlarda "sıkıştırma alanı" olarak anacağız.

Kapasitesine ya da sınırlayıcı gerilime ulaşıldıktan sonra ani burkulmayı simüle etmek amacıyla sıkıştırma desteği boyunca herhangi ayrı bir noktaya bir rijit plastik eksenel mafsal yerleştirilir. Gerçekleştirilen analizler için, bu mafsal, desteğin orta noktasına yerleştirilmiştir. Sıkıştırma desteği mafsalının davranışı Tablo 4.3'te açıklanmaktadır. Burada Py , sınırlayıcı gerilimdeki kuvvettir ve Δ/Δy yatay olduğundan B noktası seçildikten sonra tepe noktasını bulan değerlerdir. Sıkıştırma desteği eksenel mafsalının çekme kapasitesi sıfırdır.

Tablo 4.3 Eksenel Mafsal tanımlamaları [10,11]

Mafsal tipi	A		B		C		D		E	
	P/Py	Δ/Δy	P/Py	Δ/Δy	P/Py	Δ/Δy	P/Py	Δ/Δy	P/Py	Δ/Δy
1. ve 2. dolgu plaka	0,00	0,00	1,00	0,00	1.00	15.0	1,34	114.9	1,07	195.4
3. dolgu plaka	0,00	0,00	1,00	0,00	1.00	18,02	1,34	149.2	1,08	317.2
4. dolgu plaka	0,00	0,00	1,00	0,00	1.00	10,06	1,44	122.1	1,16	235.2
Sıkıştırma desteği	0,00	0,00	-1,00	0,00	-1,00	-5,00	-100,00	-20,00	-1,00	-500,00
Bozulma mafsalları	0,00	0,00	1,00	0,00	1.00	4.0	0,00	9.0	0,00	16.0

Çevrimsel yüklü modellerde duvar kapasitesi ve enerji dağıtımı özelliklerini dikkate alan Kulak ve çalışma arkadaşları (2001) ampirik gözlemlerine dayanarak, sıkıştırma desteğinin sınırlayıcı gerilimi, F_{yCS}, dolgu plaka çekilme elastiklik mukavemetinin F_{yPL} %8'i olarak belirlenmiştir. Seçilen sınırlayıcı gerilme değeri, Driver ve çalışma arkadaşları (1997; 1998A) test numunesine dayanmasına rağmen diğer numuneler için kullanımı Bölüm 6'da değerlendirilmiştir. Geçerli bir değer aralığı tayin etmek amacıyla bir F_{yCS} hassasiyet analizi yapılmış ve sonuçları bölüm 5'de tartışılmıştır.

4.6. Dolgu Plakanın Zayıflaması (Bozulması)

Çelik plaka perde duvar test numunesinin (Driver ve çalışma arkadaşları 1998A) çevrimsel yüklemesi esnasında, dolgu plakadaki, esas olarak yüklerin işaret eğiştirmesi sırasında gerilen plakanın kıvrılmasından doğan aşınmaların, büyük ölçüde dolgu plakanın köşelerinde meydana geldiği ve başladığı gözlemlenmiştir. Dolgu plakanın aşınması, numunenin mukavemetinin kademeli şekilde azalmasına neden olmuştur ve Şekil 4.1'de görüldüğü gibi 42.5 mm'den fazla ilk kat oynamasına yol açmıştır. Bu zayıflama, maksimum mukavemetin tanımlanabileceği bir şekilde

modellenmelidir. Bu özellikler, önceki modellerde değerlendirilmemiş bir özellik olan çelik plaka perde duvar sünekliğini tanımlamaya yardım ederler.

Testin sonunda köşe aşınmasının tek bandın neredeyse eni boyunca genişlediği gözlemlenmiştir (Driver ve çalışma arkadaşları 1998A) (normal her panelde on bant kullanıldığında). Bu nedenle, Şekil 4.2'de görüldüğü gibi, çelik plaka perde duvar panelinin zıt köşelerine en yakın çerçeveyle kesişen yalnızca iki çekme bandı için zayıflama etkilerini içeren ayrı bir eksenel mafsal sağlanmıştır (bazı geometriler için, panelde zayıflama mafsallı sadece bir bant varsa aynı bant, her uçtaki köşeye en yakın olabilir). Zayıflama eksenel mafsalı, daha önce açıklanan tipik eksenel mafsal yerindeki bu elemanlara konmuştur.

Driver ve çalışma arkadaşları (1998A) tarafından yapılan ampirik gözlemlere dayanarak, zayıflama eksenel mafsalının davranışı, Tablo 4.3'te tanımlanmaktadır. Başlangıçta, davranışı, tipik eksenel mafsalın davranışına özdeşti. Önemli ölçüde dip dolgu plaka aşınmasının, esneme değerinin yaklaşık beş katı bant uzamasında köşelerde başladığı anlaşıldı. (yani, C noktasındaki mafsal deformasyonu 4 Δy'dir ve zayıflayan bandın C noktasındaki toplam eleman deformasyonu $5\Delta y$'dir). Zayıflama oranı, test sırasında gözlemlenen aşınma tahrik hızına dayanarak tahmin edildi. Testin sonunda, aşınma, on bantlı modelde yaklaşık bir bandın enine eşit plaka eni boyunca yayıldığından, zayıflama mafsalı kapasitesi sıfır alınır. Bu özel numunede, zayıflama davranışı, çevrimsel yüklemenin bir fonksiyonu olarak kabul edilse de, önemli bulunmuştur ve bu yüzden, bir çok uygulamada muhafaza edilmesi beklenmektedir. Tipik çekme bandı mafsalları durumunda olduğu gibi, zayıflama eksenel mafsalının sıkıştırma kapasitesi yoktur.

4.7. Ayrıntılı Model Analizi ve Sonuçları

4.7.1. İtme Analizine Toplu bakış

İtme analizi, bir yapıya monoton (tek yönlü) bir şekilde belirli bir yüke ya da yer değiştirmeye kadar yükleme yaparken temel kayması ve belirli bir düğüm noktasının sapması gibi tepkileri izleyen non-lineer bir analiz yöntemidir. İtme analizleri malzeme non-lineerliklerini hesaba katar ve böylece mühendis, elastic bölgede ve akma sonrası davranışı inceleme olanağı bulur. Genellikle, meydana gelebilecek büyük deformasyonlar dolayısıyla P-Δ davranışı gibi geometrik non-lineerlikler de

hesaba katılır. Sofistike bir sonlu eleman analiz paketi kullanılmadıkça, elastik olmayan davranış, tipik olarak, plastik mafsalların oluşması beklenen önceden belirlenmiş yerlerinde yoğunlaşacaktır.

SAP2000®'de, modellenen yapının yükleme esnasında elastik olmayan davranışını elde etmek için, temel kayması ve sapma sonuçları, itme analizi sırasında kullanıcının belirlediği artış basamaklarında kaydedilir. Belirli bir artışta olması gerekmeyen mafsalın akması ve boşalması gibi önemli olaylar esnasındaki aşamalar da kaydedilir. Küçük bir artış belirlenerek, itme eğrilerinde yük düğüm noktaları gibi anormal oluşumların görünmesi engellenebilir. Analiz belirli bir denge yolundan diğerine giderken, itme eğrisinde yükün dikey artması veya azalması şeklinde kendini gösteren yük düğüm noktaları meydana gelebilir. Ayrıca, bir itme analizinin giriş parametreleri de, itme eğrisinin önemli özelliklerini yeterince temsil etmek için yeterince nokta kaydedilmesini sağlayacak şekilde belirlenmelidir.

Bazı mafsal davranışlarında, bir itme analizinde sayısal istikrarsızlıklara sebep olabilen ani yük azalmaları görülür. SAP2000®, bu muhtemel istikrarsızlığı gidermek için boşalan mafsallar için üç farklı kriter uygular.

- "Tüm yapının boşalması" ilk yöntemdir. Bir mafsal, bir negatif rijitlik bölgesine eriştiğinde, gerilmeler artabilir de azalabilir de. Gerilmeler artarsa, yük uygulanmaya devam eder. Gerilmeler azalırsa, daha sonra yapıya yükün tekrar uygulanacağı noktada negatif eğimin sonundaki mafsal eğrisi üzerindeki noktaya kadar mafsal boşalana kadar yük kısmen kaldırılır.
- "Uygulamalı yerel tekrar dağılım" ikinci yöntemdir. Geçici, yerel ve kendini dengeleyen dahili bir yük uygulanır. Eleman boşalır ve daha sonra mafsalın boşalmasına sebep olur. Mafsal tamamen boşalırsa, geçici yük, tersine döner ve kaldırılan yük komşu elemana aktarılır.
- "Sekant rijitlik kullanarak tekrar başlatma" üçüncü yöntemdir. Bir mafsal tepki eğrisinin negatif eğim kısmına ulaştığında, non-lineer hale gelen tüm mafsallar, sekant rijitlik özellikleri kullanılarak yeniden şekillendirilirler ve itme analizi yeniden başlatılır.

Hangi yöntemin kullanıldığına bakılmaksızın, bir çerçeve mafsalı boşalırsa, itme analizi, gözlemlenen yer değiştirmede negatif artışlar kaydedebilirken yapı yükü tekrar dağıtmaya çalışır ve dişli bir itme eğrisi meydana gelir. Analiz sırasında sadece pozitif artışlar kaydedilerek düz bir eğri elde edilebilir.

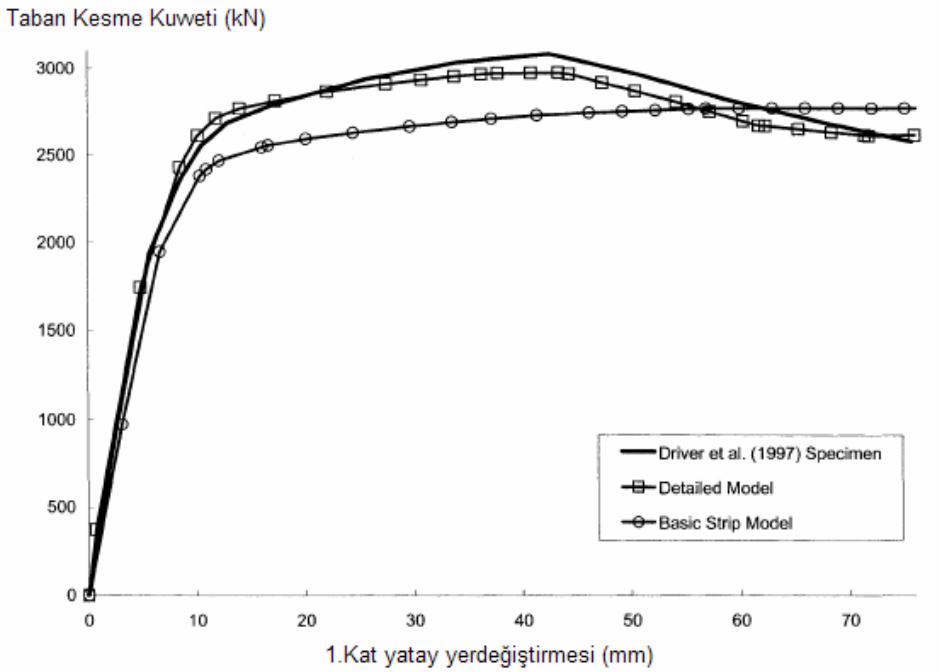
4.7.2. Ayrıntılı Modelin İtme Analizi

Ayrıntılı modelin yukarıda açıklanan parametreleri, Driver ve çalışma arkadaşları (1998A) numunesine uygulanmış ve bir itme analizi gerçekleştirilmiştir. Bu analizden, bir ilk kat yanal yer değiştirmelerine karşı zemin kayma itme analizi elde edilmiş ve test numunesinin histeretik davranışının teğet eğrisiyle karşılaştırılmıştır (Şekil 4.1). İlk kat yer değiştirmeler ve kaymalar, bu tür yükleme altındaki çok katlı bir yapıda en büyük olmaya eğilim gösterdiklerinden dolayı takip edilmişlerdir. Ancak, herhangi bir kattan sapmalar, kaydedilebilir ve temel veya kat kaymasına karşı grafiği çizilebilir.

Ayrıntılı modelin itme analizi Bölüm 4.2'de açıklandığı gibi iki statik durumdan oluşmaktadır. İlki, düşey yükler ve kendi ağırlığı yük kontrolü kullanılarak tam olarak modele uygulanır. Daha sonra elde edilen yerdeğiştirmiş şekilden başlayarak ve sapma kontrolü kullanılarak yanal yük deseni uygulanır. İlk kat kirişi tepe flanş noktasındaki "rüzgâr altı" kolonu üzerinde bulunan bir düğüm noktaı, yatay yönde sapmalar açısından gözlemlenir (testteki ölçüm yerine uygun olması için). İlk kat düğüm noktası, test numunesi tarafından ulaşılan maksimum ilk kat yanal yerdeğiştirme 76 mm'ye ulaşılınca analize son verildi. Zayıflama eksenel mafsalı davranışında açıklanan yük taşıma kapasitesindeki ani azalmayı karşılamak için, "Uygulamalı Yerel Yeniden dağıtım" mafsal boşaltma seçeneği seçildi ve analiz sırasında yalnızca pozitif artışlar kaydedildi. İtme analizi esnasında geometrik non-lineerlikleri karşılamak için bir P-Δ analizi gerçekleştirildi.

4.8. İtme Analizi Sonuçları

Şekil 4.5'te, numunenin teğet eğrisi ve ayrıntılı modelin itme eğrisinin karşılaştırması görülmektedir.



Şekil 4.5 Ayrıntılı model, Sadeleştirlmiş model, ve Test numunesi 1. kat kuvvet-yerdeğiştirme eğrilerinin karşılaştırılması [10,11].

Model, başlangıç rijitliğini yaklaşık %5 fazla hesaplayarak teğet eğrinin elastik kısmının mükemmel bir sunumunu sağlamıştır (numunenin başlangıç katılığı, başlangıç esneme noktasına yakın bir temel kayma değeri seçilerek ve bu, 343 kN/mm değerinden hesaplanan ilk kat yanal sapmasına bölünerek tayin edilmiştir). Ayrıntılı modelin elastik kısmında en alt katta sıkıştırma desteğinin erken burkulmasından dolayı meydana gelen 0.7 mm sapmada çok küçük bir kıvrılma vardır. Ancak, şekilde zorlukla fark edilebilen bu düzensizlik, ihmal edilebilir. Ayrıntılı model itme eğrisi, numunenin mukavemetini, akmanın meydana geldiği noktanın hemen ötesinde, biraz fazla hesaplamaktadır ve numunenin beklenen mukavemetini %2.9 eksik hesaplamaktadır (ayrıntılı model için 2991 kN ve numune için 3080 kN). Ayrıntılı modelin ürettiği ilk kat itme eğrisi piki, numuneninkiyle hemen hemen aynı sapmada meydana gelmiştir (ayrıntılı model için 44.3 mm ve numune için 42.5 mm). Modelin eğrisi numuneninkiyle neredeyse aynı oranda alçalır.

Çok büyük kat sapmalarında, modelin zayıflaması biter ve bunu hafif bir mukavemet artışı takip eder. Bu, yalnızca iki çekme bandının zayıflamasına atfedilmektedir. Bu tasarım için kabul edilebilecek değerleri çok aşan kat sapmaları oluştuğundan, zayıflama davranışının daha fazla geliştirilmesine gerek görülmemiştir. Numunenin teğet eğrisinden hafif bir sapmaya rağmen, ayrıntılı modelin itme davranışı, test numunesinin davranışıyla iyi bir uyum içindedir.

Karşılaştırma amacıyla, Kanada Çelik Tasarım Standardında, CAN/CSA SI6-01, tavsiye edilen şerit modeli kullanılarak Driver ve çalışma arkadaşları (1998A) numunesinin bir modeli üretildi. Modele özgün ayrıntıların nasıl uygulanacağı bu standartta belirtilmediğinden, özellikle elastik olmayan davranışla ilgili olarak, literatürde bulunan son modellerle ilgili yöntemler kullanılmaktadır. Burada önerilen modelden ayırmak için "temel" şerit modeli denen şerit modeli, ilgili merkezlerde bulunan kolon ve kirişleri temsil eden hat elemanlarıyla üretildi. Her bir dolgu plakaya eşit aralıklarla on bant yerleştirildi ve hesaplanan çekme alanı eğim açısında yönlendirildi (Madde 20.3.1, CAN/CSA SI6-01). Elastik olmayan davranışı temsil etmek için, tüm mafsalların bağlantı düğüm noktalarında ya da kolon temelindeki mafsallar durumunda temel destek düğüm noktalarında, çift doğrulu (bi-lineer) davrandıkları varsayıldı. Çekme bantları için eksenel mafsallar, her bandın orta noktasına yerleştirilmiştir. Temel şerit modeli durumunda, panel bölgeleri berkitilmemiştir, zayıflama modellenmemiştir ve sıkıştırma desteği sağlanmamıştır. Şekil 4 .5'te görülebileceği gibi, temel şerit modeli eğrisi, başlangıç katılığını %10 ve maksimum kapasiteyi 12 eksik hesaplar (yani, test eğrisinde pikin meydana geldiği yerdeki yanal sapmada alınmıştır). Temel şerit modeli, elastik rijitlik ve mukavemet açısından tasarımda kullanılmak için muhafazakar olsa da, ayrıntılı model, çelik plaka perde duvarın elastik ve elastik olmayan davranışlarını daha doğru tahmin eder ve azalan dal vasıtasıyla numunenin sünekliğini tanımlar (Şekil 4.5'te görülen temel şerit modeli eğrisinin, Driver ve çalışma arkadaşları (1998B) tarafından sunulana özdeş olmadığına dikkat edilmelidir. Araştırmanın yapıldığı sıralarda ticari itme yazılımı bulunmadığından, elastik bir yapısal analiz programı kullanılmış ve elastik olmayan davranış, adım adım yürütülmüştür. Kolon mafsallarının modellenmesinde, eksenel yük ve moment arasındaki etkileşim, elastik olmayan davranışın başlama tayininde kullanılmıştır (bu araştırmadaki gibi), ancak, bu, sınırlayıcı bir mafsal momenti meydana getirmişse de, daha sonra eksenel kuvvetin artmasına izin verilmiştir.

4.9. Özet

İlk olarak Thorburn ve çalışma arkadaşları (1983) tarafından geliştirilen çelik plaka perde duvar analiz modeli, çelik plaka perde duvarların non-lineer davranışlarını daha doğru tahmin etmek amacıyla ayrıntılı bir model oluşturmak üzere modifiye edildi. Modifikasyonlar büyük ölçüde, yükleme sırasında test numunelerinin deneysel gözlemlerine dayanmaktaydı. Panel bölgesi, çelik plaka perde duvar numunesinin yüklenmesi esnasında gözlemlenen küçük elastik olmayan deformasyonları yansıtmak için takviye edildi. Çelik plaka perde duvarların itme davranışını modellemek amacıyla her elemanın malzemesi için gerilmeye karşı mukavemet eğrilerinden elde edilen ve yerel burkulmayı ihmal eden çoklu doğrusal (multi lineer) rijit elastik olmayan mafsallar kullanıldı. Mafsallar, panel bölgesi sınırından eleman uzunluğunun yarısı kadar bir mesafeye yerleştirildi ve eksenel mafsallar, yalnızca çekme bandı boyunca ayrı bir noktaya yerleştirildi (bu analiz durumunda, eksenel mafsal, her bandın orta noktasına yerleştirildi). Her dolgu plakaya sıkıştırma direncinin küçük katkıları ve bir dizi ayrık çevre bandı tarafından sürekli bir plakanın temsiliyle kapsanmayan diğer olayları temsil etmek için bir yalnızca sıkıştırma diyagonal desteği modellenmiştir. Desteği sınırlayan gerilimi ($F_{yCS} = 0.08 \times F_{yPL}$) tanımlamak için, destek boyunca ayrı bir noktaya bir çift doğrulu (bi-lineer) eksenel mafsal yerleştirilmiştir. Dolgu plaka köşelerindeki aşınma, her panelin köşelerine en yakın bantlara yerleştirilmiş zayıflama eksenel mafsalları kullanılarak modellenmiştir.

Driver ve çalışma arkadaşları (1998A) tarafından test edilen dört katlı numunenin ayrıntılı modeli üzerinde, konvansiyonel bir yapısal mühendislik yazılım paketi kullanılarak bir itme analizi gerçekleştirilmiştir. Ayrıntılı modelden elde edilen itme eğrisinin test numunesinin teğet eğrisiyle iyi bir uyum içinde olduğu ve dolayısıyla, ayrıntılı modelin, çelik plaka perde duvarların lineer olmayan davranışlarını tahmin etmede çok doğru bir araç olabileceği anlaşılmıştır. Aynı test numunesinden elde edilen gözlemler kullanılarak ayrıntılı modelin bazı yönlerinin geliştirildiği kabul edilmektedir. Ancak, ampirik veriler kullanılarak kalibre edilen esas özellikler , yani, sıkıştırma desteği ve zayıflama mafsalı, bölüm 6'da sunulan, modelin sadeleştirilmiş bir versiyonunun değerlendirme araştırmasına dahil edilmiştir.

5. SADELEŞTİRİLMİŞ MODEL

5.1. Giriş

Bölüm 4'te, ayrıntılı modelin Driver ve çalışma arkadaşlarının (1998A) numunesinin lineer olmayan davranışını oldukça doğru bir şekilde tahmin ettiği gösterilmiştir. Ancak, doğru sonuçlar veren bu model sadeleştirilirse, daha sade olan model, yapı mühendisleri ve tasarımcılar tarafından kullanılmak istenir. Bu bölümde, modelleme etkinliğiyle karşılaştırılarak modelin doğruluğu üzerine etkilerini tayin etmek için çeşitli ayrıntılı model parametreleri daha yakından incelenecektir. Ayrıntılı model tabiki bu incelemenin temeli olacaktır. Buna dayanarak yapılan araştırmalar sonucu, çeşitli sadeleştirmelerle elde edilen modeller anlatılcakıtr. Her modele uygulanan itme analizleri ve elde edilen itme eğrileri, ayrıntılı modelin itme eğrisi ve test numunesinin histeretik eğrisinin teğetiyle karşılaştırılacaktır. Daha sonra sadeleştirilen her parametrenin, modelleme çalışmalarından tasarrufla birlikte, çözümün doğruluğu üzerine etkisi değerlendirilecektir. Araştırmacılar değerlendirmelerini yaparken, doğruluk ve modelleme etkinliği arasında en iyi dengeyi sergileyen model seçmişlerdir.

Sıkıştırma desteğinin sınırlayıcı gerilim değer aralığını tayin etmek için modele kısa bir hassasiyet analizi uygulanır. Ayrıca, çerçeve kuvvetleri, seçilen modelin itme analizinden çıkarılır ve Driver ve çalışma arkadaşları (1998A) test numunesininkilerle karşılaştırılarak sınır elemanların tepki tahmininde doğruluk tayin edilir. Sadeleştirilmiş model, diğer deneysel programların sonuçlarıyla değerlendirilir ve sırasıyla Kısım 5 ve 6'daki ayrıntılı parametrik araştırmayı gerçekleştirmek için kullanılır.

5.2. Çerçeve Düğüm Noktası Düzenlemesi

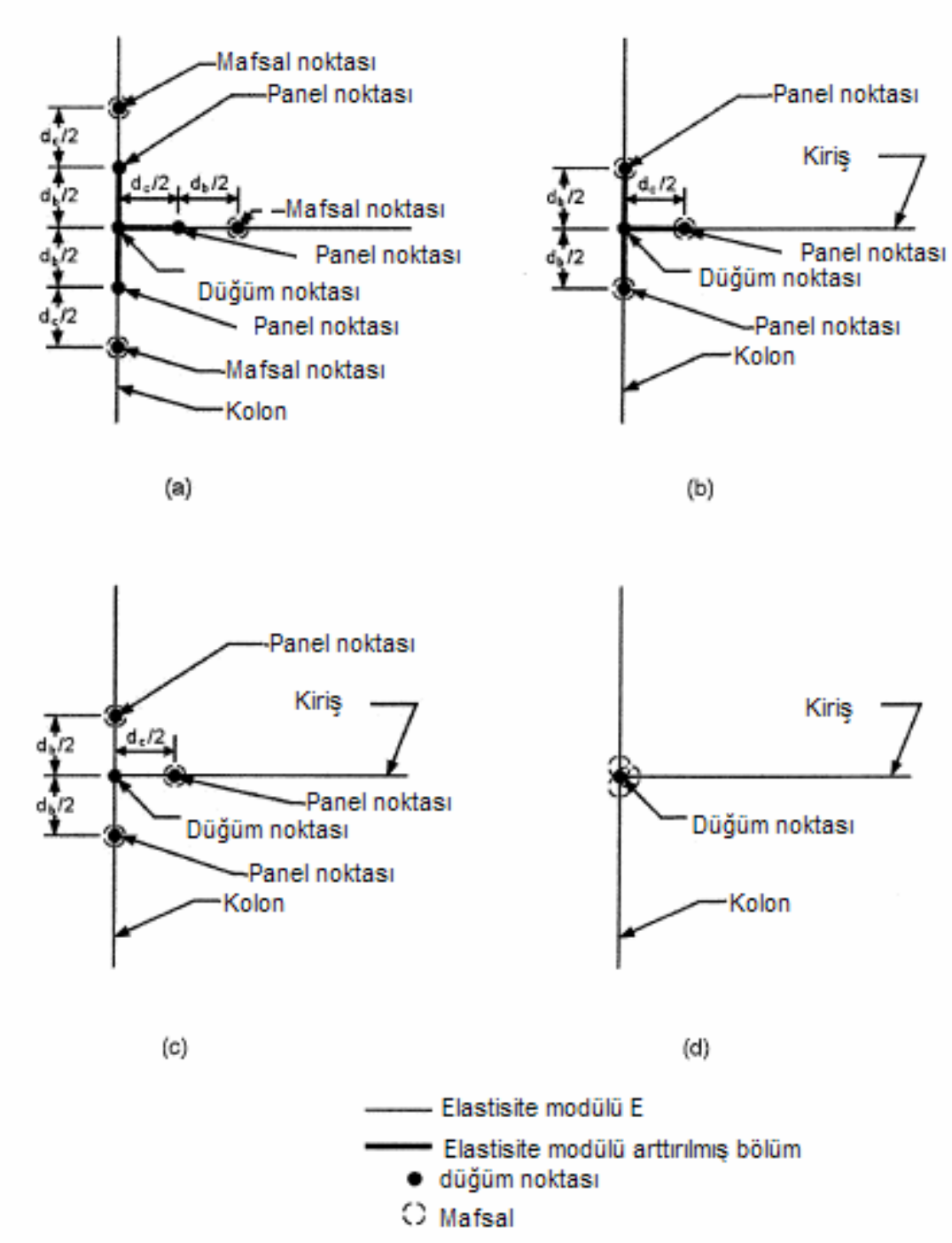
Çerçeve- Düğüm noktası düzenlemesi, modeldeki plastik elastik mafsalların panel bölgesi ve yerlerinin geometrik ve malzeme özelliklerini tanımlar. Ayrıntılı modelde

açıklanan (Bölüm4) ve Şekil 5.1 (a)'da gösterilen düğüm noktası modelleme, zahmetli ve zaman alıcı olabilir. Bu nedenle karşılaştırılmak üzere üç alternatif çerçeve düğüm noktası düzenlemesi modellenmiştir. Elde edilen itme eğrileri, Driver ve çalışma arkadaşları (1998A) teğet eğrisi ve ayrıntılı modelin itme eğrisiyle karşılaştırıldı. Şekil 5.l (b)'de görüldüğü gibi ilk gözden geçirilen çerçeve-düğüm noktası düzenlemesi, tüm elastik plastik mafsalları panel düğüm noktalarına yeniden yerleştirilmiştir ve panel bölgesi dahilindeki elemanların elastiklik modülü, 200.000 GPa'da kalmıştır. Bu da etkin bir şekilde rijit panel bölgesini temsil eder.

Ayrıntılı modelle karşılaştırarak modellemenin yararı, her çerçeve düğüm noktasıinin her bir yanındaki bir düğüm noktasının elimine edilmesidir. Şekil 5.l (c)'de görüldüğü gibi ikinci gözden geçirilen çerçeve-düğüm noktası düzenlemesinde de ilkindeki gibi elastik plastik mafsallar panel düğüm noktalarına yeniden yerleştirilmiştir. Ancak panel bölgesi dahilindeki elemanların ölçülmüş elastiklik modülleri, aynı malzeme modeli her kolon ya da kiriş boyunca kullanılabilecek şekilde atanmışlardır. (Tablo 4.1'de sıralanmışlardır). Şekil 5.l(d)'de görüldüğü gibi üçüncü gözden geçirilen çerçeve-düğüm noktası düzenlemesinde, tüm mafsallar düğüm noktasına yeniden yerleştirilmiştir ve ölçülmüş elastiklik modülleri, tüm çerçeve elemanlarına dahil edilmiştir. Bu durumda, bu özgün olayda, ilaveten düğüm noktalarının panel bölgesini sınırlaması ya da elastic mafsalları yerleştirmesi gerekmemektedir. Yukarıdaki tüm modeller için, kolon temeli yakınındaki elastik mafsallar, temel destek düğüm noktasından kolon derinliğinin yarısında kalmaktadırlar çünkü kolon mafsalları temele yerleştirildiğinde sayısal tutarsızlık meydana geldiği anlaşılmıştır. Genellikle tasarım sürecinde ölçülmüş elastiklik modülleri bulunmadığına ve onların yerine nominal modüller kullanılacağına dikkat edilmelidir.

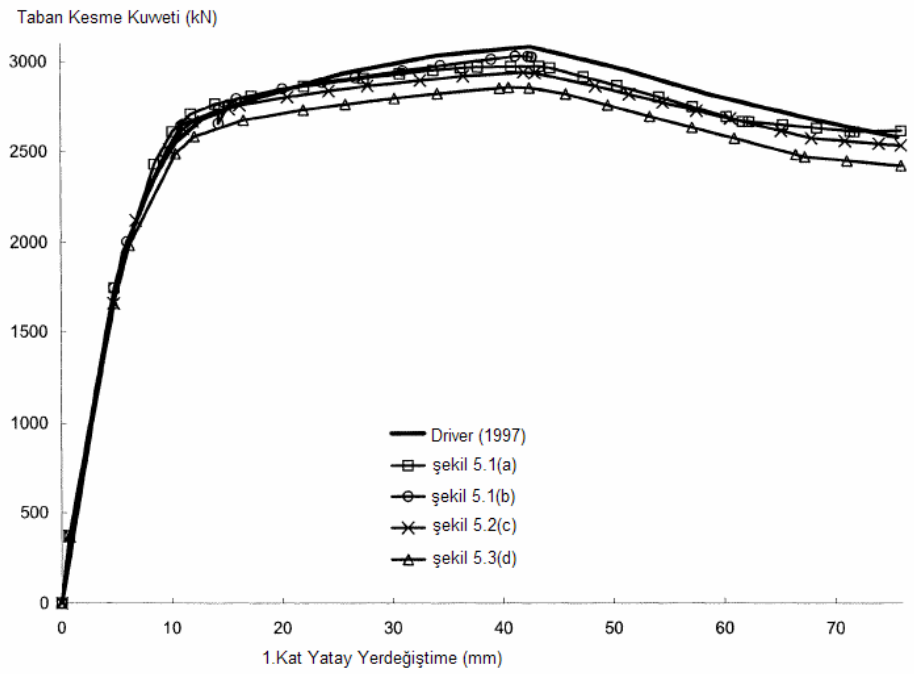
Şekil 5.2'de, ayrıntılı modelin itme eğrisi ve test numunesinin teğet eğrisiyle birlikte yukarıda sözü edilen alternatif düğüm noktası modelleri kullanılarak elde edilen itme eğrileri görülmektedir. Mafsalların takviyeli panel bölgesinin kenarlarına yerleştirilmiş olduğu model için (Şekil 5.l(a)), sayısal istikrarsızlıktan dolayı istenen mukavemete erişildikten sonra analize son verilmiştir. Bu düzenleme, perde duvar kapasitesi hakkında iyi tahminler vermektedir ve kriterler geliştirilerek daha tam bir eğri elde edilebilir ancak, birleşim noktası düzenlemesi daha fazla sadeleştirildikten sonra mükemmel sonuçlar verdiğinden bu yapılmamıştır. Bağlantı noktalarına

yerleştirilmiş plastik mafsallı modelin eğrisi (Şekil 5.1 (d)), numunenin teğet eğrisinin başlangıç rijitliğiyle iyi uyuşmaktadır ve istenen mukavemeti %6.7 eksik tahmin etmektedir (model için 2873 kN ve numune için 3080 kN).



Şekil 5.1 Çerçeve-Düğüm Noktası düzenlenmesi, (a) Ayrıntılı model (b)mafsallar panel düğüm noktalarında (c) mafsallar panel düğüm noktalarında (d) mafsallar kolon kiriş düğüm noktasında

Plastik mafsalların panel bölgesinin sınırına yerleştirilmiş olduğu ve ölçülmüş elastiklik modüllerinin kullanıldığı modelin eğrisi (Şekil 5.l(c)), en iyi sonuçları göstermektedir. İtme eğrileri numunenin başlangıç rijitliğiyle çok iyi uyuşmakta, istenen kapasiteyi sadece %4.0 (2957 kN) eksik tahmin etmekte ve numuneyle neredeyse aynı oranda zayıflamaktadır. Ayrıca, bu model kullanılarak elde edilen istenen kapasite, ayrıntılı modelinkinin sadece %1.1 altındadır. Şekil 5.l(d)'nin çerçeve düğüm noktası düzenlemesi tutarlı bir alternatifken Şekil 5.l(c)'nin eğrisi, az bir ilave modelleme çalışmasıyla çelik plaka perde duvarların elastik olmayan davranışını daha doğru tahmin eder. Bu yüzden, sadeleştirilmiş model için, panel bölgesindeki tüm çerçeve elemanları için ölçülmüş veya nominal elastiklik modülü kullanılacak ve elastik plastik mafsallar panel bölgesinin kenarlarına yerleştirilecektir. Düzenlemenin tek istisnası, temelin yanındaki elastik kolon mafsallarının, temel destek noktasından kolon derinliğinin yarısı mesafesinde kalmasıdır.



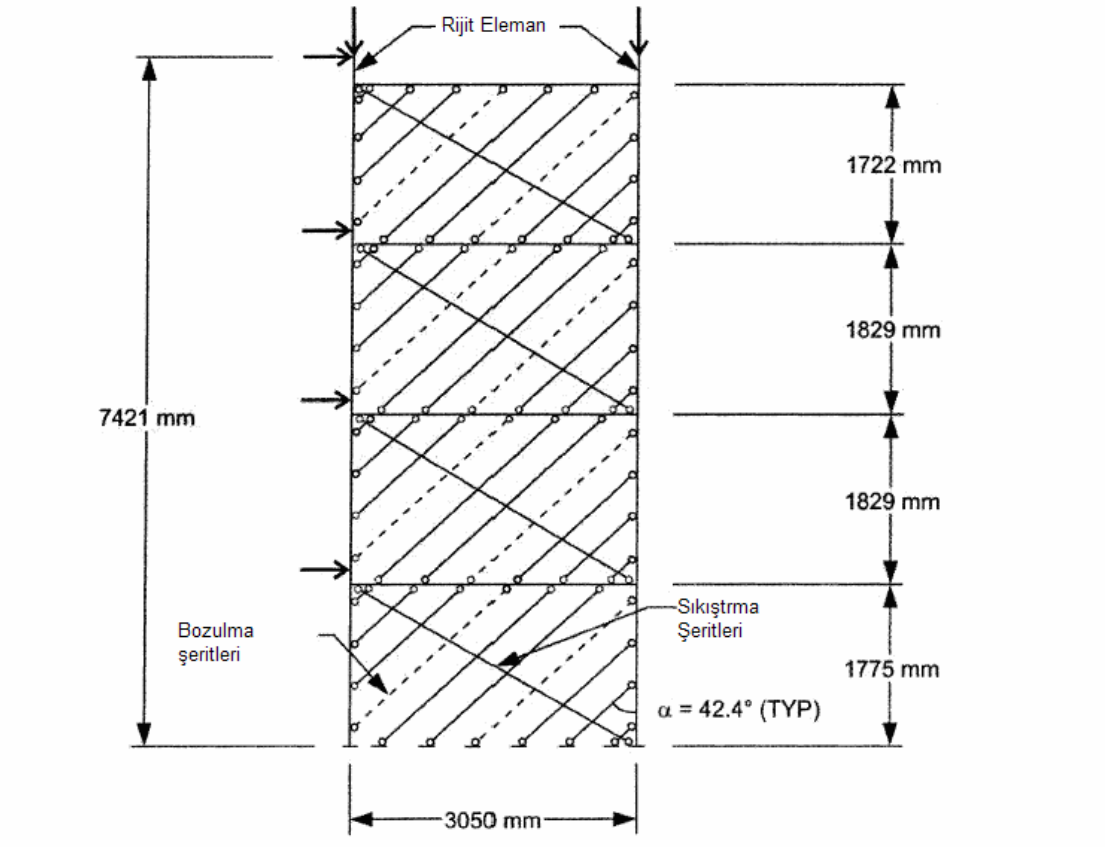
Şekil 5.2 Modellemelere ait kuvvet-yerdeğiştirme eğrilerinin karşılaştırılması

5.3. Diagonal Çekme Bantlarının Dağınık Düzenlenmesi

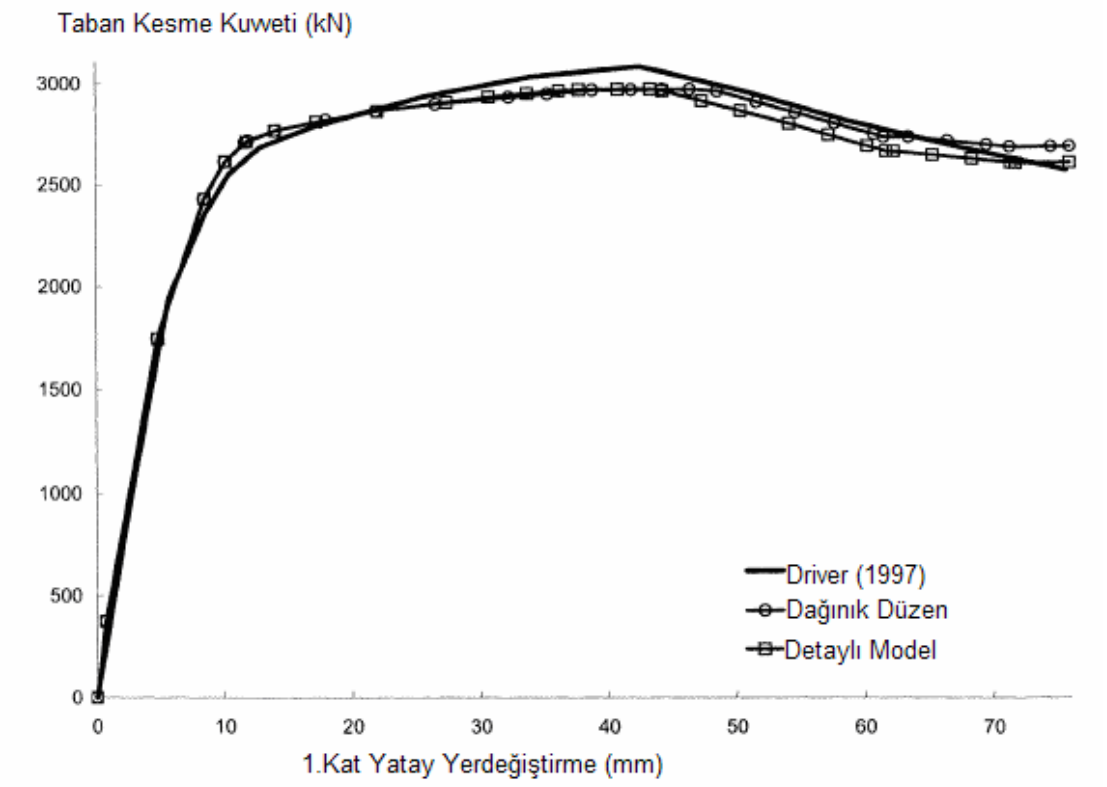
Thorburn ve çalışma arkadaşları (1983) tarafından önerilen şerit modelinde, bir çelik plaka perde duvarın her panelinin eğim açısı ve şerilerin yerleşimi, kattan kata değişen özelliklere bağlı olduklarından ayrı ayrı hesaplanmıştır. Şekil 4.2'de, her panele on adet eşit aralıklarla yerleştirilmiş bant bulunan ve dolgu plaka gerilme alanının ortalama eğim açısıyla yönlendirilmiş ayrıntılı modele bu yöntemin uygulaması görülmektedir. Burada da görüldüğü gibi bu yöntem genellikle, bitişik katlarda çekme bantlarının dağınık düzenine yol açar. Timler ve çalışma arkdaşları (1998) tarafından önerilen sadeleştirme, buradan itibaren "dağınık düzen" olarak anılacaktır, gerekli düğüm noktalarının azaltılmasını incelemiştir. Dağınık düzen yönteminde, panellerin altındaki ve üstündeki şeritlerin kirişteki ortak düğüm noktalarını paylaşacağı şekilde eşit aralıklı panel düzenlemesi ve ortalama eğim açısı kullanılır. Tasarım mühendisi, bir yayılma plakası kullanarak, dağınık düzene sahip çelik plakalı perde duvar modeli için hızlı bir şekilde düğüm noktaları meydana getirebilir (bitişik katlardaki koşullar büyük ölçüde değişmekteyse bile, dağınık düzen kullanılabilir).

Ayrıntılı model Şekil 5.3'te görüldüğü gibi dağınık düzen tekniğiyle modifiye edilmiştir. Çekme bantları, on eşit aralıklarla yerleştirilmiş bant en alttaki paneli temsil edecek şekilde yerleştirilmiştir. Yapının geometrisi ve ortalama eğim açısı değerine bağlı olarak, her panelde ondan az ya da fazla çekme bandı bulunabilir. Bazı katlarda ondan az bant bulunması halinde seçilen bant yerleştirmenin yeniden değerlendirilmesi gerekebilir. Bazı durumlarda, en üst panelde olduğu gibi, bantlar çok kısa olabilir.

Şekil 5.4'te, dağınık düzen ve ayrıntılı modeller arasında pek az bir itme davranışı farkı olduğu görülmektedir. Dağınık düzenli model, numunenin başlangıç rijitliğiyle çok iyi uyuşmakta ve istenen kapasiteyi yaklaşık %3 (2989 kN) eksik tahmin etmektedir. Tipik ayrıntılı modelinkinden bir parça sonra meydana gelmektedir (dağınık düzen modeli için 46.5 mm ve ayrıntılı model için 43.4 mm) ve numuneyle neredeyse aynı oranda zayıflamaktadır. Bu yüzden, modelleme çalışmalarındaki tasarruflardan dolayı, çekme bandı düzenlemesini tanımlamak için dağınık düzen yöntemi, sadeleştirilmiş modelle birleştirilmektedir.



Şekil 5.3 Dağınık Düzen tekniğiyle modifiye edilmiş şerit (bant) model



Şekil 5.4 Dağınık Düzen tekniğiyle modifiye edilmiş şerit (bant) model

5.4. Çift Doğrulu (Bi-Lineer) Plastik Mafsallar

Kirişlerde, kolonlarda ve çekme bantlarında çoklu doğrusal yerine çift doğrulu (bi-lineer) mafsalların kullanılmasının etkisi de, modelleme süreci sadeleştirilerek araştırılmıştır. Elastik mafsal dönmeleri genellikle, eleman boyu üzerinden kiriş dönmeleri olarak tanımlandığından ve gerilme bantlarının uçlarındaki gerekli düğüm noktalarının yerlerine bağlı olarak, bir çelik plaka perde duvar çerçevesindeki münferit eleman uzunlukları değiştiğinden, istenen bir modeli gerçekleştirmek için pek çok farklı mafsal tanımına gerek duyulabilir. Ancak, plastik mafsal davranışı, ideal rijit plastik olarak modellenirse (mafsalın yeri dışında elastik eleman davranışını kapsayan), mafsal tanımında her eleman kesiti için tek bir mafsal tanımı olarak sadece plastik momentin belirlenmesi gerekir. Dolayısıyla, ayrıntılı modelde açıklanan tüm mafsallar çift doğrulu (bi-lineer) olarak modifiye edildiler. Amaç, ideal rijit plastik mafsal davranışını birleştirmek olmasına rağmen, karşılaşılan sayısal istikrarsızlıklardan dolayı, uyum sağlamak için kolon mafsalları, çok küçük esneme sonrası eğimiyle (0.0002:1) tanımlanmıştır ancak, bunun etkisi ihmal edilebilir görünmektedir.

Çekme bantları durumunda, ayrıntılı model itme analizi esnasında gerilme sertleşmesinin piki bulmadığı anlaşılmış ve bu sadeleştirme eksenel mafsallar için mantıklı hale getirilmiştir. Tablo 5.1'de, çift doğrulu (bi-lineer) elastik kiriş ve kolon mafsalları için giriş değerleri görülmektedir ve Tablo 5.2'de, çekme bantlarındaki çift doğrulu (bi-lineer) eksenel mafsallar için giriş değerleri görülmektedir. Şuna dikkat edilmelidir; eğriler çift doğrulu (bi-lineer) olmasına rağmen, yükleme sırasında istenen bir noktada mafsal eğrisi üzerindeki yeri belirtebilen sonucu yorumlamayı kolaylaştırmak için dört kısımda tanımlanmışlardır. Aynı eğriler üzerinde özdeş sonuçlarla farklı noktalar belirlenebilir. Elastik mafsallar moment tersinmeleri altında simetrikken, eksenel mafsalların sıkıştırma kapasitesi yoktur. uygulanmalarının daha kolay olduğu anlaşılmasına rağmen, çift doğrulu (bi-lineer) mafsalların kullanılmasının etkisi, çok azdır ve bu yüzden sadeleştirilmiş modele dahil edilmişlerdir. Sadeleştirmenin etkisi, daha sonra açıklanacak olan sadeleştirilmiş modelde daha iyi anlaşılmaktadır.

Tablo 5.1 Çift Doğrulu (Bi-Lineer) Plastik Mafsal Değerleri

	A		B		C		D		E	
Mafsal	M/Mp	θ (rad)	M/Mp	θ (rad)	M/Mp	θ (rad)	M/Mp	θ (rad)	M/Mp	θ (rad)
Kiriş	0	0	1,00	0	1,00	0,01	1,00	0,10	1,00	1,00
Kolon	0	0	1,00	0	0,02	0,10	1,10	0,50	1,20	1,00

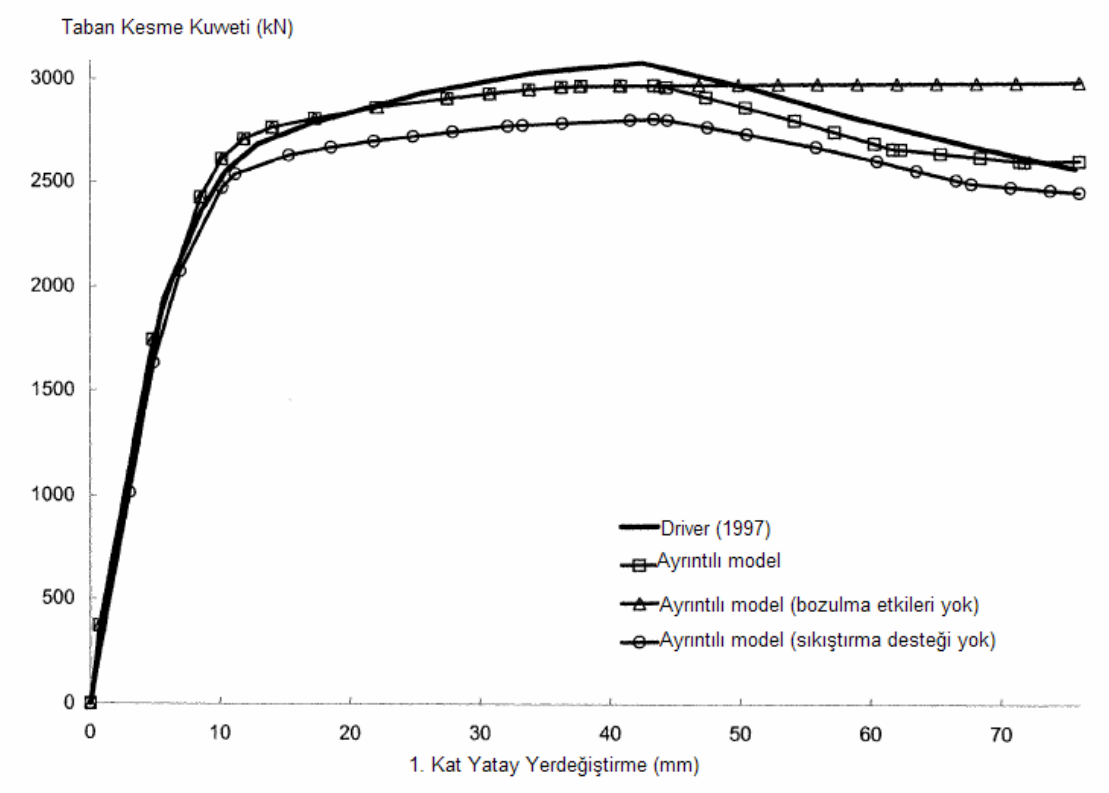
Tablo 5.2 Çekme Bantlarında Çift Doğrulu (Bi-Lineer) Eksenel Mafsal Değerleri

Mafsal	A		B		C		D		E	
	P/Py	Δ/Δy	P/Py	Δ/Δy	P/Py	Δ/Δy	P/Py	Δ/Δy	P/Py	Δ/Δy
Çekme Şeritleri	0	0	1,0	0	1,0	16,4	1,0	50,0	1,0	100,0

5.5. Zayıflama Mafsalı ve Sıkıştırma Desteği

Çekme bantlarında en yakın panel köşelerini birleştiren, zayıflama mafsallarının ve sıkıştırma desteğinin varlığının etkisi de bağımsız olarak araştırılmıştır. Bir modelde, ayrıntılı modeldeki tüm zayıflama mafsalları, tipik çoklu lineer çekme bant mafsallarıyla yerleştirilmiştir. Bir diğer modelde ise, ayrıntılı modelden sıkıştırma destekleri çıkarılmış ve en yakın köşeleri birleştiren çekme bantlarının zayıflama davranışı sürdürülmüştür. Şekil 5.5'te, yukarıdaki modellerin itme eğrileri, ayrıntılı modelin itme eğrisi ve numunenin teğet eğrisiyle karşılaştırılmaktadır. Çekme bantlarının zayıflaması modellenmediğinde, beklendiği gibi, meydana gelen eğri, ayrıntılı modelin iniş yolunu takip etmektedir ancak, tepe noktası meydana getirmek yerine, düz bir şekilde inmektedir ve eğri küçük bir oranla azalmaya devam etmektedir. Modelin zayıflaması, tasarım mühendisine, perde duvarın istenen kapasitesi ve sünekliği hakkında bir fikir verdiğinden, zayıflama mafsalları, sadeleştirilmiş modelin bir parçası olarak kalmaya devam edecektir.

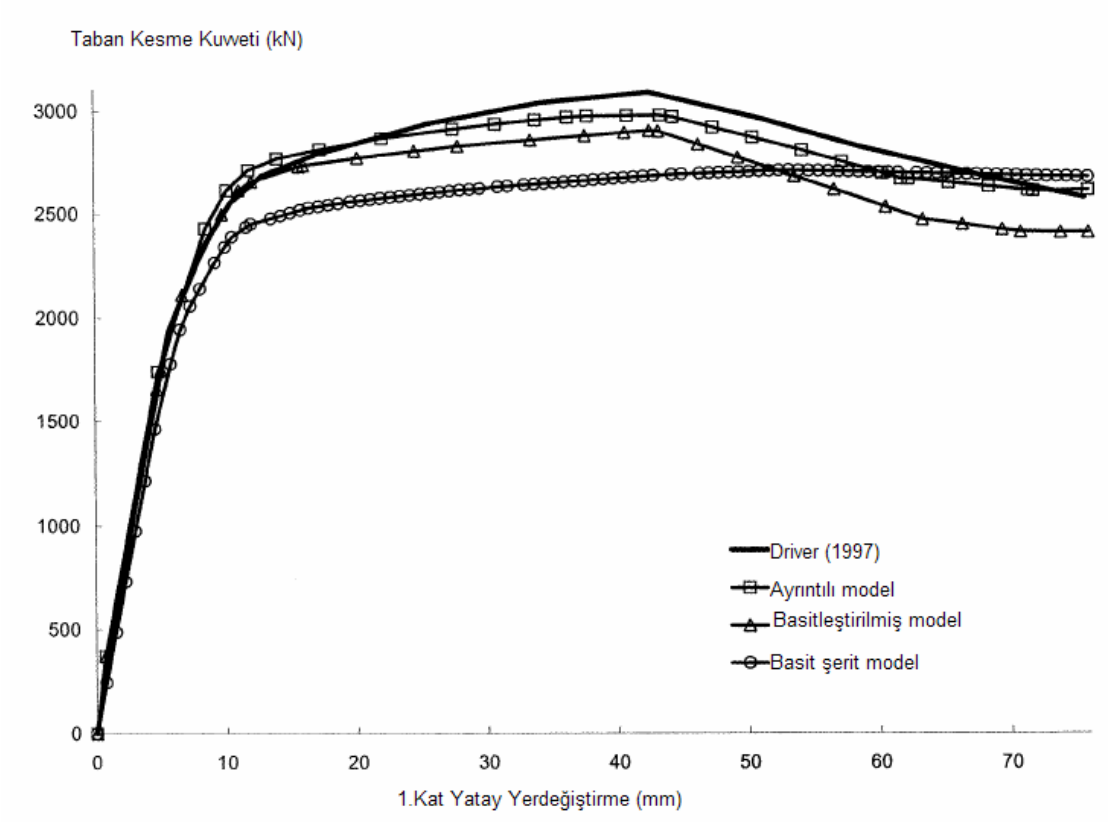
Sıkıştırma desteksiz model, test numunesine göre sadece biraz düşük başlangıç katılığına yol açmakta ancak, numunenin istenen kapasitesini % 8.3 (2825 kN) düşük tahmin etmektedir. Bir modele sıkıştırma desteği uygulanması nispeten kolay bir işlem olduğundan, elde edilen mukavemet artışı önemli olduğundan ve tasarım için güvenli sonuçlar veren modelin doğruluğunu artırdığından, sıkıştırma desteği de sadeleştirilmiş modelde kalacaktır.



Şekil 5.5 Dağınık Düzen Tekniğiyle Modifiye Edilmiş Şerit (Bant) Model

5.6. Sadeleştirilmiş Modelin İtme Analizi Sonuçları

İtme eğrilerinde iyi bir doğruluğu sürdürürken, modelleme çalışmalarını azalttığı anlaşılan sadeleştirmeler, daha sade bir çerçeve-birleşim noktası modeli, dağınık düzen bant yerleşimi ve çift doğrulu (bi-lineer) rijit-plastik mafsallar, ayrıntılı modele uygulanarak sadeleştirilmiş model meydana getirilmiştir. Ayrıntılı model için açıklanan yükleme ayrıntılarıyla sadeleştirilmiş model kullanılarak bir itme analizi gerçekleştirilmiştir. Şekil 5.6'da, elde edilen itme eğrisi görülmekte ve ayrıntılı modelin itme eğrisi ve numunenin teğet eğrisiyle karşılaştırılmaktadır.



Şekil 5.6 Elle Hesaplanan Itme Eğrisinin Modellere Ait Eğrilerle Karşılaştırılması

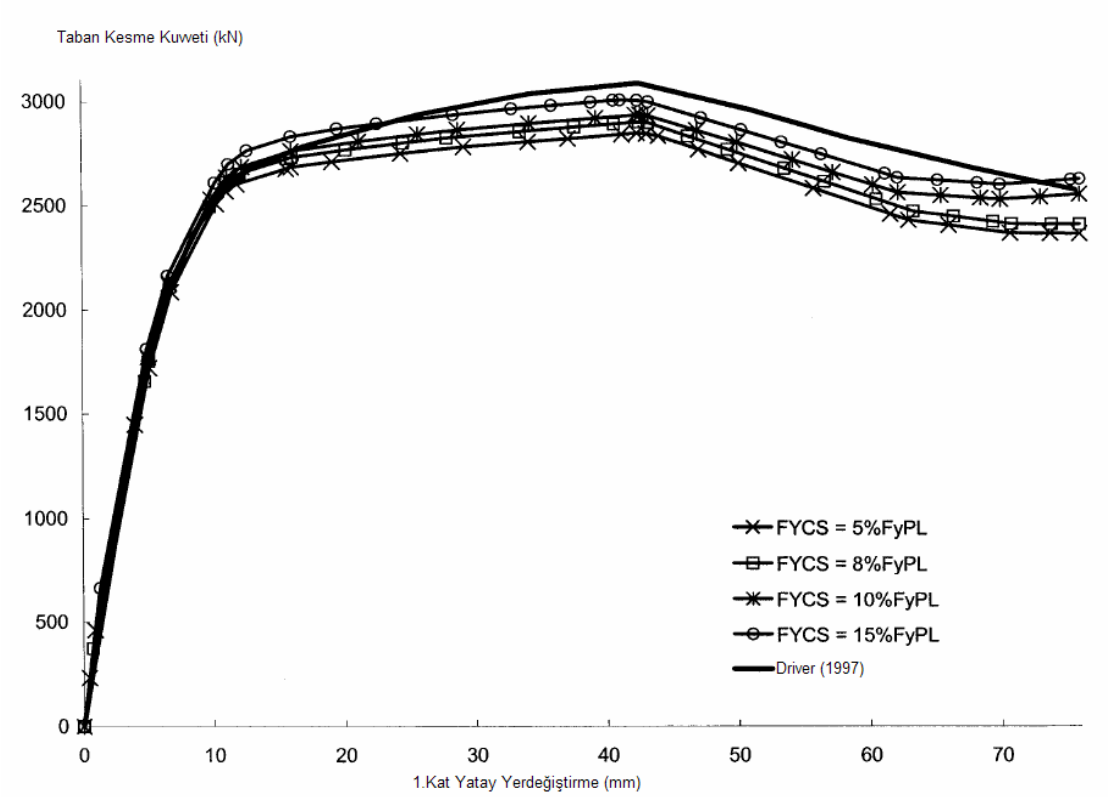
Sadeleştirilmiş model, test numunesinin başlangıç rijitliğini mükemmel bir şekilde temsil etmektedir (yalnızca biraz yüksek yaklaşık %1), ve hatta, numunenin aktığı bölgenin yanından azalma davranışını ayrıntılı modelden daha iyi tahmin etmektedir (ayrıntılı model eğrisi, akma kapasini biraz fazla tahmin ederken, sadeleştirilmiş model eğrisi burada numuneninkine neredeyse özdeştir). Sadeleştirilmiş model numunenin istenen kapasitesini yaklaşık %5.3 (2916 kN) düşük tahmin eder. Bu iki modelden elde edilen itme eğrilerinin tepe noktaları, numunenin teğet eğrisiyle neredeyse aynı sapmada meydana gelmiştir (ayrıntılı model için 44.3 mm, sadeleştirilmiş model için 42.5 mm ve test numunesi için 42.5 mm). Her iki modelin azalan eğrileri, test numunesininkine benzerdir ancak sadeleştirilmiş model biraz daha tutatlı zayıflama oranı verir. Şekil 5.6'da görüldüğü gibi, Bölüm 3'te açıklanan temel şerit modelinin itme eğrisi de sadeleştirilmiş modelle karşılaştırılmış ve numunenin lineer olmayan davranışını sadeleştirilmiş modele göre daha az doğru tahmin ettiği anlaşılmıştır.

Ayrıntılı ve sadeleştirilmiş modeller karşılaştırılarak sadeleştirilmiş modelle pek az doğruluk kaybı olduğu ancak modelleme çalışmaları bakımından ayrıntılı modele

göre daha verimli olduğu anlaşılmıştır. Üstelik, sadeleştirilmiş model, kapasite ve zayıflama bakımından çelik plaka perde duvar davranışlarının daha ihtiyatlı bir şekilde değerlendirilmesini sağlamaktadır. Bu yüzden, bundan sonraki araştırmalarda, sadeleştirilmiş model kullanılacak ve modifiye şerit modeli olarak anılacaktır.

5.7. Sıkıştırma Desteği Sınırlayıcı Geriliminin Hassasiyet Analizi

Sıkıştırma desteği sınırlayıcı gerilimi, F_{yCS} , bölüm 4'te açıklandığı gibi dört katlı bir test numunesinin davranışı kullanılarak ampirik olarak seçilmiştir. Bu yüzden, modifiye şerit modeli üzerinde bir hassasiyet analizi gerçekleştirilerek bu parametrenin değişim hassasiyeti tayin edilmiştir. Modifiye şerit modeli için seçilen sıkıştırma desteği, $0.08\times F_{yPL}$, sınırlayıcı gerilime sahiptir. Burada F_{yPL}, dolgu plakanın statik akma mukavemetidir. Ayrıca, diğer üç sınırlayıcı gerilim değeri, $0.05\times F_{yPL}$, $0,10\times F_{yPL}$, ve $0,15\times F_{yPL}$, elde edilmiş ve Şekil 5.7'de görüldüğü gibi, modifiye şerit modelin itme eğrisi ve numunenin teğet eğrisiyle karşılaştırılmıştır. $0.05\times F_{yPL}$, $0,10\times F_{yPL}$'den F_{yCS}'li modeller ve modifiye şerit modelinin elastik olmayan davranışında pek az fark vardır. Ancak, $0,15\times F_{yPL}$'den F_{yCS}'li modeller için itme eğrisi, sınırlı esnemenin yer aldığı bölgede test numunesinin teğet eğrisini aşar. Bu yüzden, dolgu plakanın elastiklik geriliminin %5 ila 10'u arasındaki bir değer, sıkıştırma desteğinin sınırlayıcı gerilimi için yeterli olabilir ve modifiye şerit modeli için %8'inin kullanılması uygun görülmektedir.



Şekil 5.7 Farklı Değerdeki F_{ycs} Modellerine Ait Eğrilerin, Tes Numunesi Sonuçları Ile Karşılaştırılması

5.8. Modifiye Şerit Modelinin Çerçeve Kuvvet Sonuçları

Literatürde bulunan çelik plaka perde duvar modellemesi, neredeyse tamamen sistemin itme veya histeretik davranışına odaklanmıştır ancak, boyutlandırma için çerçeve kuvvetlerinin de hesaplanması gerekliliği göz ardı edilemez. Driver ve çalışma arkadaşlarının (1997), temel şerit modelinden elde edilen çerçeve kuvvetleri, dört katlı test numunesinde gerilme ölçümlerinden elde edilenlerle karşılaştırmışlar ve tahminlerin genelde iyi olduğunu bulmuşlar ancak bazı önemli farklılıklar da görmüşlerdir. Bu yüzden, çerçeve kuvvetler (momentler ve eksenel kuvvetler) modifiye şerit modeli analizinden çıkarılmıştır ve Driver ve çalışma arkadaşları (1997) numunesindekilerle karşılaştırılmıştır. Numunedeki çerçeve kuvvetler, birinci ve ikinci kat elemanı için özgün temel kaymalarında değerlendirilmiştir. Driver ve çalışma arkadaşları (1997) toplam 2021 kN temel kaymasında ilk kat kolonları ve kiriş için momentler ve eksenel kuvvetleri değerlendiriken, toplam 2570 kN temel kaymasında ikinci kat kolonları ve kiriş için momentler ve eksenel kuvvetler kaydedilmiştir.

Modifiye şerit modelin itme analizi sırasında, temel kaymasının her artışında çerçeve kuvvetler ve ilk kat sapması kaydedilmiştir. Böyle bir artışta, toplam 2015 kN temel kayması kaydedilmiştir. Bu, numunenin ilk kat çerçeve kuvvetleri için temel kaymasının %0.3 altındadır. Müteakip artışta, toplam 2572 kN temel kayması kaydedilmiştir. Bu, numunenin ikinci kat çerçeve kuvvetleri için temel kaymasının %0.08 üzerindedir. Bu farkların ihmal edilebilir sayılırlar ve bu artışlarda modifiye şerit modelinden çıkarılan çerçeve kuvvetler doğrudan Driver ve çalışma arkadaşları (1997) numunesinden elde edilenlerle karşılaştırılır.

Ekler'de Şekil A.1'den Şekil A.12'ye, modifiye şerit modeli ve test numunesinden elde edilen çerçeve kuvvetler görülmektedir. Sırasıyla Şekil A.1 ve Şekil A.2'de görüldüğü gibi, modifiye şerit modeli, doğu kolonu temeli yanındaki ilk kat kolon momentini önemli ölçüde büyük tahmin etmiştir ancak, kolonun tepesinin yanı ve batı kolonunu iyi tahmin etmiştir. Şekil A.7 ve Şekil A.9'da görüldüğü gibi, modifiye şerit modeli, doğu kolonu eksenel kuvvetlerini test sonuçlarına göre düşük tahmin etmiştir. Diğer şekillerde, modifiye şerit modelinin çerçeve kuvvetlerini genellikle iyi tahmin ettiği görülmektedir (Doğu kolonları, uygulanan aşırı dönme momentinden dolayı çekme kuvvetlerine maruz kalırlar). Birçok durumda, sıkıştırma kuvvetleri kolon tasarımına hakim olduklarından, düşük tahmin edilen çekme kuvvetleri yeterince iyi tasarlanmamış kolon kısımlarına neden olmayabilirler. Şekil A.3 ve Şekil A.4'de görüldüğü gibi, ikinci kat kolonlarından elde edilen test sonuçları, bu seviyede momentlerin çok küçük olduğunu düşündürür ancak, modifiye şerit modeli, aksini tahmin etmektedir. Şekil A.11 ve Şekil A.12'de görüldüğü gibi, modifiye şerit modeli ihtiyatlı sonuçlar vermekteyken, ilk ve ikinci kat kirişlerinin eksenel kuvvetlerini doğru tahmin etmemektedir. Bu, Şekil A.1'den Şekil A.12'ye kadar olan şekillerde görülen sonuçlara dayanarak, çelik plaka bir perde duvarın tüm elastik olmayan davranışları ve dahili çerçeve kuvvetlerini doğru tahmin edebilecek bir model elde edebilmek için daha fazla araştırma yapılması gerektiğini göstermektedir. Ancak, modifiye şerit modeli, itme davranışını mükemmel bir şekilde göstermektedir ve genellikle ihtiyatlı çerçeve kuvvetler sağlamaktadır.

Şekillerde ayrıca, modifiye şerit modelinden elde edilen sonuçları karşılaştırmak için bölüm 4'te açıklanan temel şerit modelinden elde edilen çerçeve kuvvetlerde görülmektedir.

Her durumda, modifiye şerit modeli, çerçeve kuvvetleri aynı derecede ya da daha iyi tahmin etmektedir ve çoğu yerde önemli gelişmeler ortaya çıkmaktadır. Örneğin,

modifiye şerit modeli, ilk ve ikinci kat kiriş eksenel kuvvetlerini daha doğru tahmin etmektedir ancak, yine de bunlar yüksek tahmin edilmektedirler. İlk ve ikinci katın en alt kısmı yanında doğu kolonu momentleri önemli ölçüde geliştirilmişlerdir ancak, yine de fazla tahmin edilmektedirler. Bu yüzden, yine de sağlıklı sonuçlar vermekte olan modifiye şerit modeli, çerçeve kuvvetleri tahmin etmede temel şerit modelinden daha iyi bir araçtır. Ayrıca, daha doğru tüm elastik olmayan davranış ve çerçeve kuvvetleri tahmini elde edilip edilemeyeceğini saptamak amacıyla, Driver ve çalışma arkadaşları (1997) numunesi, dolgu plaka çekme alanını temsil etmek için her panelde on yerine yirmi şerit kullanılarak da modellenmiştir. Her iki durumda da, her panelde on yerine yirmi şerit bulunması doğruluğu ya çok az etkilemiş ya da hiç etkilememiştir.

5.9. Özet

Çelik plaka perde duvarların lineer olmayan davranışlarını daha doğru tahmin ederken, daha iyi bir modelleme verimi elde etmek için daha fazla sadeleştirme yapılabilip yapılamayacağını saptamak amacıyla ayrıntılı model parametreleri daha yakından incelenmiştir. Çerçeve düğüm noktası davranışı değiştirilmiş ve düğüm noktasının gerçek geometrisini ve deneylerde gözlemlenen panel bölgesinde akmanın olmayışını yansıtmak için panel bölgesindeki her eleman için ayrıntılı modeldeki gibi genellikle daha büyük modül kullanılması yerine nominal ya da ölçülmüş elastiklik modülü kullanılmıştır. Ayrıca, mafsalların temel destek birleşim noktaları kolon derinliğinin yarı mesafesinde kaldığı mafsallar hariç, plastik mafsallar, panel kenarlarına taşınmıştır. Dağınık düzen denilen yöntemle bantlar yerleştirilmiş ve böylece, kirişin altındaki ve üstündeki banlar ortak bir düğüm noktasını paylaştığından kiriş düzeyindeki düğüm nokta sayısı azalmıştır. Tüm plastik mafsal davranışı, ideal rijit plastik olarak modellenmiştir. Yukarıdaki sadeleştirmelerden her birinin, ayrıntılı modelin sonuçlarına kıyasla, çok küçük ya da ihmal edilebilir etkisi olduğu anlaşılmıştır. Bu yüzden, tasarım bakımından daha etkin görülen sadeleştirilmiş modele uygulanmışlardır.

Ayrıntılı ve sadeleştirilmiş modellerden elde edilen itme eğrileriyle test numunesinin teğet eğrisinin karşılaştırılması sonucu sadeleştirilmiş modelin iyi bir model olduğu, hatta bazı yerlerde, numunenin itme davranışını tanımlamak için ayrıntılı modelden daha iyi olduğu görülmüştür. Çok az bir doğruluk kaybı olmasının yanında daha verimli bir model elde edilmesinden dolayı, diğer test numunelerinin değerlendirilmesi ve daha sonraki

araştırmalar için sadeleştirilmiş model seçilmiş ve tekrar modifiye şerit modeli olarak adlandırılmıştır.

Bu modifiye şerit modeline sınırlı bir hassasiyet analizi uygulanarak sıkıştırma desteğinin sınırlayıcı geriliminin değişmesinin çelik plaka perde duvarın lineer olmayan davranışını önemli ölçüde etkileyip etkilemediği saptanmıştır. Bu analize göre, dolgu plaka akma mukavemetinin %5'i ila 10'u aralığı makul görülmüştür ve ampirik kalibrasyon kullanılarak seçilen %8'i değeri tavsiye edilmiştir.

Modifiye şerit modeli kullanılarak elde edilen çerçeve eğilme momentleri ve eksenel kuvvetler, temel şerit modelininkilerle ve test numunesininkilerle karşılaştırılmıştır. Modifiye şerit modelinin, numunenin çerçeve kuvvetlerini genellikle tutatlı tahmin ettiği anlaşılmış ve çerçeve kuvvet davranışını, temel şerit modelden daha doğru tahmin ettiği kanıtlanmıştır. Tüm elastik olmayan davranışı oldukça doğru tahmin etmeye devam ederken sınır elemanların çerçeve kuvvetlerini de doğru tahmin edecek bir model elde etmek için daha fazla araştırma yapmak gerekmektedir.

6. MODİFİYE ŞERİT MODELİN DEĞERLENDİRİLMESİ

6.1. Giriş

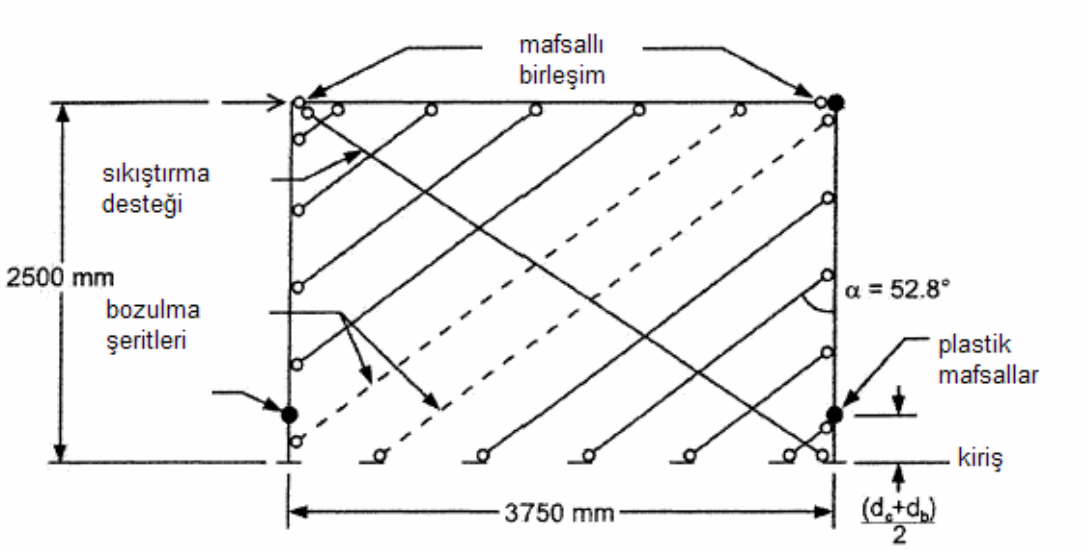
Bölüm 5'te, modifiye şerit modelin, Driver ve çalışma arkadaşları (1998A) tarafından test edilen dört katlı çelik plaka perde duvar numunesinin elastik olmayan davranışını oldukça doğru tahmin ettiği gösterilmiştir. Ancak, literatürde tartışılan, modeli daha fazla değerlendirmede kullanılabilecek farklı geometrik özellikli ve konfigürasyonlu başka numuneler de vardır. Bu numuneler sayesinde, modelin, tümü de çelik plaka bir perde duvarın itme davranışını etkileyebilecek farklı kiriş kolon bağlantı tipleri, kolon elastiklikleri ve dolgu plaka kalınlıklarına sahip numuneleri simüle etme yeteneği değerlendirilebilir. Bu yüzden, bu numunelerin tahmini elastik olmayan davranışlarını modellemek ve karşılaştırmak, modifiye şerit modelinin doğruluğunun değerlendirilmesine yardımcı olacaktır.

Bu bölümde, Driver ve çalışma arkadaşlarının (1998A) numunesinden farklı geometrilere ve konfigürasyonlara sahip üç çelik plakalı perde duvar numunesi incelenerek modifiye şerit modelin her numunenin elastik olmayan davranışını nasıl tahmin ettiği gözlemlenecektir. Bölüm 5'te açıklandığı gibi modifiye şerit modelin parametreleri her numuneye uygulanır ve bir itme analizi gerçekleştirilir. Elde edilen her itme eğrisi, modellenen numunenin ilgili elastik olmayan teğet tepki eğrisiyle karşılaştırılır. Modifiye şerit modelinin mafsallı kiriş kolon bağlantılı, çok elastik kolonlu veya çok ince dolgu plakalı durumlara uyarlanması önerilmektedir.

6.2. Timler ve Kulak (1983) numunesi

6.2.1. Model Geometrisi ve Yükleme

Bölüm 3'de açıklanan Timler ve Kulak (1983) numunesinde, mafsallı bir kiriş kolon bağlantısı bulunmaktadır ve bu sayede, diğer uçta kiriş kolon bağlantıları olan bir numune üzerinde modifiye şerit model değerlendirilebilir. Numunenin simetrisinden dolayı ve modelleme işlemini sadeleştirmek için, modifiye şerit modeli, Timler ve Kulak (1983) numunesini, tek katlı, tek bölmeli olarak, Şekil 6.1'de görülen kendi normal eğiminde temsil etti. Modelin temeli, sabit bir destek durumu uygulanan iç sürekli bağlı kirişin merkez ekseninde alındı.



Şekil 6.1 Modifiye Şerit Model ile test numunesi Geometrik düzenleme [6]

Kolon esaslı mafsal, modelin esas birleşim noktasından $(d_c+d_b)/2$ mesafede bulunan iç kiriş tepe flanşından kolon derinliğinin yarısı mesafede bulunmaktaydı. Burada d_c ve d_b sırasıyla kolon ve kiriş kesitlerinin derinlikleridir. Analizde iç kirişle sınırlanacak kolon bölgesi, elastik kaldığından ve mafsala kıyasla ihmal edilebilecek miktarda deforme olduğundan, iç kiriş modellenmemiştir. Elastik mafsallar veya panel bölgesi düğüm noktaları, kolonların tepesine ya da kirişin üzerine konmamıştır. Bunun yerine, numunenin mafsallı kiriş kolon bağlantısını temsil etmesi için tepe kirişin her bir ucunda güçlü eksen momenti serbest bırakılmıştır. Numunenin kolonları ve kirişleri, sırasıyla W310x129 ve W460xl44 kısımlarınınkine benzer kesitsel boyutlar veren plakalardan elde edilmiş bölümlerden ibarettir. Timler ve Kulak (1983) kesit özelliklerini şöyle

hesaplamışlardır: A_c=15.656 mm2, I_c = 295.4×l06 mm4, A_b=20.952 mm2 ve I_b=810.3×106 mm4. Modifiye şerit modeli durumunda, kiriş ve kolon elemanları, standart bir veri tabanından elde edilen W310x129 ve W460xl44 özellikleri kullanılarak modellendiler, ancak numune elemanlarının kesit alanını ve eylemsizlik momentini temsil etmek için bir modifikasyon faktörü eklendi. Hazır parçalar, 300W çelik sacdan üretildiler. Malzemeye yardımcı testler uygulanmadı ancak, sacın, o zamanlar üretilen 300W çelik sac için makul bulunan 350 MPa çekme elastiklik mukavemetine sahip sıcak haddeli olduğu varsayıldı.

Dolgu plaka, Timler and Kulak (1983) tarafından açıklanan soğuk şekillendirilmiş çeliğinkilere benzer çekme özellikleri gösteren 4.76 mm kalınlığında bir plakadan meydana gelmekteydi. Gerilmeye karşı mukavemet eğrisinde uygun bir sınıra kadar elastik bir davranış görülmekteydi, bunu, statik elastiklik gerilimine kadar yumuşak bir geçiş eğrisi takip etmekteydi. Çift doğrulu (bi-lineer) bir eğri bu davranışı doğru bir şekilde kapsamadığından dolayı, çekme bandı eksenel mafsal davranışı, Tablo 6.1'de açıklanan dört kısımda modellendi.

Tablo 6.1 Eksenel Mafsal tanımları [2]

Mafsal	A		B		C		D		E	
	P/Py	Δ/Δy	P/Py	Δ/Δy	P/Py	Δ/Δy	P/Py	Δ/Δy	P/Py	Δ/Δy
Çekme şeritleri (Timler and Kulak 1983)	0	0	0,476	0	0,845	1,4	1,0	3,7	1,0	100,0
Bozulma şeritleri (Timler and Kulak 1983)	0	0	0,476	0	0,845	1,4	1,0	3,7	1,0	100,0
Sıkıştırma desteği (Timler and Kulak 1983)	0	0	0	0	-0,001	-10,0	-10,0	-15,0	-1,0	-500,0
Sıkıştırma desteği (SPSW2- Lubell 1997)	0	0	0	0	-0,0055	-54,6	1,0	-99,0	-1,0	-500,0

Yardımcı test verilerine göre, % 0.0643 gerilmede 129 MPa makul sınır kabul edildi. Akma mukavemeti Timler ve Kulak (1983) tarafından 271 MPa olarak tayin edilmiştir ve %0.3 gerilmede bu mukavemet elde edilmiştir. Ölçülmüş malzeme eğrisini iyi temsil etmesi için, ara gerilme ve mukavemet (yani, makul sınır ve gerilme noktası) sırasıyla 229 MPa ve %0.15 varsayıldı. Modifiye şerit modeline uygun olarak, elastiklik gerilmesine ulaşıldıktan sonra çekme bandı eksenel mafsal eğrisi düzdü. Tablo 6.1'de çekme bandı eksenel mafsal uzamalarının, elastiklik gerilimi yerine makul sınırda uzama kullanılarak

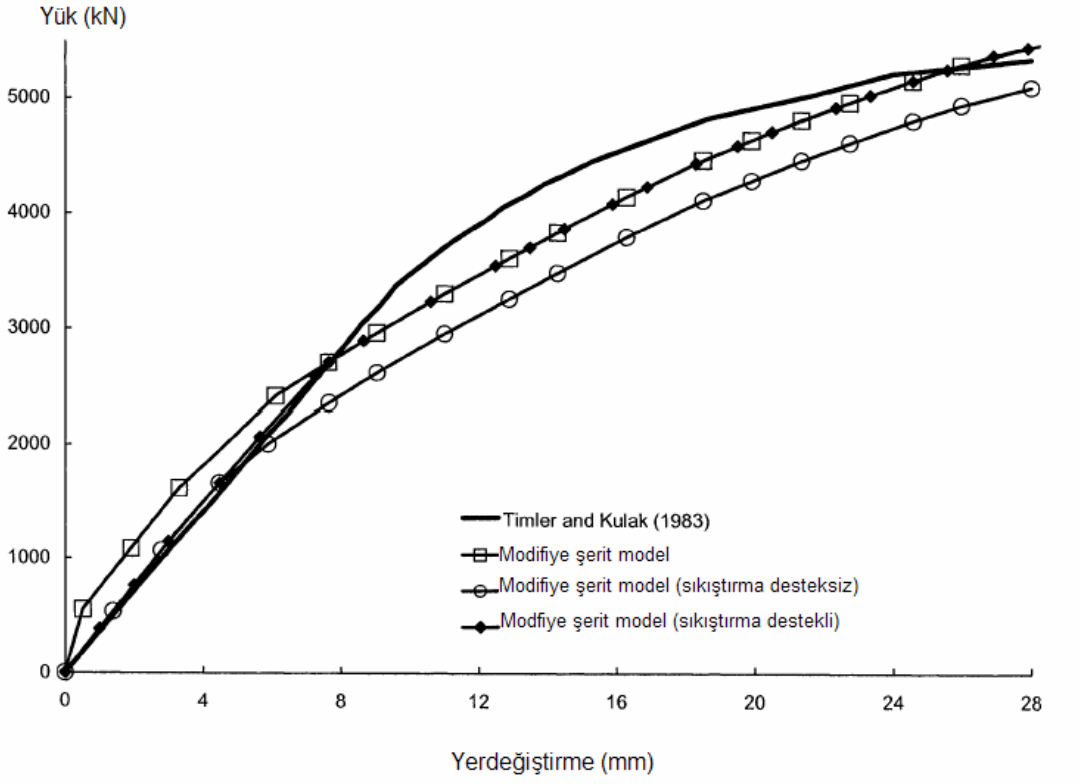
normalleştirildiğine dikkat edilmelidir. Kullanılan yazılımda mafsal davranışını açıklamak için dört kısmın bir sınırı olduğundan, dolgu plaka zayıflaması modellenemedi. Bu yüzden, tüm çekme bantları özdeş olarak modellendi.

Dolgu plaka çekme alanının eğim açısını , α , hesaplamak için kiriş ve kolonların ölçülmüş kesit özellikleri kullanıldı. Dolgu plaka kiriş kısmın yalnızca bir yüzünde bulunduğundan ve kiriş bükülmediğinden, Timler ve Kulak (1983) tarafından numunenin kendine has özellikleri için türetilen Eşitlik 3.4 kullanılarak, $\alpha = 52.8°$ hesaplandı. Eşitlik 3.2 kullanılarak sıkıştırma desteği alanı hesaplandı ve sınırlayıcı gerilim dolgu plaka elastiklik geriliminin % 8'i veya 21.7 MPa alındı.

Hizmet yük düzeyine yaklaşık üç döngüden sonra, Timler ve Kulak (1983), numuneye maksimum düzeye kadar monoton bir şekilde bir yük uyguladılar. Mafsallı bağlantılardan birinde burkulma olması ve o bölgedeki kaynak aşınması dolayısıyla test numunesi başarısız oldu. Timler ve Kulak'a (1983) göre, yerel bozulmalar olmasaydı, çelik plaka perde duvar numunesi daha yüksek bir kapasite (ve daha büyük sapma açısına) ulaşacaktı. Bu verilerden monoton bir itme eğrisi elde edildi. Kolona, dış kirişin orta çizgisinde bulunan numune için mafsallı destek noktasıyla çakışan modifiye şerit modelinin tepe kirişinin orta çizgi yüksekliğinde yanal bir yük uygulandı. Şekil 6.1'de görüldüğü gibi, tepe kirişte diğer kolon üzerindeki bir düğüm noktası 28 mm'ye kadar numune maksimum sapması gözlemlendi. Modifiye şerit modeli tarafından tahmin edilen temel kaymaları kopyalanarak, numunenin monoton eğrisiyle karşılaştırılabilecek bir itme eğrisi elde edildi. (Timler ve Kulak 1983, her destekte reaksiyon yükünü değil numuneye uygulanan toplam yükü rapor ettiler).

6.2.2. Analiz Sonuçları ve Model Geliştirme

Şekil 6.2'de görüldüğü gibi modifiye şerit modelin itme eğrisi, numunenin monoton eğrisiyle karşılaştırıldı.



Şekil 6.2 Timler ve Kulak (1983) test numunesinin diğer modeler ile karşılaştırılması [6].

Sıkıştırma desteğinin akmasından dolayı analizde önce model eğrisinde bir kıvrılma meydana geldiği görülebilir (550 kN yük ve 0.5 mm yanal sapmada). Bu kıvrılmanın meydana gelmesinin ardından modelin eğrisi numuneninkinin üzerinde uzanır ancak model ve numunenin rijitlikları neredeyse eşittir. Bu, sıkıştırma desteği olmasaydı, modelin başlangıç katılığının numuneninkine daha yakın olacağını düşündürmektedir. Bu sapmaya rağmen, modifiye şerit modeli, maksimum yer değiştirmede numunenin mukavemetini doğru tahmin etmiş ve bir parça yüksek hesaplamıştır (%2.1) (model için 5506 kN ve numune için 5395 kN). Bu küçük çelişki, daha önceki bölümde anlatılan numunenin başarısızlık modundan kaynaklanmış olabilir. Model, testte, maksimum sapmada numunenin mukavemetini oldukça doğru tahmin edebilmesine rağmen, sıkıştırma modelinin, yüklemenin ilk aşamalarında, modifiye şerit modele çok fazla rijitlik sağladığı açıktır. Bunun sebebi, numunedeki, yüklemenin başlarında burkulmaya

sebep olarak dolgu plakayı tutmaya çalışan mafsallı bağlantılar olabilir. Ancak, sıkıştırma desteğinin etkisi, daha yüksek yük düzeylerinde gelişmez.

Timler and Kulak (1983) numunesinin modeli, sıkıştırma desteği çıkarılarak da analiz edilmiş ve böylece sıkıştırma desteğinin katkısı değerlendirilmiştir. Şekil 6.2'de görüldüğü gibi, bu eğride kıvrılma yoktur ve numunenin başlangıç rijitliğiyle iyi uyuşmaktayken, maksimum sapmada mukavemeti % 4.5 (5151 kN) düşük hesapladı. Bu iki modelden (sıkıştırma destekli ve sıkıştırma desteksiz) elde edilen itme eğrileri, mafsallı kiriş kolon bağlantılarına sahip çelik plaka perde duvarlar için yüklemenin ilk aşamalarında sıkıştırma alanı meydana gelmediğini düşündürmektedirler. Ancak, yükleme ilerledikçe, panellerin köşeleri sıkışır ve yaklaşık olarak numunenin akmaya başladığı anda orada bir sıkıştırma alanı oluşmaya başlar (veya sıkıştırma desteğinin $11\Delta_y$'sinde). Sıkıştırma alanı mukavemeti hemen fark edilir ve böylece, numunenin tüm dayanımına katkıda bulunur.

Yukarıda açıklanan davranışı açıklamak için Timler ve Kulak (1983) numunesinin, ilk olarak geliştirilen desteğe göre daha tedrici olarak bağlanan bir sıkıştırma desteği eksenel mafsalı içeren bir model geliştirildi. Tablo 6.1'de bu kalibre edilmiş eksenel mafsal için normalleştirilmiş yük ve sapma değerleri görülmektedir. Sıkıştırma desteğinin modelin katılığına katkıda bulunmadığı yüklemenin ilk aşamaları esnasında eğrinin normalde düz olacağına dikkat edilmelidir (B noktasından C noktasına kadar). Ancak sayısal istikrarsızlıklardan dolayı, uyum sağlamak amacıyla hafif bir eğim uygulanmıştır (0.0001:1). Ancak bunun etkisi ihmal edilebilir olarak düşünülmektedir. Ayrıca, sıkıştırma desteğinin modele uygulandığı yerde (B noktasından C noktasına kadar) sıkıştırma desteği katılığının normalde olduğundan beş kat daha yumuşak olduğuna dikkat ediniz. Şekil 6.2'de görüldüğü gibi, kalibre edilmiş destekli modelin itme eğrisi, numunenin monoton eğrisinin maksimum sapmasında hem başlangıç katılığı hem de mukavemetiyle iyi uyum sağladı. Kalibre edilmiş sıkıştırma desteğinin eksenel mafsalından dolayı, bu model, sıkıştırma desteksiz modelinkiyle aynı başlangıç katılığına ve bir çift doğrulu (bi-lineer) eksenel mafsala sahip ilk sıkıştırma destekli modelinkiyle aynı esneme sonrası eğriye sahiptir. Daha önce tartışıldığı gibi, yazılımın sınırlamalarından dolayı zayıflama mafsallarında azalan dal bulunmamasına rağmen, bulunsaydı bile, testte maksimum sapmaya ulaşıldıktan epey sonra zayıflama

ya bulacağına dikkat edilmelidir. Bundan ve test numunesindeki lokalize bağlantı başarısızlığından dolayı, mafsallı çerçeve bağlantılı çelik plaka perde duvarın zayıflama davranışını değerlendirmek için daha fazla araştırma yapılması gereklidir.

Mafsallı kiriş kolon bağlantılı çelik plaka perde duvar numuneler hakkında veri bulunmamasından dolayı (kayma tip bağlantılı numuneler vardır ancak, Timler ve Kulak (1983) numunesindeki gibi mafsallı bağlantılı numuneler yoktur), yukarıda açıklanan kalibre edilmiş mafsal değerlendirilemez.

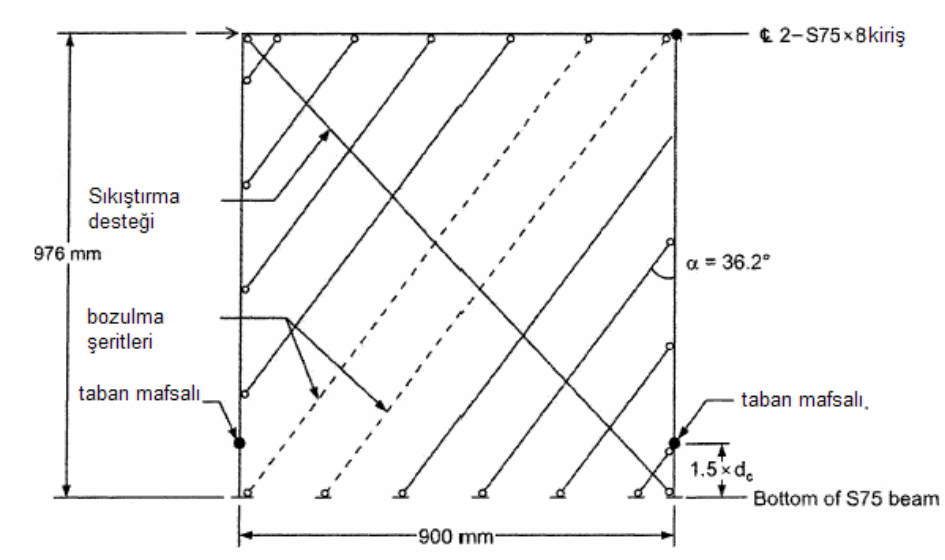
Ancak, tasarım mühendisi, kolayca iki model meydana getirebilir, biri çift doğrulu (bi-lineer) sıkıştırma destekli, diğeri sıkıştırma desteksiz. Gerekirse, desteksiz modelin eğrisinin başlangıç eğimi, kolayca, sıkıştırma destekli modelinkiyle kesiştirilerek çelik plaka perde duvarın tüm tepkisi iyi bir şekilde tahmin edilebilir.

6.3. Lubell (1997) Tek Katlı Numunesi (SPSW2)

6.3.1. Model Geometrisi ve Yükleme

Lubell (1997), Bölüm 3'de açıklandığı gibi küçük ölçekli tek katlı SPSW2 denen bir numuneyi test etti. Dolgu plaka kalınlığı sadece 1.5 mm'idi ve S75x8 kısmı, CAN/CSA S16-01 Madde 20.4.2'de belirlenen kolon elastiklik sınır koşullarını karşılamadı (S75x8 için wh = 2.5 ve CAN/CSA S16-01 sınırı için wh = 2.5).

Şekil 6.3'te, SPSW2 numunesinin modifiye şerit modeli için geometrik ve yükleme Düzenlemeleri görülmektedir.



Şekil 6.3 SPSW2 numunesinin modifiye şerit modeli [12]

Modelin temeli, numunenin temeline yerleştirilmiştir (yani, en alt S75x8 kirişinin dibi) ve sabit bir temel destek koşulu uygulanmıştır. Kolonların temel mafsalı, 114 mm temel düğüm noktasından tüm bir mesafe için dip kirişinin tepe flanşı üzerindeki kolon derinliğinin yarısı mesafesine yerleştirilmiştir ($d_b+0.5d_c=1.5d_{c)}$. Timler ve Kulak (1983) modeli için açıklananlara benzer sebeplerden dolayı numunenin dip kirişi modelden çıkarılmıştır. Tam kat yüksekliği , h=976 mm için, model yüksekliği tepe kirişin orta çizgisine kadar çıkarılmıştır.

Hazır kiriş kısmı (2-S75x8), modifiye Axt ve h ile tipik bir S75x8 olarak modellenerek sırasıyla 2140 mm^2 ve 5.17xl06 mm^4 numune tepe kirişinin kesit özellikleri karşılandı. SPSW2 numunesi, moment aktaran kiriş kolon bağlantılarına sahip olduğundan, bu model, bağlantıları, rijit olarak temsil etti ve panel bögesi ve elastik mafsallar Bölüm 5'te açıklandığı gibi yerleştirilir.

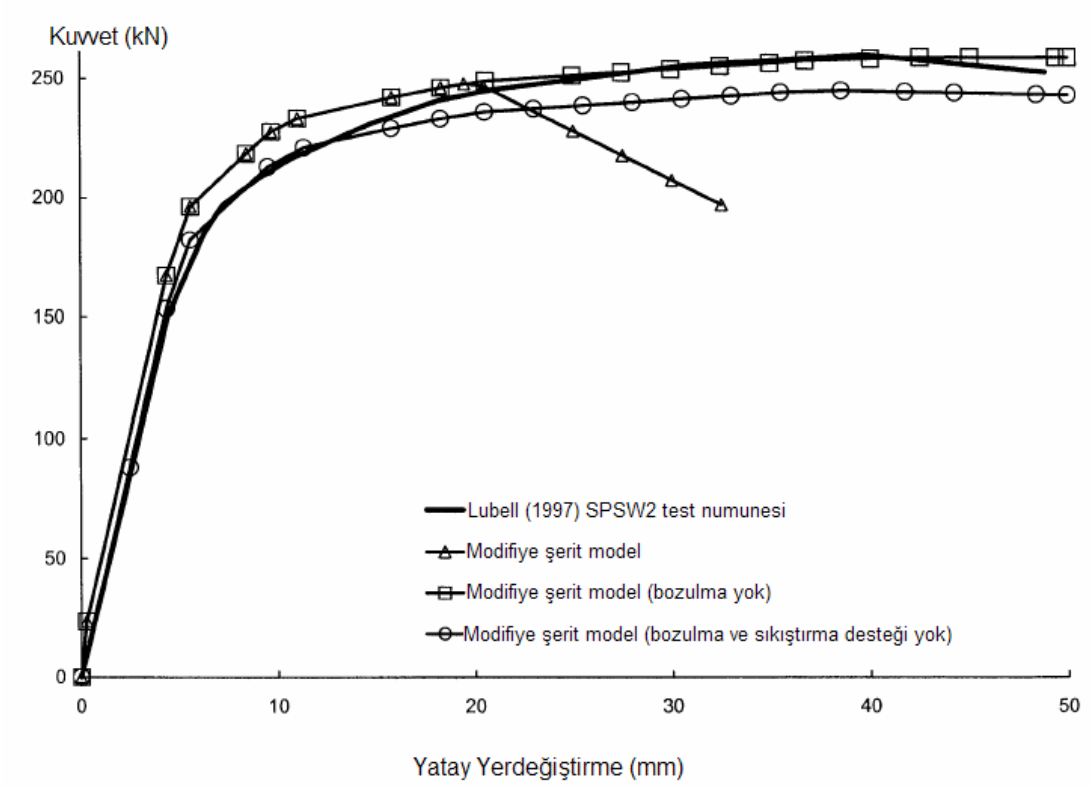
Dolgu plaka kiriş kısmının yalnızca bir yüzünde bulunması ve bu yüzden gerilme alanı faaliyeti altında bükülmemesi dolayısıyla Timler ve Kulak (1983) numunesinin eşitliğinin, eşitlik 3.4 kullanılması gerekmesine karşın, SPSW2 numunesinin modifiye şerit modeli, CAN/CSA S16-01 Madde 20.3.1'teki eşitliği kullanarak α'yı hesaplamıştır. Ancak bu iki eşitlikle hesaplanan α birbirine çok yakın olduğundan, CAN/CSA S16-01 eşitliği kullanılmasının etkisi ihmal edilebilir. görülmüştür. (CAN/CSA S16-01 eşitliği için 36.2° ve Eşitlik 3.4 için 36.8°).

Lubell (1997) tarafından verilen malzeme test verilerine dayanılarak, bu modeldeki kolonlar ve kirişler için 400 MPa akma mukavemeti seçilirken, dolgu plaka akma mukavemeti 320 MPa olarak alınmıştır. Sıkıştırma desteğinin alanı, Eşitlik 3.2 kullanılarak hesaplanmış ve sınırlayıcı gerilim dolgu plaka elastiklik mukavemetinin % 8'i ya da 25.6 MPa alınmıştır. Bir çok durumda güvenli kabul edildiğinden modelin zayıflama davranışı Bölüm 3'te açıklandığı gibi alınmıştır.

Testte olduğu gibi, düşey yük uygulanmamıştır. Duvarın bir yüzüne, tepe kirişi orta çizgisi düzeyinde yanal yük uygulanmıştır. Model itilirken, o düzeydeki diğer kolon üzerindeki bir düğüm noktası, o noktanın, 50 mm maksimum numune yanal sapmasına ulaşana kadar gözlemlenmiştir. İtme analizi esnasında kendi ağırlığının katkısı ihmal edilebilir olarak düşünülmüştür.

6.3.2. Analiz Sonuçları ve Model Geliştirme

Şekil 6.4'te görüldüğü gibi, modifiye şerit modelin itme eğrisi, SPSW2 numunesi histeretik eğrisinin teğetiyle karşılaştırılmıştır.

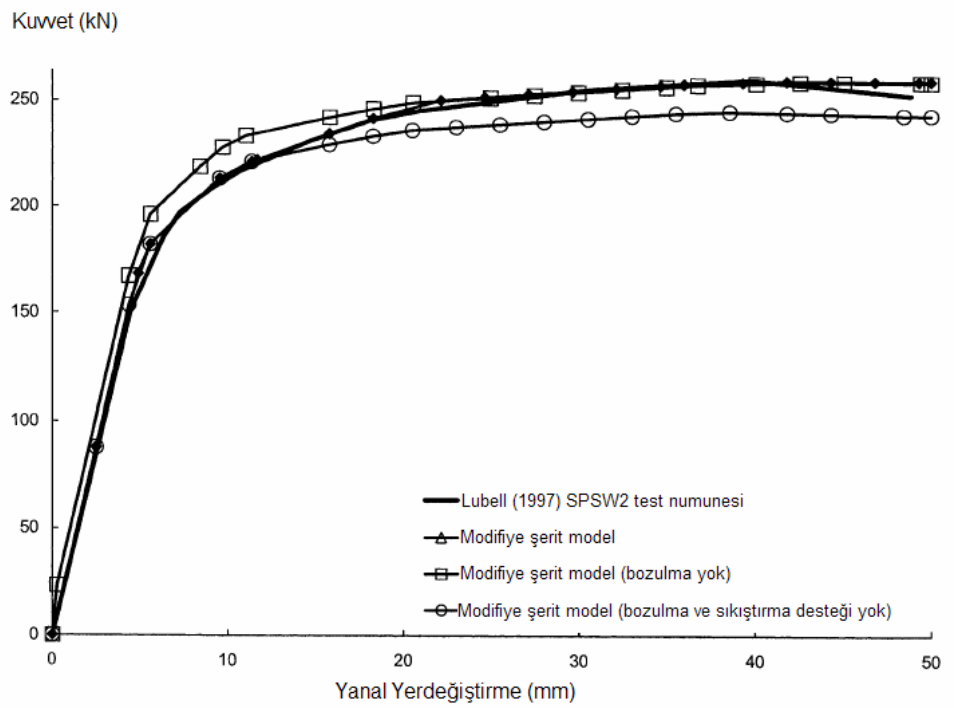


Şekil 6.4 SPSW2 Numunesinin Histeretik Eğrilerinin Karşılaştırılması [12]

Model maksimum kapasitenin, numuneye göre oldukça küçük bir sapmada meydana geleceğini tahmin etmiştir. Bu da, Bölüm 4'te açıklanan zayıflama eksenel mafsal davranışının SPSW2 numunesinin zayıflamasını doğru bir şekilde yansıtmadığını düşündürür. Bu durumda, çatlak oluşumuna yol açan yerel kıvrılmaya daha az hassas olan çok ince plakadan kaynaklanıyor olabilir. Zayıflayan eksenel mafsallar tarafından temsil edilen plaka aşınmasız duvar tepkisini değerlendirmek amacıyla şeritlerin zayıflama davranışı göz ardı edildi ve tüm eğimli çekme bantları için çift doğrulu (bi-lineer) yalnızca çekme eksenel mafsalları kullanıldı. Bu modelin itme eğrisi de Şekil 6.4'te görülmektedir ve eğrinin daha sonraki kısmı geliştirilmiş olarak sunulmaktadır.

Şekil 6.4'te görüldüğü gibi, Timler ve Kulak (1983) numunesinin modifiye şerit modeline benzer şekilde, sıkıştırma desteğinin burkulmasından dolayı analizin başlarında model eğrisinde küçük bir kıvrılma meydana gelmektedir (23 kN yükte ve 0.3 mm yanal sapmada). Kıvrılma meydana geldikten sonra, modelin katılığı numuneninkine neredeyse eşitti ancak, modelin eğrisi numuneninkinin üzerinde uzanmaktadır. Bu sapmaya rağmen,

zayıflama mafsalsız model, numunenin istenen mukavemetini doğru tahmin etmiş, %0.4 eksik hesaplamıştır (model için 260 kN ve SPSW2 numunesi için 261 kN). Şeritlerin zayıflaması modellenmediğinden ve bu yüzden itme eğrisinde tepe noktası oluşamayacağından, modelin istenen dayanımı, numunenin beklenen dayanımı ile aynı sapmada alınmıştır. Ancak, bu noktada eğrinin eğimi sıfırdır. Ayrıca, zayıflama mafsalsız SPSW2 numune modeli, sıkıştırma desteği çıkarılarak da gerçekleştirilmiştir. Şekil 5.4'te görülebileceği gibi, bu modelin itme eğrisi numunenin başlangıç rijitliğiyle iyi uyum sağlarken, numunenin istenen mukavemetini %6.1 eksik hesaplamıştır (245 kN). Sıkıştırma destekli ve sıkıştırma desteksiz modellerin itme eğrileri, yüklemenin başlarında, çok ince dolgu plakada sıkıştırma alanı meydana gelmediğini düşündürür. Ancak, teğet eğrinin başlangıç akma kısmının yaklaşık yarısında (yaklaşık 11 mm toplam kat yer değiştirmesi), sıkıştırma alanı mukavemeti fark edilmeye başlanır. Bu yüzden, Timler ve Kulak (1983) modifiye şerit modeli durumuna benzer olarak, numunenin teğet eğrisiyle iyi uyuşan tek bir itme eğrisi elde etmek için sıkıştırma desteği eksenel mafsalı kalibre edilmelidir. Bu yüzden, yukarıdaki davranışa benzeyen bir sıkıştırma desteği eksenel mafsalına sahip bir başka SPSW2 numune modeli meydana getirilmiştir. Tablo 5.1'de, bu kalibre edilmiş mafsal için normalleştirilmiş yük ve sapma değerleri görülmektedir. Timler ve Kulak (1983) modelinde olduğu gibi, analize uyum sağlatmak için B ve C noktası arasında hafif bir eğim gerekmiştir. Teğet eğrisiyle iyi bir uyuşma sağlamak için, sıkıştırma desteği katılığı (C ve D noktaları arası) normalden çok daha düşüktü. Şekil 6.5'te görülebileceği gibi, kalibre edilmiş sıkıştırma destekli modelin itme eğrisi, SPSW2 numunesi teğet eğrisiyle iyi uyuşmaktadır.



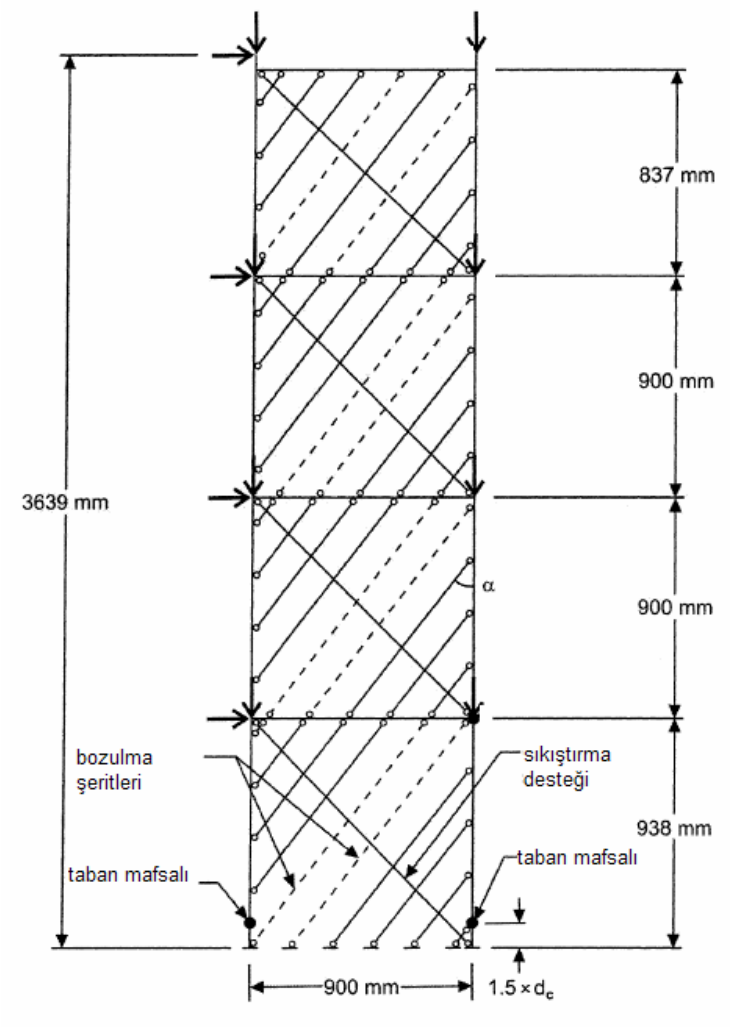
Şekil 6.5 Kalibre Edilmiş Sıkıştırma Destekli Modele Ait Eğrilerin Karşılaştırılması [12]

Kalibre edilmiş sıkıştırma desteği eksenel mafsalından dolayı, model, sıkıştırma desteksiz modelinkiyle aynı başlangıç katılığına sahiptir ve istenen mukavemet yanında çift doğrulu (bi-lineer) sıkıştırma destekli modelinkiyle aynı özelliklere sahiptir. Timler ve Kulak (1983) numunesi için açıklandığı gibi, bir tasarım mühendisi, biri bir çift doğrulu (bi-lineer) sıkıştırma destekli diğeri desteksiz iki model meydana getirerek kolaylıkla komple bir çelik plaka perde duvar tepkisini iyi bir şekilde tahmin edebilir.

6.4. Lubell (1997) Dört katlı Modeli (SPSW4)

6.4.1. Model Geometrisi ve Yükleme

Bölüm 3'de açıklanan modifiye şerit modeli, Lubell (1997) tarafından test edilen dört katlı numuneye de (SPSW4) uygulanmıştır. Şekil 6.6'da görülen, SPSW4 modeli, SPSW2 modelininkilerle benzer malzeme özelliklerine sahiptir.



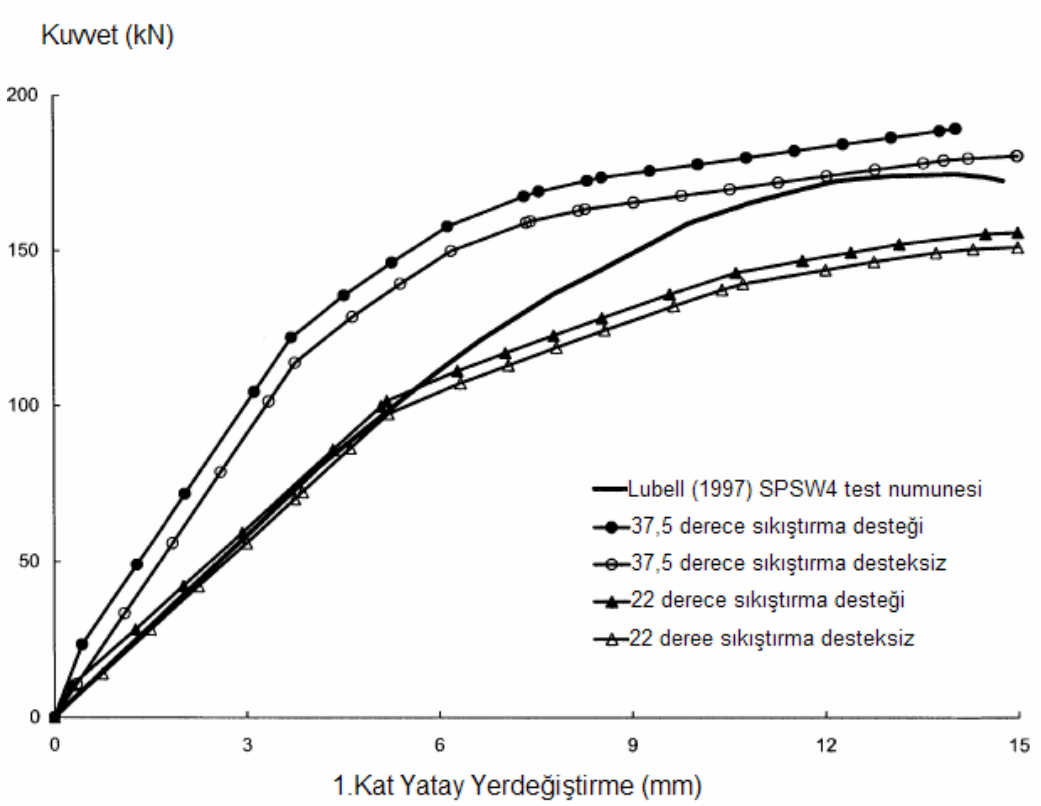
Şekil 6.6 SPSW4 modeli [12]

CAN/CSA SI 6-01 eşitliği kullanılarak her panel için ortalama α değeri, 37.5° olarak hesaplanmıştır. Eşitlik 3.2 kullanılarak her paneldeki sıkıştırma destek alanı hesaplanmıştır. Yük kontrolü kullanılarak, testteki gibi her kattaki her kolona 6.5 kN düşey yükler uygulanmıştır. Düşey yüklere göre çok küçük olduğundan numunenin kendi ağırlığı analiz esnasında ihmal edilmiştir. Modele düşey yükler uygulandıktan sonra, sapma kontrolü kullanarak her iç kirişin orta çizgisi ve S200x34 kiriş tepesinden 36 mm mesafede yanal yükler uygulanmıştır. Numunenin tepesini doğru modellemek için, her kolonun tepesine S200x34 kirişi orta çizgisinden 64 mm öteye sağlam bir direk yerleştirilmiştir. Numunenin maksimum ilk sapması 15 mm'ye erişilene kadar, ilk kat kiriş noktasındaki "rüzgâr altı" kolonu gözlemlenmiştir.

6.4.2. Analiz Sonuçları ve Model Geliştirme

Modifiye şerit modelinin itme eğrisi elde edilmiş ve Şekil 5.7'de görüldüğü gibi SPSW4 numunesinin teğet eğrisiyle karşılaştırılmıştır. Analizin başlarında sıkıştırma desteği burkulmasından dolayı modelin eğrisinde bir kıvrım meydana gelmiş ve dolayısıyla model, numunenin başlangıç katılığı ve istenen mukavemetini fazla tahmin etmiştir. Karşılaştırmak için, Şekil 5.7'de görüldüğü gibi, sıkıştırma desteği çıkarılarak da bir model meydana getirilmiştir. Bu modelin tepki eğrisinde kıvrılma olmamasına rağmen, numunenin başlangıç katılığı yine büyük ölçüde fazla hesaplanmıştır. Model, numunenin istenen mukavemetini %2.8 fazla hesaplamaktadır (model için 181 kN ve numune için 176 kN).

Yukarıda açıklananlara benzer uyumsuzluklar kendi şerit model analizlerinde Lubell (1997) tarafından da gözlemlenmiştir ve çok elastik kolonlardan dolayı sadece kirişler arasında kısmi çekme alanı meydana geldiğini düşünmüşlerdir. Bu nedenle, o varsayıma dayanarak Thorburn vça (1983) tarafından türetilen bir eşitliği kullanarak elde edilen 22° önerdiler. Ancak, Lubell (1997), analitik modeldeki kolon ve kiriş elemanlarını çekme bantlarına bağlamaya devam etti. Bunu nedenle biri sıkıştırma destekli diğeri desteksiz olmak üzere, iki ilave SPSW4 numune modeli daha meydana getirildi. Bunlarda, karışık düzen yalnızca çekme bantları dikeye 22° eğimliydiler ve kolon ve kirişlere bağlıydılar. Elde edilen itme eğrileri Şekil 6.7'de görülmektedir. Sıkıştırma desteği içermeyen ve çekme bantlarının eğim açısı azaltılmış modelin, numunenin başlangıç rijitliğiyle çok iyi uyuşurken, istenen dayanımı %14.8 (150 kN) eksik hesapladığı anlaşıldı.



Şekil 6.7 SPSW4 numunesinin diğer model teğet eğrileriyle karşılaştırılması [12]

Bu sonuçlar, SPSW4 numunesinin yüklenmesi sırasında ilk aşamalarda 22° α açısına sahip kısmi bir çekme alanı meydana geldiğini düşündürdü. Lubell (1997), numunenin yüklenmesine devam edildikçe bu çekme alanının daha tam olarak geliştiğini ve böylece α'yı artırdığını gözlemledi. Yukarıda açıklanan yükleme boyunca değişen bu davranışın karmaşık yapısından ve kolonların CAN/CSA S16-01 rijitlik koşullarını karşılamamasından dolayı, elastik olmayan davranışı tam olarak açıklayan tek bir SPSW4 numunesi meydana getirilememiştir. Çekme bantları modellere dahil edilse bile (Bölüm 4'e göre) itme eğrileri sapma aralığında zayıflama etkilerini göstermemişlerdir.

6.5. Özet

Modifiye şerit modeli, Driver ve çalışma arkadaşları (1998A) numunesi haricinde farklı özelliklere ve konfigürasyonlara sahip iç adet çelik plaka perde duvar numunesi kullanılarak değerlendirilmiştir. Modifiye şerit modeli, mafsallı kiriş kolon bağlantılarına sahip Timler ve Kulak (1983) numunesine uygulandığında, başlangıç akması başlayana kadar sıkıştırma alanı meydana gelmezken, numunenin tüm kapasitesine önemli ölçüde katkı sağladığı anlaşılmıştır. Tek bir model, numunenin elastik olmayan davranışını kapsayacak şekilde sıkıştırma desteği eksenel mafsalı kalibre edildikten sonra, model ve numune eğrileri arasında iyi bir uyum vardı, ancak, daha büyük sapmaya kadar model zayıflamaya başlamadı. Modifiye şerit modeli, elastik kolonlar, çok ince dolgu plaka ve moment aktaran bağlantılar içeren SPSW2 numunesine de uygulandı (Lubell 1997). Numunenin başlangıç akmasına kadar sıkıştırma alanı meydana gelmezken, numunenin tüm kapasitesine katkıda bulunduğu anlaşılmıştır. Sıkıştırma desteği eksenel mafsalı, moment aktaran kiriş kolon bağlantılı çok ince plakalı çelik plaka perde duvarlara yeterli olacak şekilde kalibre edildi. Her iki halde de, iki modeli ,sıkıştırma destekli ve desteksiz, kullanan bir "göz küresi" yöntemi, tasarım mühendisi tarafından kolayca kullanılarak çelik plaka perde duvarın komple davranışı tahmin edilebilmekteydi. Çok katlı elastik kolonlar, çok ince dolgu plaka ve moment aktaran bağlantılar içeren numuneler için (SPSW4, Lubell (1997)), yük uygulandıkça α değerinin artmasından dolayı tek bir modelin numunenin elastik olmayan davranışını kapsayamayacağı anlaşıldı.

Modifiye şerit modeliyle açıklanan zayıflama eksenel mafsalının, bu kısımda tartışılan numunelerin zayıflama davranışını doğru açıklamadığı gözlemlendi. Bu, çeşitli çelik plaka perde duvar konfigürasyonlarının zayıflama davranışını değerlendirmek için daha fazla araştırma yapılması gerektiğini düşündürdü. Ancak, modelin genelde güvenli olduğuna inanılmaktadır. Bu kısımda sunulan sonuçlar, çelik plaka perde duvarların kapasitesini hesaplamak için Bölüm 4'te açıklanan sıkıştırma plakası kullanımını destekler. Ancak, mafsallı kolon kiriş bağlantıları veya çok ince dolgu plaka kullanılması hallerinde, çelik plaka perde duvarın başlangıç katılığını hesaplamak için desteğin göz ardı edilmesi önerilir.

7. ÇELİK PERDE DUVARLARI YÖNETMELİK MADDELERİ

7.1. Giriş

Şu anda, ABD'deki sismik yönetmelikler, çelik perde duvarlarında sismik tasarım parametreleri için spesifik değerler sağlamamaktadır. Özellikle, ABD yönetmelikleri, çelik plaka perde duvar sistemleri için sistem davranış katsayısı R ve sistem aşırı mukavemet faktörü Ω_o gibi sismik tasarım parametreleri için spesifik değerler sağlamamaktadır. Aynı zamanda, çelik plaka perde duvarlarının birleşim detaylarına ilişkin maddeler neredeyse ABD yönetmeliklerinde bulunmamaktadır. Bu bölümde, Çelik plaka perde duvarları ile ilgili yürürlükteki sismik tasarım maddelerinden bahsedilecektir. Yönetmeliklerde bulunamayan veya eksik noktalarda ise Astaneh-Asl'nin önerdiği parametreler sunulacaktır.

Öncelikle, UBC-97 (ICBO, 1997), IBC-2000 (ICC, 2000), SEAOC Mavi Kitap (SEAOC, 1999) ve AISC Sismik Maddeleri (AISC, 1997)'deki yönetmelik maddelerinden bahsedilecektir. [20]. Konu ile ilgili bahsedilecek yönetmelik maddeleri, araştırma, üzerinde tartışma ve tavsiyede blunmak içindir. Tasarım yapmayı düşünen yapı mühendisleri güncel verilerden yararlanmalıdır. Bu bölümde verilecek bilgilerin kullanılması halinde, kullanan kişiler tüm sorumluluğu üstüne alır.

7.2. Çelik Plaka Perde Duvarlarinin Sismik Tasarımı ile İlgili Yönetmelik Maddeleri

ABD'deki yapı mühendisleri şuanda sismisitesi yüksek olan bölgelerde sıkça Uniform Building Code (ICBO, 1997) kullanmaktadırlar. 2000 ilk basımı yayınlanan, International Building Code, IBC-2000'nin (ICC200), UBC-97'e göre daha güncel olmasından dolayı IBC-2000'nin yetkilileri daha çok güven sağlamışlardır. İleriki yıllarda, IBC-2000'nin UBC-97'den daha çok tercih edileceği düşünülmektedir. Bu yüzden, gelecek bölümlerde, IBC-2000'nin çelik plaka perde duvarlarıyla ilgili yönetmelik maddeleri tartışılacaktır.

Ayrıca, şuan literatürdeki tek çelik perde duvar yönetmeliği Kanada'mn Ulusal Yapı Yönetmeliğinden, (CCBFC, 1995), (SEAOC-99), AISC-Sismik Yönetmelik maddelerinden (AISC, 1997) bilgiler verilecek ve bu maddeler üzerinde tartışılacaktır. [2].

7.3. ABD Yönetmeliklerini Kullanarak Çelik Plaka Perde Duvar Sistemleri için Bazı Hesaplar

7.3.1. Deprem Yüklerinin Belirlenmesi

UBC-97, SEAOC-99 ve IBC-2000, yönetmeliklerinin tümünde E ve E_m değerleri tanımlanmaktadır. E ve Em , IBC-2000 (hem de diğer ABD yönetmelikleri)'deki sismik tasarım için özel olan yükleme kombinasyonlarında kullanılmıştır. E ve E_m'nin değerleri, IBC2000'nin, 16-28.,29. ve 30.'cu maddelerinde aşağıdaki şekilde verilmiştir.

$$E = \rho Q_E \pm 0.2 S_{DS} D \tag{7.1}$$

$$E_m = \Omega_o Q_E \pm 0.2 S_{ds} D \tag{7.2}$$

Bu bölümdeki tüm terimlerin tanımı için terimler listesinden faydalanabilirsiniz. Yukarıdaki eşitliklerde, negatif işaret, sismik etkiler ve yerçekimi kuvveti ne zaman karşı etki yaratırsa ikinci terim için kullanılmalıdır.Eşitliklerde, ρ, Q_e ve Ω_o dışında kullanılan diğer tüm terimler yapı sisteminden bağımsızlardır. Bundan dolayı, yapı sistemine bağlı olmayan, sismik etkilerin hesaplanmasında gerekli bazı parametreler diğer yaygın sistemlerin hesap yöntemlerindeki gibi düşünülebilir.

7.3.2. Çelik Plaka Perde Duvarları için ρ Değeri Hesabı

Sistem fazlalığından doğan güvelik katsayısıdır ve IBC-2000'de şu şekilde verilmiştir.

$$\rho_i = 2 - \frac{20}{r_{\max i}\sqrt{A_i}} \tag{7.3}$$

IBC-2000 ve UBC-97 $rmax_i$, ve A_i çelik perde duvarları için tanımlamıştır.

7.3.3. Çelik Plaka Perde Duvarları için Qe (Ve R-Faktörü) Hesabı

Q_e terimi yatay sismik kuvvetlerin etkilerini göstermektedir. Q_e teriminin bulunmasında, eğer yönetmeliğin "Eşdeğer Yatay Kuvvet" işlemi kullanılırsa, ilk taban kesme kuvveti V hesaplanmalıdır. IBC-2000 V için aşağıdaki eşitliği vermektedir:

$$V = C_s W \tag{7.4}$$

ve;

$$C_s = \frac{S_{DS}}{(\frac{R}{I_E})} \tag{7.5}$$

Yukarıdaki eşitlikteki, sistem davranış katsayısı R dışındaki tüm terimler, sistemlerden bağımsızdır. IBC-2000 ,UBC-97 ve SEAOC-99'da bir çok yapı için R değerleri bulunmasına rağmen, şu andaki ABD yönetmeliklerinde çelik plaka perde duvarlar için R'nin hiçbir değerini vermemektedirler. Konuyla ilgili tek yasal yönetmelik Kanada Ulusal Yapı Yönetmeliği (CCBFC, 1995) içerisindeki "zorunlu olmayan" EK-M, R faktörünü içeren, berkitilememiş çelik plaka perde duvarlarında "Tasarım Gereksinimleri" için özel spesifik maddelere sahiptir [2]. Kanada Yönetmeliği, kirişlere ve kolonlara sınırları boyunca kaynaklanmış, berkitilmemiş ince (narin) çelik plaka perde duvarlarını tartışmaktadır. Kanada Yönetmeliği (CCBFC, 1995), R'nin değerini, moment çerçevesi içindeki çelik plaka perde duvarlar için 4 vermektedir. Bu değer, ABD yönetmelik terminolojisine eşdeğer olarak çevrildiği zaman R yaklaşık olarak 8.0 olmaktadır.

ATC(1995) R faktörünü, öncelikle sünekliğe bağlı olmak üzere , aşırı mukavemete, vibrasyonun periyoduna ve sistemdeki fazlalığa bağlar. R'yi etkileyen diğer parametreler şunlardır:

- Aşırı elastik olmayan durum olabilir diye yerçekimi kuvveti taşıyan sistemin incinebilirliği
- Yerel göçme durumu olabilir diye aşamalı göçmenin olasılığı,
- Yapısal olmayan elamanların pozitif veya negatif katkıları,
- Yapının malzemesinin göçme davranışı,
- Yer hareketinin karakteristikleri
- Zeminin özelliği,
- Yerin dinamik etkileşimi,

- Temel sistemi
- Yapının sönümleme faktörü

SEAOC Sismoloji komitesi R faktörünü 2 kısma bölmüştür (SEAOC, 1999):

$$R = R_o R_d \tag{7.6}$$

R_o, aşırı mukavemet kısmını ve R_d, yapıdaki elastik olmayan hareketlerden dolayı sismik kuvvetlerdeki azaltmayı göstermektedir. SEOAC (1999)'a göre R_o ve R_d değerleri yapı özelliğine göre aşağıdaki şekillerde belirlenebilir [2].

- Sismik hareketler anında yapıda gözlenen veya beklenen performans
- Plastik şekil değiştirme kapasitesinin seviyesi
- Düşey yük taşıyıcı sistemin narinliği
- Yatay yüke dirençli sistemin hiperstatiklik
- Destekleyici çerçevelerde olduğu gibi dirençte çok kat çizgileri

R faktörleri üzerine bir çok araştırma, deney ve gözlem yapılmıştır. Tablo 7.1 IBC 2000'de bir çok yapı sistemi için R değerlerini göstermektedir. Çelik plaka perde duvarları için şuan yönetmeliklerde herhangi bir R değeri verilmemektedir. Ancak Astaneh-Asl, yaptığı laboratuvar testleri ve analizlerin sonuçlarına dayanarak, çelik plaka perde duvarları için R değerleri vermiştir. Bu değerlerin yönetmeliklere girmesi için yapı mühenisliği topluluğunun, oy birliği ile kabul kararına ihtiyaç vardır. Tablo 7.2 Astaneh-Asl tarafından, çelik plaka perde duvarları için önerilen geçici R değerlerini gösterektedir.

Tablo 7.1 Basit sismik Kuvvet direnç sistemleri için tasarım katsayıları ve faktörleri

(Tablodaki değerler IBC 2000 tarafından verilmiştir)

Basil Sismik Kuvvet Direnç Sistemi	Sistem davranış katsayısı R	Sistem aşırı mukavemet faktörü	Sapma büyütme faktörü C_d	IBC-2000'in bölüm 1616.3'de belirlenen sismik tasarım kategorisi olarak belirlenen sistem sınırlamaları ve bina yükseklik sınırlamaları (feet)				
				A veya B	C	D	E	F
Eksantrik çaprazlı çelik çerçeve, linklerden uzaktaki kolonlarda moment direnç ba£lantılı	8	2	4	SY	SY	160	160	100
Eksantrik çaprazlı çelik çerçeve, linklerden uzaktaki kolonlarda moment direnç bağlantısı	7	2	4	SY	SY	160	160	100
Merkezi çaprazlı özel çelik çerçeveler	6	2	4	SY	SY	160	160	100
Merkezi çaprazlı sıradan çelik çerçeveler	5	2	4,5	SY	SY	160	160	100
Özel betonarme perdeler	6	2	5	SY	SY	160	160	100
Eksantrik çaprazlı kompozit çerçeveler	8	2	4	SY	SY	160	160	100
Çelik elemanlarla birlikte özel kompozit betonarme perde duvarları	6	2,5	5	SY	SY	160	160	100
Özel çelik moment	8	3	5,5	SY	SY	SY	SY	SY
Özel betonarme moment çerçeveleri	8	3	5,5	SY	SY	SY	SY	SY
Özel moment çerçeveli ve eksantrik çaprazlı çelik çerçeveli ikili sistem, linklerden uzaktaki kolonlarda moment	8	2,5	4	SY	SY	SY	SY	SY
Özel moment çerçeveli ve merkezi çaprazlı özel çelik çerçeveli ikili sistem	8	2,5	6,5	SY	SY	SY	SY	SY
Özel moment çerçeveli ve özel betonarme perde duvarlı ikili sistem	8	2,5	6,5	SY	SY	SY	SY	SY
Özel moment çerçeveli ve kompozit çelik plaka perde duvarlı ikili sistem	8	2,5	6,5	SY	SY	SY	SY	SY

Notlar:

l. Gerçek tasarım için IBC 2000 1617.6'daki tabloya bakılmalıdır.

2. SY:Sınır Yok [20]

Tablo 7.2 Çelik perde duvarları sismik kuvvet direnç sistemleri için önerilen tasarım katsayıları ve faktörleri

(Tablodaki değerler A.Astaneh-Asl tarafından geçici olarak önerilmiştir.)

Basit Sismik Kuvvet Direnç Sistemi	Sistem davranış katsayısı R	Sistem aşın mukavemet faktörü	Sapma büyütme faktörü C_d	IBC-2000'in bölüm 1616.3'de belirlenen sismik tasanın kategorisi olarak belirlenen sistem sınırlamaları ve bina yükseklik sınırlamaları (feet)				
				A veya B	c	D	E	F
1. Basit kiriş kolon bağlantılı yerçekimi taşıyan çelik çerçeve içerisinde berkitilmemiş çelik plaka perde duvarları	6,5	2	5	SY	SY	160	160	100
2. Basit kiriş kolon bağlantılı yerçekimi taşıyan çelik çerçeve içerisinde berkitilmiş çelik plaka perde duvarları	7	2	5	SY	SY	160	160	160
3. Özel çelik moment çerçeveli ve berkitilmemiş çelik plaka perde duvarlı ikili sistem	8	2,5	4	SY	SY	SY	SY	SY
4. Özel çelik moment çerçeveli ve berkitilmiş çelik plaka perde duvarlı ikili sistem	8,5	2,5	4	SY	SY	SY	SY	SY

Notlar: SY:SınırYok [2]

7.3.4. Çelik Plaka Duvarlar için Ω_o'ın değeri:

Bu faktör, yapı tasarımında elemanların üzerine gelen sismik yükleri arttırmakta kullanılır. (SEAOC, 99) [2]. Çeşitli yapı sistemleri için aşırı mukavmet faktörü Ω_o'nun değeri IBC-2000'de verilmiştir. Henüz ABD yönetmeliklerinde, çelik plaka perde duvarları için Ω_o'nun bir değeri verilmemiştir. Tablo 7.1'de Ω_o'ın çeşitli yapı sistemleri için değerini vermiştir. Tablo 7.2'de ise diğer sistemlerle kıyalamalar yapılarak, ikili sistemin veya standart sistemin bir parçası olan berkitilmiş ve berkitilmemiş çelik plaka perde duvarları için Ω_o 2.5 olarak önerilmiştir.

7.3.5. Çelik Plaka Duvarlar için C_d'nin Değeri:

Tablo 7.2'de Çelik plaka perde duvar sistemlerinin birçoğu için önerilen yer değiştirme artırma faktörü verilmiştir. Tablo 7.1'de benzer sistemler için veilen değerler görülebilir.

7.3.6. Çelik Plaka Perde Duvarlar için Sismik Maddeler:

Önceki bölümde verilen maddeler, sismik etkilerin yapıdan beklediği talebi hesaplamak için gerekli olan parametrelerin belirlenmesinde gerekliydi. Bundan sonraki bölümde, çelik plaka perde duvarlarda bu talebi karşılayacak kapasiteyi hesaplamak için bir takım bilgiler verilip bunlar üzerinde tartışılacaktır. Hali hazırda çelik plaka perde duvarlar için kapasite hesaplarında kullanılabilecek parametreler yönetmeliklerde bulunmamasına rağmen, benzeri sistemler üzerinden yola çıkılarak bir takım önerilerde bulunulacaktır.

7.3.7. AISC'de Çelik Plaka Perde Duvar ile ilgili Sismik Maddeler:

AISC 1997, bir çok çelik yapı sistemleri için aşırı mukavemet faktörü Ωo'nın değerini vermektedir. Çelik perde duvarları için belirtilen bir değer yoktur. Çelik yapılardaki bazı birleşimlerde ve elemanlarda, beklenen akma mukavemeti için 7.7 formülünü vermektedir. Bu değer çelik plaka perde duvarlar içinde kullanılabilir.

$$F_{ye} = R_y F_y \tag{7.7}$$

Burada, F_{ye}, belirlenmiş minimum akma mukavemeti ve R_y, 1.1'den 1.5'e kadar değişen, çeliğin derecesine ve elemanın yuvarlatılmış veya düz bir şekle sahip olup olmadığı ile ilgili bir katsayıdır.

AISC (1997)'nin Bağlantılar, Birleşimler ve Bağlantı Elemanları (AISC-97, Bölüm 7) ve Kolonlar (AISC-97, Bölüm 8) ilgili maddeleri aynı şekilde olarak çelik plaka perde duvarlar içinde uygulanır[2].

Bir çelik perde duvar bir moment çerçevesi ile birleştirilip ABD yönetmelikleri tarafından tanımlanan ikili sistem meydana geldiği zaman, "özel" moment çerçeveleri AISC Sismik Maddeleri'nin (AISC, 1997) bölüm 9'daki şartlarını sağlamalıdır. AISC Sismik Maddeleri (AISC, 1997), çelik plaka perde duvarlarına eşit olarak uygulanabilecek Kalite Güvencesi (Quality Assurance) üzerine maddelere sahiptir. Tüm bunlara rağmen çelik plaka perde duvarın tasarım için özel bir bölüme ihtiyaç vardır.

7.3.8. Kanada Yönetmeliği'nde Perde Duvar Tasarımı Üzerine Bilgi:

Kanada'nın Ulusal Yapı Yönetmeliği (CCBFC, 1995) literatürdeki, çelik plaka perde duvarlarının modellenmesi ve tasarımı üzerine maddelere sahip tek yönetmeliktir [2]. Bu yönetmelikteki söz konusu çelik plakalar, ince (narin) ve berkitmesizdir. Kat kesme

kuvvetleri, plaka burkulmasından sonra, üzerinde oluşan diagonal çekme alanları ile karşılanır. Plakanın burkulmadan önceki kapasitesi, ihmal edilir.

Kanada yönetmeliği, çelik plaka perde duvarları üç bölümde inceler. Sünek, Sözde Sünek ve Sıradan. Tablo 7.3'de bu sistemlere ait R değerleri ve bu değerlerin ABD yönemeliklerindeki karşılığı verilmektedir. R parametresi, Kanada yönetmeliklerindeki R_{CAN} Ameikan yönetmeliklerinde ise R_{US} ile gösterilmiştir.

Tablo 7.3 Kanada ve Amerikan yönetmeliklerindeki Çelik Plaka Perde Duvar için, R faktörleri [2]

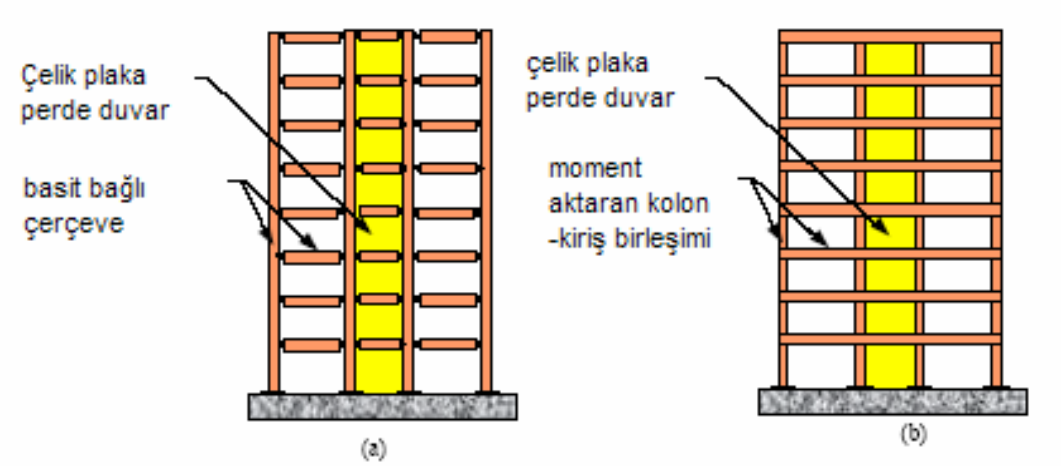
Çelik plaka perde duvarının tipi	Gereksinim	RCAN	RUS
Sünek	Duvarı içeren çerçeve sünek moment çerçevesi	4.0	8.0
Sözde sünek	Duvarı içeren çerçeve sözde sünek moment çerçevesi olmalı (ABD tanımıyla orta seviyede)	3.0	6.0
Sıradan	Özel bir gereksinim yoktur. Sabit bağlantılı çerçeveler olabilir.	2.0	4.0

Kanada Ulusal Yapı yönetmeliği, çelik plaka perde duvar sistemli bir çerçevenin yatay yükleri altındaki davranışını gövde plakası berkitilmiş yüksek gövdeli çelik kirişin düşey yükler altındaki davranışıyla eşdeğer düşünür. Dikey yerleştirilmiş yüksek gövdeli çelik kirişe benzer şekilde çalışan sistemde kenar kolonlar yüksek gövdeli kirişin başlık plakaları, kat kirişleri de yüksek gövdeli kirişin gövdesindeki düşey berkitme elemanları olarak göz önüne alınabilir.

7.4. Çelik Plaka Perde Duvar Sistemi Tipleri

Çelik plaka, çerçeve ya basit veya moment aktaran kirişten kolona bağlantıları olur ve tasarım felsefesine göre panellerin kendileri berkitmeli veya berkitmesiz olabilirler. Şayet kirişten kolona bağlantılar basitse sistem Standart sistem olarak adlandırılır. O zaman çelik perde duvarların sistemdeki yegâne yanal güçlere dirençli eleman olduğu varsayılır. Çerçevelerin bağlantıları moment aktaran ise sistem ikili sistem olarak adlandırılır. Bu durumda özel sünek moment çerçeveleri birincil yanal güce dayanım elemanı olan çelik

plaka duvara ikincil veya yeddüğüm noktasıe sistemleri olarak hareket ederler. Şekil 7.1'de standart ve moment aktaran sisteme ait iki tip görülmektedir.



Şekil 7.1 Çelik plaka perde duvar sistemlerinin iki tipi [2]

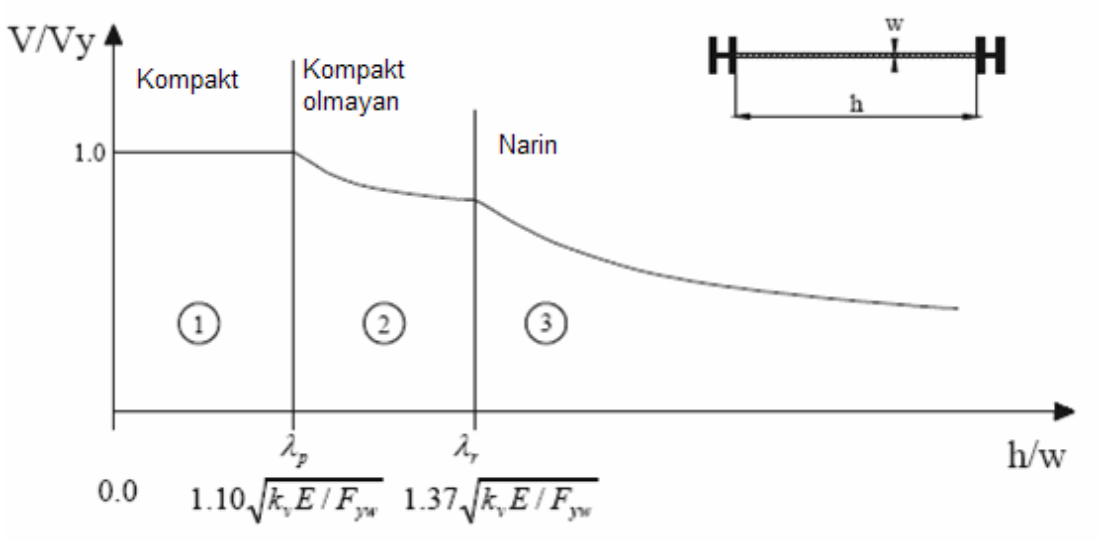
7.5. Çelik Plaka Perde Duvarın Kesme Kuvveti Altındaki Davranışı

Çelik plaka duvarlar iki tip olarak sınıflandırılabilir;

a) Berkitmeli çelik plaka perde duvarlar; plakanın burkulması berkitmeler ile önlenir.

b) Berkitmesiz çelik plaka perde duvarlar; plaka burkulması meydana gelir ve sistem dayanımı, berkitmesiz narin bir plaka seçimi ile plakaların burkulma sonrası gücüne dayalıdır.

Çelik plakanın kalınlığına bağlı olarak, bütün literatürlerde, berkitmesiz çelik plaka perde duvarlar, berkitmesiz kalın çelik plaka duvarlar ve berkitmesiz narin çelik plaka duvarlar olarak sınıflandırılırlar. Ancak, sınıflandırmanın çelik plaka perde duvarların narinlik oranlarına göre yapılması daha anlamlıdır. Narinlik oranlarına göre, çelik plaka perde duvarlar Sıkıştırılmış, Sıkıştırılmamış ve Narin olarak kategorize edilir (Şekil 7.2). Şekil 7.2 AISC Tanımlamalarındaki dolu gövdeli kiriş davranışı ve dizaynı için düzenlenen bilgiye dayalıdır ve Astaneh'e göre (2001) çelik plaka perde duvarlara yaklaşık olarak uygulanabilirdir. Sıkıştırılmış berkitmesiz çelik plaka perde duvarlar berkitmesiz kalın çelik plaka perde duvara denk gelir ve Sıkıştırılmamış ve Narin berkitmesiz çelik plaka perde duvarlar, berkitmesiz narin çelik perde duvarlara denk gelir.



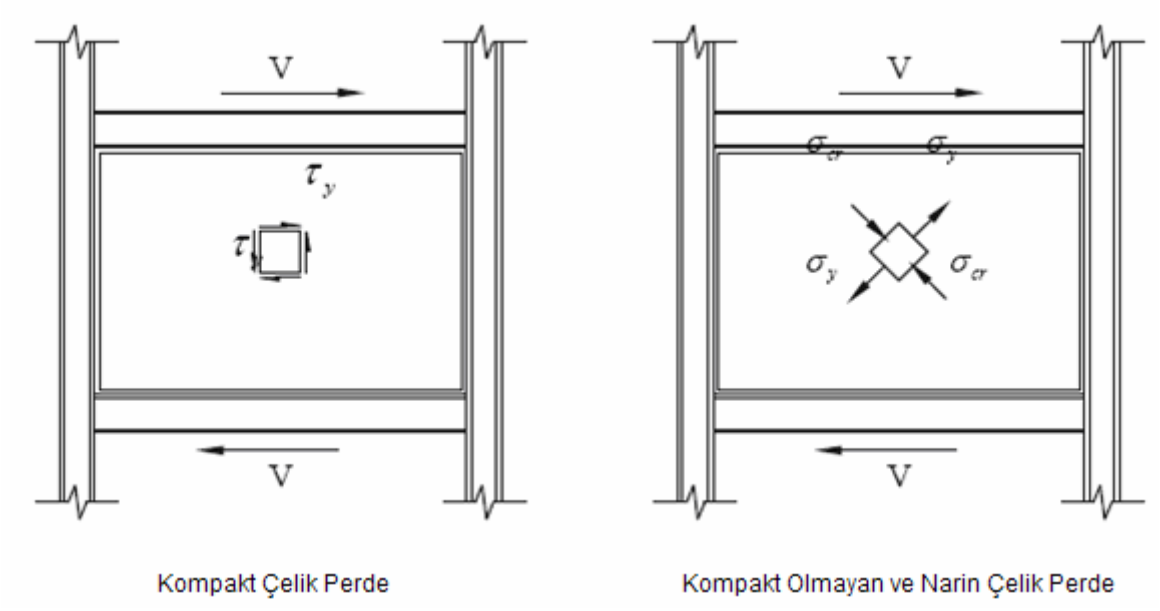
Şekil 7.2 Çelik Plaka Perde Duvarların üç Davranış Sahası [2]

1.Bölge, kesme kuvveti altında, çelik plakada burkulma meydana gelmeden önce kesmeda akma oluşacağı beklenir. Berkitmesiz çelik plaka perde duvarları hem sıkıştırılmış hem de elastik şekilde davranacak ve h/w λ_p'den az olacak şekilde tasarlamak gerekli ve ekonomik olarak uygulanabilir değildir. Ancak berkitmeli perde duvarlar bu koşulu oluşturacak şekilde tasarlanabilirler.

2.Bölge, bu kategoriye giren duvarların, bir miktar kesme akması meydana gelmişken burkulmaları beklenir. Bu durumda, kat kesmesine germe ve sıkıştırma diagonal güçlerinin yatay bileşenleri ile dayanım gösterilir şekil (7.3).

3.Bölge, bu kategorideki perde duvarlar hemen hemen elastik kalırken burkulmaları beklenir.

V=kesme kuvveti, V_y=çelik perde duvarın kesme akma dayanımı, k_v=plaka burkulma katsayısı (AISC, 1999), λ_p=sıkıştırılmış eleman için sınırlayıcı narinlik parametresi (AISC, 1999), F_{yw} = çelik perde duvarın tanımlanmış akma dayanımı ve E=Çeliğin elastisite modülü.



Şekil 7.3 Kesme kuvveti altında çelik perde duvarlar ve gerilme alanı davranışı [2].

Narin bir plaka kullanıldığında, elastik olmayan davranış plakanın akması ile başlar ve sistem kuvveti kolonlarda plastik mafsal formasyonu tarafından yönetilir. Göreceli olarak kalın veya berkitmeli plakalar kullanıldığında kopma modu kolon dengesizliği tarafından yönetilir. Bir kez kopma modu kolon dengesizliği tarafından yönetildiğinde, plakalar kalınlaştırıldığında sistem kuvvetinde sadece göz ardı edilebilir bir artış elde edilir ve kullanılan ilave plaka malzemesi esas itibariyle ziyan olmuştur. Bu da kalın veya berkitmeli plakaların kullanımının sismik direnç için ne gerekli ne arzu edilir olmadığı anlamına gelir.

7.5.1. Çelik Perde Duvar Sistemleri İçin Sismik Tasarım Yöntemi Geliştirilmesi

- Çelik plaka perde duvarları için sismik tasarım yöntemi geliştirilmesinde aşağıdaki adımlar önerilebilir.
- Çelik Plaka Perde duvarın davranışını öğrenmek için kapsamlı bir araştırma yapılır.
- Sisteme ait göçme modları (limit durumları) belirlenir. I
- Sünek ve gevrek göçme durumlarını meydana getireek davranışı iyi sınıflandırmak gerekir.
- Sünek ve gevrek göçme modlarının istenilen sırda olması planlanır. Sünek göçme durumlarının, gevrek göçme durumlarından daha önce olması istenir.

7.5.2. Çelik Plaka Perde Duvarda Ana Göçme Modları

Tipik çelik plaka perde duvar sistemine ait göçme modları:

Çelik plaka duvarın göçme modları:

- Bulonların kayması (sünek).
- Çelik plakanın burkulması (sünek).
- Çelik plakanın akması (sünek).
- Duvar plağının kırılması (gevrek).
- Çelik duvarın sınır kolonları ve kirişlerinin birleşimlerinin kırılması (gevrek).

Sınır kolonlarının göçme modları.

- Sınır kolonlarda plastik mafsal oluşması (sünek).
- Sınır kolonlarının yerel burkulması ($b/t \leq \lambda_p$ ise sünek).
- Sınır kolonlarının tamamen burkulması ($\lambda_c = (KL/\pi r)\sqrt{(F_y/E)} \leq 1.0$ ise sünek).
- Sınır kolonlarında veya ek yerlerinde çekme çatlağı (gevrek).
- Sınır kolonlarının taban plaklarının akması (sünek).
- Taban kolonlarında ankraj bulonlarının veya taban plaklarının kırılması (gevrek).

Kirişlerin göçme modları:

- Kirişlerde kayma akması (sünek).
- Kirişlerde plastik mafsal oluşması (sünek).
- Kirişlerde yerel burkulma ($b/t < \lambda_p$ ise sünek).
- Moment aktaran birleşimlerinin kırılması (gevrek).
- Kirişlerin tamamen veya yatay burulmalı burkulması (gevrek).
- Kirişlerin kesme bağlantılarının kırılması (gevrek).

7.5.3. Göçme Modlarının Hiyerarşik Sırası

Çelik Plaka perde duvarların istenilen performansı sağlaması için, yukarıda anlatılan göçme modlarının belli bir sırada olması istenir. Göçme modlarının sırası için Bölüm 3, Şekil 3.22'ye bakınız.

7.6. Perde Duvarların Kesme, Eğilme ve Kesmeli Eğilme Kapasitelerinin Tespit Edilmesi

7.6.1. Çelik Perde Duvarların Kesme Kapasitesi

Çelik plakaların kesme kapasitesi, yüksek gövdeli çelik kirişlerin kesme kapasitesi hesap yöntemine benzetilebilir. Sistemdeki sınır kolon, kiriş ve bağlantı noktaları, çelik perde duvarın beklenen kesme kapasitesine göre hesaplanacaktır. Bu yüzden tasarım ve boyutlandırmada çelik perde duvarların kapasitesini hesaplamak öncelik taşıyacaktır.
LRFD'de çelik plaka pere duvarların kesme kapasitesi $\phi_v V_n$ şeklinde verrilmiştir. Burada, $\phi v=0.90$'dur. V_n ise aşağıdaki şekilde belirlenir.

Kompakt perde duvarları için $A\frac{h}{t_w} \le 1.10\sqrt{k_v E / F_{yw}}$ olduğu zaman

$$V_n = 0.6 A_w F_{yw} \tag{7.8}$$

Kompakt olmayan narin perde duvarları için $A\frac{h}{t_w} > 1.10\sqrt{k_v E / F_{yw}}$ olduğu zaman

$$V_n = 0.6 A_w F_{yw} \frac{1 - C_v}{1.15\sqrt{1 + (a/h)^2}} \tag{7.9}$$

$$k_v = 5 + \frac{5}{(a/h)^2} \tag{7.10}$$

Eğer a/h, 3'den veya [260/(h/t_w)]2'den büyükse kv'nin değeri 5.0 olarak alınmalıdır.
C_v'nin değeri AISC'de;

$1.10\sqrt{\frac{k_v E}{F_{yw}}} \le \frac{h}{t_w} \le 1.37\sqrt{\frac{k_v E}{F_{yw}}}$ ise;

$$C_v = \frac{1.10\sqrt{k_v E / F_{yw}}}{h / t_w} \tag{7.11}$$

$\frac{h}{t_w} > 1.37\sqrt{\frac{k_v E}{F_{yw}}}$ ise;

$$C_v = \frac{1.51 k_v E}{(h/t_w)^2 F_{yw}} \tag{7.12}$$

Şeklinde hesaplanır. A_w , plakanın $d_w t_w$' ye eşit olan kesme alanına eşittir. Vn ise duvarın minimum kesme kapasitesidir.

Tüm formüller, AISC (1999) tarafından, çelik kirişler için formullerden adapte edilmiştir [2]. Tüm tasarımlarda olduğu gibi burdada, $V \le \phi V_n$ sağlanmalıdır.

Çelik plaka perde duvarın kesme akması ise aşağıdaki gibi verilebilir;

$$V_{ye} = C_{pr} R_y V_n \tag{7.13}$$

7.6.2. Perde Duvarın Eğilme Kapasitesi

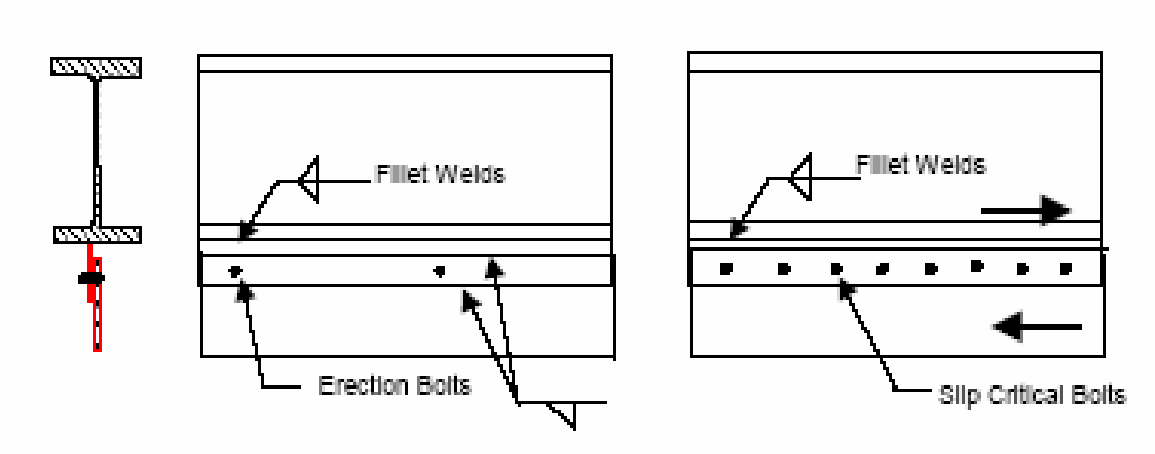
Berkitilmemiş perde duvarlarında, devrilme momentinin büyük bir çoğunluğu sınır kolonları tarafından karşılanır. Berkitilmiş çelik plakalarda ise, bu etki berkitme elemanları ile karşılanır.

7.6.3. Çelik Perde Duvarın Birleşik V-M ve V-M-P Kapasiteleri

Berkitilmemiş çelik plaka perde duvarda, devrilme momenti büyük ölçüde kolonlar tarafından, kesme kuvveti, plaka üzerinde oluşan çekme alanları tarafından karşılandığı için kesme, normal kuvvet ve momentin fazla bir etkileşimi yoktur.

7.6.4. Çelik Perde Duvar Plaklarının Sınır Kiriş ve Kolonlara Birleşimlerinin Tasarımı

Şekil 7.4'de çelik plaka perdelerin sınır kiriş ve kolonlara uygulanabilecek iki adet birleşim şekli vardır. Bu birleşimlerden beklenen, bu bağlantı ve bağlantı elemanlarının bir önceki bölümde $V_{ye} = C_{pr} R_y V_n$ formülüyle verilen, çelik plaka perde duvarın kesme akması kapasitesinden daha yüksek bir kapasiteye sahip olmasıdır.



Şekil 7.4 Çelik plaka perde duvarının sınır kiriş ve kolonlarına birleşimleri[2].

7.6.5. Plakanın Boyutlandırılması için Sayısal Örnek

Yapılan elastik analiz sonucunda en alt katta bulunan plakaya gelen kesme kuvveti;

V= 50 t olarak hesaplansın.

$V \le \phi V_n$

Plakanın ekonomik olması açısından kompakt olmayan plaka şeklinde tasarlanacaktır.

Seçilen plaka kalınlığı t_w=5mm

a=3,7m (kat yüksekliği)

h=6-0,36=5,64m (net açıklık)

$V = 50t \le \phi V_n = 0,9x441,34 = 397,21t$ h/t_w=1128

a/h=0,66

$$k_v = 5 + \frac{5}{(a/h)^2}$$

Eğer a/h, 3'den veya $[260/(h/t_w)]^2$'den büyükse k_v'nin değeri 5.0 olarak alınır.

a/h=0,66>0,008 $\Rightarrow$ k_v=5 alınacak.

$h/t_w = 1128 > 59,4$ kompakt olmayan

$$V_n = 0.6 A_w F_{yw} \frac{1 - C_v}{1.15\sqrt{1 + (a/h)^2}}$$

$$1.10\sqrt{\frac{k_v E}{F_{yw}}} \le \frac{h}{t_w} \le 1.37\sqrt{\frac{k_v E}{F_{yw}}}$$ için;

$$C_v = \frac{1.10\sqrt{k_v E / F_{yw}}}{h/t_w}$$

$h/t_w = 1128 > 1,37\sqrt{\frac{k_v E}{F_{yw}}} = 190,64$ için:

$$C_v = \frac{1.51 k_v E}{(h/t_w)^2 F_{yw}} = 0,003461$$

$$V_n = 0.6 A_w F_{yw} \frac{1 - C_v}{1.15\sqrt{1 + (a/h)^2}} = 441,034 \text{ t}$$

$V \le \phi V_n$

$V \le \phi V_n = 0,9x441,34 = 397,21$ t

$V = 50 \le \phi V_n = 0,9x441,34 = 397,21$ t seçilen plaka uygundur.

8. PARAMETRİK ÇALIŞMA

8.1. Giriş

Bölüm 2, denklem 2.3 veya Kanada Çelik Dizayn Standardı (CAN/CSA SI6-01) [3]. 3.1'de tanımlandığı şekliyle, dolgu plaka içinde oluşan gerilim alanında eğim açısı değeri α, dolgu plakanın kalınlığına, sınır elemanlarının çapraz kesitsel özelliklerine ve her panelin yükseklik ve enine bağlıdır. Bir binanın açıklık ebadı ve kat yüksekliği normalde dizayn yapılırken erken tespit edilse de, sınır elemanlarına veya dolgu plakaya yapılacak değişiklikler çelik plaka perde duvarın tasarımı sırasında da gözlenir. Sonuç olarak, α'nın değeri değişir, böylelikle şerit modelinin yeniden oluşturulmasını gerektirir. Özelikle bir geniş flanş bölümünün mevcut bulunmaması veya plaka kalınlığı ve mimari değişiklikler şerit modelinde değişiklik gerektirebilir. Böylelikle, çelik plaka perde duvarların dizaynı hayli tekrarlanan ve vakit tüketen bir süreç olabilir. Dizayn mühendisi için kolonlar, kirişler veya dolgu plakalar değişik boyutlarda olsa da bütün dizayn sürecinde tek bir α değeri varsaymak daha kolay olur.

Bu bölüm α'nın değerinin değişmesinin modifiye edilen şerit modelinin öngördüğü gibi çelik plaka perde duvarların elastik olmayan davranışı üzerindeki etkisini araştırır. Bu bölümde tanımlanan parametrik çalışma α'nın değerini anlamlı biçimde değiştirmenin orijinal şerit modeli ile temsil edilen dört katlı tek açıklıklı numunenin öngörülen pushover eğrisi üzerinde pek bir etkisi olmadığına dair Driver ve çalışma arkadaşları (1998)'in bulgularından kaynaklanmaktadır. Modifiye edilen şerit modeli bir, dört ve onbeş katlı tek açıklıklı yarı-rijit veya mafsallanmış kiriş kolon bağlantıları olan çelik plaka perde duvarlara uygulandı. Bazı boyutsal olmayan parametreler, Bölüm 8.3'te belirtildiği gibi çalışma için seçilmiş ve modellere yerleştirilmiştir.

8.2. Dizayn Kriteri

Modellenen çelik plaka perde duvarların dizayn ve analizi için sismik yükler, 2005 Kanada Ulusal İnşaat Kanununda (NBCC 2005) sismik yük kriterlerinde tarif edildiği şekilde eşdeğer statik güç prosedürü kullanılarak belirlenmiştir. Her çelik plaka perde

duvar, bir süneklik modifikasyon faktörü, R_d, 5.0 ve bir aşırı güç modifikasyon faktörü R_o,1.6 lık değerlerin atanmasının sonucunda "sünek çerçeve plaka perde duvar" olarak dizayn edilmiştir. Aynı zamanda, her model, Vancouver, British Columbia, Kanada'da bulunan normal önemdeki bir düzenli biçimli ve simetrik ofis binasındaki her iki çelik plaka perde duvardan birisi olarak varsayıldı. Her çelik plaka perde duvarın, dizayn sismik yüklerinin yarısına direndiği varsayılmıştır ve burkulma etkilerinin çaprazlama elemanlar tarafından taşındığı varsayılmıştır. Her binanın 2000 m^2 lik bir zemin ve çatı içerdikleri ve kaya üzerine inşa edilmiş bir temeli olduğu varsayılmıştır. (B Sınıfı Şantiye).

Her katta kolonlara nokta yük olarak uygulanan düşey yükler, hareketsiz, hareketli ve kar yüklerinden oluşmaktaydı. Hareketsiz yükler Tablo A.1 de listelenen varsayılan yüklere dayalı olarak belirlenmişti. Kar yükleri NBCC 2005 deki kriterler bazında hesaplanmıştır. Sadelik için, binanın parapetleri olmayan düz çatısı olduğu, rüzgâr yükünün kar yükünü azaltmayacak şekilde olduğu ve birikmelerin meydana gelmediği varsayıldı. Bütün katlardaki hareketli yük 2.4 kPa (NBCC 2005) olarak alınmıştı. Yük kombinasyonu, NBCC 2005 tarafından tanımlandığı şekilde, aşağıdaki gibidir:

$$1.0D + 0.5LL + 0.255 + 1.0EQ \qquad (8.1)$$

D 'nin hareketsiz yük, LL nin hareketli yük olduğunda, S kar yüküdür ve EQ sismik (deprem) yüküdür (denklemdeki notasyon bu raporda başka yerlerde kullanılan sembollerle mükerrerlikten sakınmak için NBCC de kullanılandan hafifçe farklıdır). Her kolon için yardımcı alan modellenen çelik plaka perde duvarın kolonlarının merkezden merkeze mesafesinin altı metre katı olduğu varsayılmıştır. Hareketli yük indirgeme faktörleri her katta dizayn yükünü belirlemek için kullanılmamıştır.

Her parametrik çalışma modeli için çelik plaka perde duvar öğeleri dizaynı CAN/CSA SI6-01 gereklerine dayandırılmıştır. Dolgu plaka birincil enerji dağıtıcı öğe olduğundan, R_y muhtemel akma gerilmesini öngörmek için F_{yPL} ye uygulanan bir faktör ise, sınır elemanları, standardın gerektirdiği şekilde, 385 MPa'lık muhtemel dolgu plaka akma gerilmesi ($R_y \times F_{yPL}$) için dizayn edilmişlerdir. 3.0 mm'lik bir dolgu plaka kalınlığı kullanım ve kaynak uygulamalarına dayanarak minimum pratik kalınlık olarak varsayılmıştı. Kirişler ve kolonların minimum nominal akma gerilmesi 350 MPa olarak ve bütün çelik elemanların 200.000 MPa'lık elastisite modülüne sahip olduğu varsayılmıştı. Bütün sınır elemanları Sınıf 1 kesitler olarak seçilmişlerdi. Kapasite dizaynı bütün modellerde kullanılmıştı ve böylelikle, sünek davranışı sağlamak için,

kolonlardaki sismik yükler çelik plaka perde duvar V_{re}, tabanında eşdeğer statik güç yönteminde tanımlandığı şekliyle dikkate alınan yanal sismik taban gücüne muhtemel kesme dayanımı rasyosu olarak tanımlanan bir kuvvetlendirme faktörü, B, kadar artırılmıştı. CAN/CSA SI6-01 B'nin maksimum değerinin R_d olacağını ifade eder (5.0 çelik plaka perde duvarlar için). V_{re} aşağıdaki şekilde tanımlanır:

$$V_{re}=0.5R_yF_{yPL}tLsin2a\alpha \qquad (8.2)$$

Plakadaki ve kolon kesitlerindeki bağlama ile temsil edilen güçleri belirlemek için eşdeğer bağlama yöntemini kullanarak bir ön dizayn bütün parametrik çalışma modellerinde gerçekleştirilmişti (Thorburn ve çalışma arkadaşları 1983). Etkin uzunluk faktörleri kolonların ön dizaynı için 1.0 olarak varsayılmışlardı. Modifiye şerit modelini kullanan ikinci derece elastik analiz ile elde edilen istenen dizayn kuvvetleri istenen kolon çapraz kesitini belirlemek için CAN/CSA SI6-01 kiriş kolon etkileşim denklemlerine katılırlar. Bu son kolon dizayn kontrolü için, kolonların tabanları sabitlendiği için kolonların etkin uzunluk faktörleri muhafazakar şekilde 0.7 olarak varsayılmıştır. Kompresyon desteği eksenel kuvveti ikinci derece elastik analizinde sınır kuvvet değeri altından olmasını sağlamak için kontrol edilir. Şayet öyle değilse, bu destek kaldırılır ve F_{yPL} dolgu plaka akma gerilmesi olduğunda ve A_{cs} desteğin kesitsel alanı olduğunda, $0.08F_{yPL}A_{cs}$ destek yönünde "payandalayıcı" bir kuvvet desteğin kaldırıldığı panel köşelerinde uygulanır

Üst kiriş, kesit üzerinde etki eden yer çekimi çatı yükleri boyunca bir tam gerilim alanı formasyonu varsayılarak dizayn edilmişti. Kat kesmesini taşıması için ihtiyaç duyulan kalınlıktan her zaman daha büyük olan seçili asgari plaka kalınlığı nedeniyle, daha geniş çelik plaka perde duvarlar için üst kirişler çok ağırdı. Bütün durumlarda, daha derin kaynaklanmış kesitler daha hafif olabilecekse de standard haddelenmiş W biçimli bir kesit seçildi. Ara kirişler kesitin her iki yanındaki germe alanı kuvvetleri bir birlerini dengelemeye eğilimli olduklarından dikkate alınan hareketsiz ve hareketli yükler kullanılarak seçildiler. Bunun üzerine kirişler ikinci derece elastik analizden elde edilen kuvvetler altında kontrol edildiler ve uygun bulundular. Üst ve ara kirişler için iğnelenmiş uç koşulları muhafazakâr biçimde varsayıldılar. Parametrik çalışma süresince ara kiriş çapraz kesitini istikrarlı olarak tutmak için, bir W410x100 kesiti her çoklu kat modeli için seçilmişti.

8.3. Parametreler

Behbahanifard ve çalışma arkadşları (2003) çelik plaka perde duvarın öngörülen boyutsuz elastik olmayan pushover eğrisini etkileme potansiyeli olan sekiz adet bağımsız ölçek ve boyutsuz parametreyi seçti. Parametrelerin sadece üçünün, çerçeve oranı, kolon elastikliği ve normalize yerçekimi gücü, davranış üzerinde anlamlı etkisi olduğu ve değiştirilmiş şerit modelinin parametrik incelemesi ile ilgili olduğu bulundu. Dizayn sürecinde, normalize düşey yük parametresinin çok değişmediği fark edildi (0.01 ile 0.03 arasında). Böylelikle, makul ölçüde basit dizayn süreci muhafaza etmek için, normalize çekim yükü parametresi çalışmada dikkate alınmamıştı. Dolayısıyla, α'nın değişen değerinin çizgisel olmayan davranışının farklı çerçeve oranı ve kolon elastiklikleri üzerinde etkileri bu parametrik çalışmada araştırıldılar. L, (çelik plaka perde duvar ile kolon orta hattı arasına mesafe) uzunluğunu değiştirerek ve kat yüksekliği h'yi, değişmez tutarak çerçeve oranı değiştirilmişti. Kolon elastiklik parametresi, farklı kolon çapraz kesitleri kullanılıp dolgu plaka kalınlığı ve çerçeve oranı değişmez tutularak değiştirilmişti. CAN/CSA SI6-01 kolon elastiklik parametresi w_h'yi aşağıdaki şekilde tanımlar:

$$w_h = 0.7\sqrt[4]{\frac{h^4 t}{2LI_c}} \tag{8.3}$$

t dolgu plaka kalınlığı, I_c kolon moment ataletidir, ve diğer parametreler Şekil A.13 'de belirlediği şekildedirler.

Farklı rijit veya mafsallı kiriş kolon bağlantı tiplerinin modifiye şerit modeli ile öngörülen çizgisel olmayan tepki üzerindeki etkisi de incelendi. Kirişten kolona iğnelenmiş modeller için, kiriş elemanlarında bükülgen plastik mafsaller veya panel düğümleri bulunmamaktaydı ve güçlü eksen momenti her kirişin ucunda boşaltılmıştı.

Dönme yapan mafsallar ve panel düğüm noktaları kolonlar üzerinde ara seviyelerde kaldılar, fakat en üstte kaldırılmıştı. Her basınç desteği için eksenel mafsal Bölüm 6'da Timler ve Kulak numunesinde (mafsallı kiriş kolon bağlantıları ile) geliştirilmiş olan gibiydi.

Şekil A.13 her parametrik çalışma modeli için L 'nin her kolonun orta hatları arasındaki mesafe ve h 'nın katlar arası yükseklik veya birbirini izleyen her kirişin orta hatları arasındaki mesafe olduğu ilk katın tipik geometrik düzenlemesini gösterir. İlk kademe için, h modelin tabanından ilk kat kirişi orta hattına yüksekliktir. Eşdeğer statik kuvvet

prosedürü uygulamak için, bina 60 m yükseklikten az ve 2 saniyeden az temel dönem ile düzenli bir yapı olmalıdır (NBCC 2005). Değişmez değer olarak h = 3800 mm seçerek, yapı azami onbeş kata sahip olabilir. Dolayısıyla, bir ve dört katlı çelik plaka perde duvarlarla birlikte onbeş katlı yapılar parametrik çalışmada incelenmişlerdir. Bütün parametrik çalışma modellerinin sabit kolon tabanları vardır.

Her parametrik çalışma modeli için bir pushover analizi gerçekleştirilmiştir. Yerçekimi kuvvetleri önce 8.1 denklemine göre tam değerlerine uygulanmış bunu deplasman kontrolü kullanarak sismik yüklerin uygulanması izlemiştir. Parametrik çalışmadaki tüm modeller için, ilk kat kirişi üzerindeki "korunaklı" kolondaki düğüm yanal sehim için izlenmiştir. İlk kat, katlar arası sehimlerin ve kesmeların bu yükleme koşulları altında en yüksek olduğu yerdir.

8.4. Tek Katlı Modeller

8.4.1. Model Düzenleme ve Dizayn

Tablo A.2 tek katlı modeller için parametreler ve dizayn edilmiş öğeleri listeler. Benzer parametreleri olan modellerin karşılaştırmasını kolaylaştırmak için, modeller dört grup halinde düzenlenmiştir. Grup 1-A w_h değerlerini CAN/CSA SI6-01 tarafından maksimum izin verilen 2.5'te değişmez tutar, çerçeve oranı ise dört değer arasında değişmektedir: 0.75, 1.0, 1.5, ve 2.0. Grup 1-B için, çerçeve oranının 1.5 değişmez değeri vardır oysa ki kolon kesitleri CAN/CSA SI6-01 limit (w_h = 2.5) 'de kolon elastikliğini aynı zamanda, rahatlık için burada "rijit" ve "elastik" olarak atıfta bulunulan limit altında ve üstünde kolon elastikliklerini yansıtacak şekilde değiştirilmektedir. Her iki önceki grup rijit kiriş kolon bağlantısı kullandılar. 1-C ve 1-D Grupları, 1-A ve 1-B gruplarına sırasıyla benzerdir, iğnelenmiş kiriş kolon bağlantıları kullanılması haricinde. 1-A ve 1-B gruplarının bir parçası olan bazı parametreler 1-C ve 1-D Gruplarına dâhil edilmemişlerdir zira 1-A ve 1-B Gruplarına dahil olan benzer görüntüler daha az model kullanılarak fark edilebilir.

Her parametre dizisi için, CAN/CSA S16-01 (38° ve 50°) tarafından verilen limitlerde α değeri ile iki model analiz edilmişlerdir. Karşılaştırma amacıyla her model için α'nın öngörülen değeri CAN/CSA S16-01 (Denklem 3.3) kullanılarak belirlenmiştir ve Tablo A.2 de gösterilmiştir. Tek katlı modeller için Denklem 3.4 daha uygun görülmekte olsa da, Denklem 3.4'ün bazı modeller için hemen hemen yatay bir gerilim alanı yarattığı bulunmuştur. Dolayısıyla, her model için α değerinin daha iyi öngörüsü sağlamak için

Behbahanifard ve çalışma arkadaşları (2003) tarafından sunulan kabuk elementleri kullanılarak sonlu elemanın hafifçe değiştirilmiş şekli ile dominant α değer verecek şekilde her modele uygulanmıştır. Hesaplanan α değerlerinin hepsi 38° ile 50° erimi arasında olduğundan, tek katlı parametrik çalışmaya ilave modeller dâhil edilmemişlerdir.

Eşdeğer statik kuvvet prosedürü kullanılarak (NBCC 2005), her tek katlı model için tasarım taban kesmesı 119 kN' dır. Tasarım kuvvetlerine direnecek minimum dolgu plaka kalınlığı varsayılan 3.0 mm minimum pratik plaka kalınlığından dikkate değer şekilde daha düşüktür. Bu nedenle, B 'nin değeri bütün tek katlı modeller için CAN/CSA SI6-01'nın gerektirdiği maksimum değer olan R_d = 5.0 dir. Dizayn güçlerinin değerleri modeller için Tablo A.2 de listelenenlerden daha hafif kolon kesitlerinin kullanılabileceğini önerseler bile, CAN/CSA S16-01 ($w_h \leq 2.5$) kolon elastiklik gereği daha sağlam yapılı kesitlerin kullanımını talep eder. Dizayn momentleri ve kolonlarda eksenel kuvvetler eşdeğer statik metodu (NBCC 2005) 'den ve güçlendirilmiş kapasite dizayn faktörü B belirlenen sismik yüklerle değiştirilmiş şerit modelini kullanan ikinci sınıf elastikiyet analizlerinden elde edilmiştir. Bu analizlerden, Tablo A.4'te listelendiği şekliyle bütün tek katlı modellerin CAN/CSA S16-01 kiriş kolon etkileşim gereklerini rahatlıkla karşıladığı görülmüştür.

8.4.2. Analiz ve Sonuçlar

Pushover eğrileri tek katlı modellerden elde edilmişlerdi ve kendi ilgili gruplarında düzenlenmişlerdi. Şekil A.14 rijit kiriş- kolon bağlantıları ile tek katlı modeller için tepki eğrilerini, CAN/CSA SI6-01 limitinde kolon elastikliklerini ve muhtelif çerçeve oranlarını gösterir (Grup 1-A). Her dizi çerçeve oranı için, her modelin (α=38° ve 50°) güçleri hemen hemen aynıdır. 1.0 olan panel çerçeve oranı için, α=38° ve 50° için başlangıç rijitlikleri de hemen hemen aynıdır (%2 fark). Bütün parametrik çalışma modelleri için, başlangıç rijitliği başlangıç akmasına en yakın noktadan itibaren ve orijin referans noktası olarak hesaplanmıştı. Çerçeve oranı arttıkça, α=38° ile öngörülen modellerin öngörülen başlangıç rijitliği bir şekilde α=50° olanlardan daha düşük hale gelir. Şekil A.15 rijit kiriş kolon bağlantısı, çerçeve oranı 1,5 ve muhtelif kolon elastiklikleri olan modeller için pushover eğrilerini gösterir (Grup 1-B). Bütün durumlarda, α=38° ile olan modeller α=50° (10 ve % 15 fark arasında) olanlara göre başlangıç rijitliğinin daha muhafazakâr bir öngörüsünü sağladılar ve öngörülen istenen kuvvetler birbirleriyle iyi bir mutabakat içindedirler. Tablo A.3 tek katlı parametrik çalışma modelleri için öngörülen istenen kuvvet değerlerinin karşılaştırmasını gösterir.

Kolon elastiklik dizaynı kriterini ihlal eden 1-B model istisna olmak üzere, kiriş kolon bağlantılı 38° rijit modeller her zaman 50° modellere nazaran hafifçe düşük kuvvetler öngördüler. Şekil A.16 mafsallı kiriş kolon bağlantılı w_h=2.5, ve muhtelif çerçeve oranlı modeller için tepki eğrilerini gösterir (Grup 1-C), diğer yandan Şekil A.17 mafsallı kiriş kolon bağlantılı, 1.5 çerçeve oranlı ve iki farklı kolon elastikliği olan modeller için tepki eğrilerini gösterir (Grup 1-D). Pushover 1-C ve 1-D Gruplarından ortaya çıkan sonuçlar sırasıyla Grup 1-A ve 1-B ninkilere benzerdir. Tablo A.3'de gösterildiği gibi, mafsallı kiriş kolon bağlantılı tek katlı çelik plaka perde duvarlar için, bazı durumlarda 38° modeli daha düşük dayanımı gösterdi. bazı başkalarında da 50° modeli, bütün durumlarda sonuçlar benzer olsa bile, Tablo A.3 ve Şekiller 8.2 ile 8.5 α'nın değerinin farklı geometrik düzenlemelerde, kolon elastikliklerinde ve kiriş kolon bağlantı tiplerinde olan tek katlı çelik perde duvarların öngörülen değiştirilmiş şerit model elastik olmayan tepkisini çok etkilemediğini gösterir. Özellikle, bu modeller için istenen kuvvetin öngörülmesi germe şeritlerinin eğim açısına göreceli olarak duyarsızdır. Herhangi bir tek katlı çelik plaka perde duvar için tek α=40° değeri tanımlanması makul olabilirdi, duvar orantıları dikkate alınan terimlerin yakınında veya içinde oldukları sürece bu da genelde muhafazakâr pushover eğrileri ile sonuçlanırdı. Hem başlangıç rijitliği bakımından ve istenen güç açısında, bütün çelik plaka perde duvarların kapasitelerinin (NBCC 2005) eşdeğer statik kuvvet prosedürü ile tamamlandığı şekliyle dizayn taban kesmesini önemli miktarda aştığının not edilmesi gerekir. Bu seçilen asgari uygulamalı plaka kalınlığının teorik olarak gerekli olandan anlamlı biçimde daha fazla olduğu olgusunu yansıtır, bu da sırasıyla kolon elastiklik limitini (CAN/CSA SI6-01) karşılamak için gereken kolon boyutlarını ve kapasite dizayn faktörü B ile artan talebi artırır.

8.5. Dört Katlı Modeller

8.5.1. Model Düzenleme ve Dizayn

Tablo A.4 dört katlı modeller için, parametreleri ve tasarlanmış öğeleri tek katlı modellere benzer şekilde gruplandırılmış olarak listeler. Her dizi parametre için, bir model sadece-germe şeritleri 38° 'ye yönlendirilmiş olarak analiz edilirken bir başka model 50°'ye yönlendirilmiş olarak analiz edilir. Karşılaştırma maksadıyla, her düzey için CAN/CSA SI6-01 denklemini kullanarak (Denklem 2.3) hesaplanan α' nın ortalama değerleri

Tablo8.4'te gösterilmiştir. Hesaplanan α değerleri 38° ve 50° olduğuna göre, bu değerleri kullanarak ilave modeller yaratılmamışlardır.

Eşdeğer statik kuvvet prosedürünü kullanarak (NBCC 2005), her dört katlı model için dizayn taban kesme kuvveti 1142 kN dır. Her model için seçilen kolon çapraz kesiti ve dolgu plaka kalınlığı her kat için aynıdır. Tek katlı modellerde söz konusu olduğu gibi, 3.0 mm varsayılan asgari plaka kalınlığı bütün dört katlı modeller için yeterlidir. Ancak, 3.0 mm ve gerekli olan asgari dolgu plaka kalınlığı arasındaki fark, dizayn kuvvetlerince belirlendiği şekliyle, tek kat modelleri için olandan azdır. Böylece, B'nin değerleri Tablo A.4'te belirtildiği şekliyle CAN/CSA SI6-01 tarafından belirtilen maksimum değerden azdır .Böylelikle, Tablo A.4'te listelendiği şekliyle B'nin değerleri CAN/CSA SI6-01'da belirtilen maksimum değerden azdır.

1.5 ve 2.0 çerçeve oranı olan modellerin örneğinde, tek katlı modeller için kullanılan w_h değerler gerçekçi olmayan kalınlıkta dolgu plakalar olmaksızın kullanılamıyordu. (Bunun nedeni CAN/CSA SI6-01 tarafından belirlenen limite eşit COH DEĞERI elde etmek için seçilen kolon kesitinin dizayn kapasitesi gereklerini karşılamamasıdır. Plaka kalınlığını artırmak aynı zamanda B parametresinin maksimum değerine ulaşılıncaya kadar kolonlardaki dizayn kuvvetlerini artırır ve ancak o zaman kolon elastiklik sınırı ve kapasite gerekleri aynı anda karşılanabilirdi.) Dolayısıyla dolgu plakayı varsayılan asgari 3.0 mm pratik kalınlığında tutmak, çerçeve oranı 1.5 ve 2.0 olan modeller için kolon kesitleri w_h nın dizayn kolon kuvvetlerinin imkan vereceği kadar 2.5'a yakın tasarlanmıştı. Bu kısıtlamadan dolayı, elastik kolon için makul bir dizayn elde edilemezdi ve böylelikle dört katlı parametrik çalışma dışında bırakıldı. Kolonların momentleri ve eksenel kuvvetleri eşdeğer statik yöntem (NBCC 2005) 'den belirlenen sismik yüklerle değiştirilmiş şerit modeli kullanan ikinci sınıf elastik analiz kullanılarak elde edilirler ve kapasite dizayn faktörü B ile kuvvetlendirilir. Bu analizden, bütün dört katlı modeller için, Tablo A.4 'te listelendiği şekliyle kolonların CAN/CSA SI6-01 kiriş kolon etkileşim gereklerini karşıladığı görülmüştü.

8.5.2. Analiz ve Sonuçlar

Pushover eğrileri dört katlı modellerden elde edilmiştir ve kendi ilgili gruplarında düzenlenmişlerdir. Mafsallı kiriş kolon bağlantılı modellerde (4-C ve 4-D Gruplar), sadece gerilim şeridinin sıfır basınç bölümüne ve ayrışma eksenel mafsallarına hafif bir eğim (0.0001:1) verilmesinin yakınsaklık için gerekli olduğu not edilmelidir. Bunun etkisinin göz ardı edilebilir olduğu belirlenmiş olsa da, 0.75 çerçeve oranı ve mafsallı

kirişten kolona bağlantı olan modelde yakınsaklık elde edilemez olduğu fark edildi. Böylece, bu modelin pushover sonuçları sunulamazdı. Şekil A.18 rijit kolon kiriş bağlantılı, kolon elastiklikleri asgari pratik dolgu plaka kalınlığını muhafaza ederek CAN/CSA SI6-01 limitinde veya ona mümkün olduğu kadar yakın ve muhtelif çerçeve oranında dört katlı modeller için pushover eğrilerini gösterir (Grup 4-A). Her çerçeve oranı için, iki model için (α = 38° ve 50°) eğrilerde istenen kuvvete kadar (başlangıç rijitliğinde 2 ile % 10 arasında fark) iki model için eğriler arasında az fark olduğu görülebilir. Şekil A.19 rijit kiriş kolon bağlantısı olan dört kat modelleri için, 1.5 çerçeve oranı ve iki farklı kolon elastikliği için pushover eğrilerini gösterir (Grup 4-B). Her kolon elastikliği için, iki modelin (α = 38° ve 50°) ilk rijitlikleri % 0 ve %3 arasında değişerek hemen hemen aynıdır. Aynı zamanda, 38° modeli tarafından öngörülen istenen kuvvet 50° modeli ile iyi uyuşuyordu veya 50° modelinden hafifçe daha düşüktü.

Şekil A.20 iğnelenmiş kiriş kolon bağlantısı olan, kolon elastiklikleri mümkün olduğu kadar w_h=2.5'a yakın olan ve muhtelif çerçeve oranında dört katlı modeller için tepki eğrilerini gösterir (Grup 4-C), diğer yandan Şekil A.21 iğnelenmiş kiriş kolon bağlantısı olan, 1.5 çerçeve oranında ve iki farklı kolon elastiklik için dört katlı modellerde pushover eğrilerini gösterir (Grup 4-D). 4-C ve 4-D Gruplarından pushover sonuçları, sırasıyla 4-A ve 4-B Gruplarınınkilere benzerdir, istisna olarak Grup 4-C 'deki çerçeve oranı 2.0 olan modellerde eğriler eğrinin zirvesinin biraz yakınında birbirinden uzaklaşmaya eğilimlidirler. Bu son durumda, ancak, α=38° için istenen kuvvetin öngörüsü α=50° için olandan gene daha düşüktür. Tablo A.5 dört katlı parametrik çalışma modelleri için öngörülen istenen kuvvet değerlerinin karşılaştırmalarını gösterir. Gerilim alanının eğim açısının iki ucunu kullanan öngörülen perde duvar kapasiteleri bütün durumlarda birbirine yakındır, tek istisna ile α=38° açısı daha düşük bir değere yöneltir. Tablo A.5 ve Şekiller A.18 ila Şekil A.19 α'nın değerinin farklı geometrik düzenlemelerde, kolon elastikliklerinde ve kiriş kolon bağlantı tiplerinde olan değiştirilmiş şerit model dört katlı çelik perde duvarların öngörülen elastik olmayan tepkisini çok etkilemediğini gösterir. Bir katlı modellerde olduğu gibi, herhangi bir dört katlı çelik plaka perde duvar için tek α=40° değeri tanımlanması makul olabilirdi, buda genelde değişmez pushover eğrileri ile sonuçlanırdı. Bütün dört katlı çelik plaka perde duvarların kapasitelerinin (NBCC 2005) eşdeğer statik kuvvet prosedürü ile belirlendiği şekliyle dizayn taban kesmesini önemli miktarda aştığının not edilmesi

gerekir, kapasite dizayn faktörü B'nin daha düşük değeri nedeniyle bir katlı modellerdeki kadar olmasa da.

Her dört katlı modelin ilk kat kolonları için momentler ve eksenel kuvvetler ilgili tepki eğrisinin zirve kademesindeki pushover analizinden çıkartılmışladır. CAN/CSA SI6-01 'nın etkileşim denklemleri birleşik basınca maruz kaldıklarını ve her model için eğilme moment kuvvetlerinin yaklaşık %30 kadar elverişsiz olacağını öngörür. Birleşik gerilim ve eğilme moment kuvvetlerine maruz kalan kolonlar için bazı durumlarda etkileşim denklemlerin bir kuvvet eksikliği öngörse de kolon kesitlerinin çoğunun uygun olduğu bulunmuştur. Bu sonuçlar kolon kapasite limitinden kaynaklanan genel sistem gücü ve iletkenliği açısından pushover eğrilerinin doğru olamayabileceğini ima eder görünmektedir. Mukayese için, Driver ve çalışma arkadaşları.(1998A) numunesinin modifiye şerit modelinden toplam kapasitenin zirvesinde ilk kat kolon kuvvetleri de çıkartıldılar. Numune için nominal akma kuvveti ve elastiklik modülünü kullanarak, numunenin ilk kat kolonu basınç-moment etkileşiminde yaklaşık %45 ve germe momenti etkileşiminde yaklaşık %35 yetersiz bulunmuştu (ölçülen maddi özellikler kullanıldığında kuvvetsizlik yaklaşık sırasıyla %40 ve %30 'dur). Ancak, numunenin kopması numunenin maksimum gücüne erişilmeden çok sonrasına kadar meydana gelmedi. Bu CAN/CSA SI6-01'nın kiriş kolon etkileşim denklemlerinin modifiye şerit modelinden çerçeve kuvvetleri kullanıldığında değişmez sonuçlar verdiğini düşündürür.

8.6. Onbeş Katlı Modeller

8.6.1. Model Düzenlemesi ve Dizayn

Tablo A.6 onbeş katlı modeller için parametreleri ve tasarım elemanlarını listeler. Her parametre dizisi için, bir model sadece-germe şeritleri 38°'ye yöneltilmiş olarak ve bir başkasında şeritler 50°'ye yöneltilmiş olarak analiz edildi. Mukayese için, her düzey için CAN/CSA SI6-01 denklemini kullanarak (Denklem 2.3) hesaplanan α'nın ortalama değerleri de Tablo A.6'da da gösterilmiştir. Onbeş katlı durum için, sadece rijit kiriş kolon bağlantısı olan çelik plaka perde duvarlar analiz edilmişlerdir.

Eşdeğer statik kuvvet prosedürü kullanarak (NBCC 2005), her onbeş katlı model için dizayn tabanı kesmesı 1800 kN'dir. Bu modellerin tasarımı için, daha yüksek titreşim modlarını hesaba katmak için NBCC 2005 tarafından izin verildiği şekilde devrilme momentinde bir azaltım uygulanır. Ancak, bu azaltım modellerin pushover analizlerinde mevcut değildir. Her çelik plaka perde duvarın dizaynı için bir kesitin üç katlı kolon

asansörleri varsayılmıştır. 3.0mm'lik asgari dolgu uygulama plaka kalınlığının bütün katlarda taban kesmesına direnmek için uygun olduğu görülmüştür Çerçeve oranı 0.75 olan modelin örneğinde kolon için kapasite dizaynı faktörü B'nin 0.9 olduğu belirlenmiştir. B çelik çerçevenin değil sadece dolgu plakanın katkısını dikkate aldığından, birden az bir değer mümkündür. Yüksek kolon yükleri nedeniyle, en düşük kolon çapraz kesitleri $w_h = 2.5$ olarak seçili dolgu plaka kalınlıklarında dizayn edilemezdi. Dolayısıyla, her modelin altında kolon kesitleri sadece dizayn kolon kuvvetlerine dayalı olarak boyutlandırılmıştır. Bu kısıtlama ve alt kolon kesitleri için düşük w_h değerleri nedeniyle, kolon elastikliklerini değiştiren ayrı bir model grubu onbeş katı parametrik çalışmaya dâhil edilmemiştir. Gene, modellenen çelik plaka perde duvarların üstüne yakın yerde, kolon çapraz kesiti ebadı kolon dizayn kuvvetlerinden ziyade $w_h \leq 2.5$ gerekliliği ile yönetilir. Kolonlardaki eksenel kuvvetler ve momentler eşdeğer statik yöntem (NBCC 2005)'den belirlenen sismik yüklerle değiştirilmiş şerit modeli kullanan ikinci sınıf elastik analiz kullanılarak elde edilirler ve kapasite dizayn faktörü B ile kuvvetlendirilir. Bu analizden, bütün onbeş katlı modeller için, Tablo A.6'da listelendiği şekliyle kolonların CAN/CSA SI6-01 kiriş kolon etkileşim gereklerini karşıladığı görülmüştü.

8.6.2. Analiz ve Sonuçlar

Pushover eğrileri onbeş katlı modellerden elde edilmiştir. Bütün modellerde yakınsaklık sağlamaya yardımcı olmak için sadece gerilim şeridinin sıfır basınç bölümüne ve ayrışma eksenel mafsallarına hafif bir eğim (0.0001:1) verilmesinin gerekli olduğu not edilmelidir. Aynı zamanda, analizin başlangıcında, yerçekimi güçlerinin uygulanması esnasında sayısal dengesizliklerden kaçınmak için modellerin sismik yük paterni kullanılarak hafifçe itilmesi gerekliydi. Bu gayretlere rağmen, Şekil A.22.'de görülebileceği gibi bazı modeller için tam pushover eğrileri elde edilemiyordu. Ancak, bu "kısmi" pushover eğrileri öngörülen çelik plaka perde duvarın elastik olmayan başlangıç rijitliğini, başlangıç akmasını ve sonraki akma kısımlarını istenen kapasiteye kadar tanımlar fakat kuvvet kaybı ile ilgili öngörüde bulunamaz. Bazı modeller için sadece kısmi pushover eğrileri elde edilebilse de, 38° ve 50° modelleri arasında bir karşılaştırma hala mümkündür.

Şekil A.22 onbeş katlı modeller için pushover eğrilerini gösterir. Her çerçeve oranı için, başlangıç rijitliği %0 ve %5 arasında değişerek iki modelin (α=38° ve 50°) eğrilerinin hemen hemen aynı olduğu görülebilir. Tablo A.7 onbeş katlı parametrik çalışma

modelleri için öngörülen istenen kuvvet (taban kesme) değerlerinin mukayesesini gösterir. Kısmi pushover eğrileri söz konusu olduğunda, son nokta istenen kuvvet olarak alınır. Tablo A.7 ve Şekil A.22 α'nın değerinin farklı geometrik düzenlemelerde, rijit kiriş kolon bağlantılı olan onbeş katlı değiştirilmiş şerit model çelik perde duvarların öngörülen elastik olmayan tepkisini çok etkilemediğini gösterir. Bir katlı ve dört katlı modellerde olduğu gibi, α=40° değerinin herhangi onbeş katlı çelik plaka duvar için tanımlanması makul olur. Şekil A.22 aynı zamanda bütün çelik plaka perde duvarların kapasitelerinin 2005 NBCC 'ten belirlenen dizayn tabanı kesmesını aştığını da gösterir. Çerçeve oranı 0.75 olan modeller için pushover eğrileri modelin anlamlı akmasının başlamasından tam önce dizayn taban kesmesına erişir. Çerçeve oranı 1.5 ve 2.0 olan modeller için, dizayn taban kesme kuvveti her çelik plaka perde duvar modelinin elastik bölesinin epey içindedir.

8.7. ÖZET

Parametrik çalışma α'nın değerinin değiştirilmesinin modifiye şerit modeli kullanılarak modellenen çelik plaka perde duvarların elastik olmayan tepkileri üzerindeki etkisini belirlemek için gerçekleştirilmiştir. Her model Vancouver, British Columbia, Kanada'da bulunan normal bir ofis binasına uygulanan sismik yükü eşit olarak paylaşan iki özdeş çelik plaka perde duvardan birisini temsil eder. Her çelik plaka perde duvarın her öğesi NBCC 2005 ve CAN/CSA S16-01'nin sismik gereklerine uygun olarak dizayn edilmiştir. α'nın iki değeri (38° ve 50°) farklı çerçeve oranında, kolon elastikliklerinde ve kiriş kolon bağlantı tiplerinde bir, dört ve onbeş katlı çelik plaka perde duvarlara uygulanmıştır.

Modifiye şerit modelinin elastik olmayan öngörülen tepkisinin seçilen α değerine oldukça duyarsız olduğu bulundu. Daha da önemlisi, istenen taban kesme dayanımı germe şeritlerinin eğimi CAN/CSA SI6-01'nın izin verdiği uç değerler olan 38° den 50°'ye değiştiğinde az fark etmiştir. Bu olgu germe şeridinin yönlendirmesi değiştiğinden ortaya çıkar, her bir şeridin alanına da aynı şey olur. Bu etkiler benzer taban kesme kapasitelerinde sonuç bularak birbirini bertaraf etmeğe eğilimlidir. 38° modeller için pushover sonuçları 50° modellerininkilerle kıyaslanınca genelde hafifçe muhafazakar olduklarından, α=40° değerinin çelik plaka perde duvarın bütün dizayn prosedürü boyunca kullanılabileceği ve muhafazakar ama doğru sonuçlar vereceği önerilir. Her halükarda, yürürlükte olan CAN/CSA SI6-01 prosedürü kullanılarak belirlenen

değerleri incelenen bütün parametre erimleri için genelde 40°'ye yakındır (bakınız **Tablolar 8.2, 8.4, ve 8.6).** Bazı tek kat perde duvarları için başlangıç rijitliği tahminleri anlamlı biçimde muhafazakar olsa da, böylelikle yanal eğilmelerin fazla tahmin edilmesine sebep olabilir, zira böyle alçak yapılar için eğilmelerin dizayn için kaygı kaynağı olması olası değildir.

Parametrik çalışmadan açıkça anlaşılmaktadır ki asgari pratik plaka kalınlığının alçak ve orta yükseklikte çelik plaka perde duvarların ekonomileri üzerinde büyük etkileri vardır, yüksek sismik bölgelerde bile. her çelik plaka perde duvar modeli için gereken kolon çapraz kesitleri kapasite dizaynı gerekleri ve kolon elastiklik limitlerini karşılamak için son derecede sağlam yapılıdır. Çelik plaka perde duvarların ekonomik güvenilirliğini iyileştirmek için, dolgu plakalar için düşük akmalı çelik sınıflarının kullanılması gerekebilir. Aynı zamanda bazı durumlar için (örn ., tek katlı binalar veya çok katlı binanın en üstüne yakın yerde), dizayn kuvvetlerinden ziyade sınırlayıcı değer w_h<2.5 (CAN/CSA S16-01), çelik plaka perde duvarın kolon dizaynını yönetebilir. Bir ve dört katlı parametrik çalışma modelleri için, çelik plaka perde duvarların öngörülen kapasitesi dizayn taban kesmesını (NBCC 2005) eşdeğer statik kuvvet yöntemi ile belirlendiği şekilde dolgu plakaların kuvvet fazlalığı ve ortaya çıkan ağır sınır öğeleri nedeniyle önemli ölçüde aşmıştır.

9. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Berkitmesiz çelik plaka perde duvarların, elastik davranışı incelendiğinde, şerit elemanı sayısı ve eğim açısının sistemlerin elastik davranışı üzerinde göz ardı edilebilir bir etkisi olduğu sonucuna varılmıştır. Kanada çelik tasarım yönetmeliğinde tavsiye edildiği gibi, paneller 45°lik açıya sahip on şerit elemanı ile modellenebilirler. Sonuç olarak berkitmesiz narin çelik plaka perde duvar sisteminin elastik davranışı ve tepkisi doğru şekilde, 10 şerit elemanı ve 45° eğimi olan dolgu paneller modellenerek elde edilebilir.

Berkitmesiz çelik plaka perde duvarların doğrusal olmayan davranışları incelendiğinde, plakaların daha fazla şerit elemanı ile modellenmesiyle daha iyi sonuçlar elde edildiği gözlemlenmiştir. Aynı zamanda, belli bir sayıdan sonra, şerit elemanlarının sayısını artırmanın sistemin genel davranışı üzerinde göz ardı edilebilir bir etkiye sahip olduğu gözlemlenmiştir. Çelik plaka perde duvarların doğrusal olmayan davranışı üzerinde eğim açısının değişmesinin etkisi, elastik tepkide olduğu gibi göz ardı edilebilirdir ve şerit elemanları modellemeyi sadeleştirmek ve kirişlerde yerel burkulmalardan kaçınmak için 45° eğim açısı ile modellenebilir. Kulak formülleri eğim açısını hesaplamakta daha faydalı olacaktır. Sonuç olarak çelik plaka perde duvarların elastik ötesi davranışı, Kulak formulleriyle hesaplanmış eğim açılı, en az 10 ve üsütü şerit eleman ile modellenerek incelenebilir. Kolon kiriş düğüm noktalarında, panel bölgesi mafsalları ayrıntılı şekilde tanımlanmalıdır. Sıkıştırma desteği ve bozulma mafsalları modelde girilerek daha doğru bir davranış elde edilir. Şeritlerin dağınık düzen tekniğiyle sisteme girilmesi modellemeyi daha hızlı ve pratik bir çözüme götürür.

Yapılan bütün deneysel araştırmalar, teoriye dayalı hesaplamalar, berkitmesiz çelik plaka perde duvarların, taşıyıcı sistemin başlangıç rijitliğine, taşıma kapasitesine ve enerji sönümleme kapasitesine büyük ölçüde katkı sağladığını kanıtlamıştır.

Ayrıca, plaka kalınlığının her çerçeve için 2002 Kanada çelik yapılar tasarım gücü yönetmeliği CAN/CSA SI6-01'da belirtildiği gibi hesaplanması gerekmektedir. Plaka kalınlığını hesaplanandan fazla arttırmak çerçevede göz ardı edilir bir katkı sağlar. Bu ekonomik olmayan sonuçlar doğurur.

Tasarım ve boyutlandırma konusunda ise en güncel veriler 2002 Kanada çelik yapılar tasarım gücü yönetmeliğinde mevcuttur. Yönetmelikte verilen tasarım kuralları genel olarak çelik plakanın kalınlığı, diagonal çekme alanının açısı, kolonlar arası temiz açıklık, kolon ve kiriş rijitlikleri ile levhanın kolon ve kirişler ile birleşimi üzerinedir.

Çelik plakanın kolon ve kirşlere bağlantısı bulonlu ise bulonların kesme davranışı çelik plaka perde duvarın kesme akması kapasitesinden daha yüksek bir kapasiteye sahip olmalıdır. Çelik plakanın burkulması incelenirken, çelik plakanın narinlik katsayısının en az 300 olması önerilebilir. Ayrıca plaka malzemesinin kesme kuvvetleri altında akması, berkitmesiz uygulamalarda engellenmelidir. Plakanın öncelikle elastik burkulması istenir.

Çelik plakanın yırtılması, istenilen şekilde çalışmasını engelleyecektir. Sistemde bozulma etkileri istenilenden fazla olacaktır.

Çerçeve Üst ve alt kat kirişlerinde ise, kirişlerin kesme etkisi ile akması önlenmeli, kirişlerde plastik mafsalların istenilen noktada oluşması sağlanmalıdır. Kirişlerin gövde veya başlık plakalarının yerel burkulma tahkiki yapılmalıdır. Kiriş kolon birleşim noktalarında, kirişlerin döşeme bağlantı elemanlarında kırılmalar ve çatlamalar önlenmelidir.

Kolon kesitleri eğilme momentlerine ve eksenel kuvvetlere direnecek şekilde tasarlanmalıdır. 2002 Kanada çelik yapılar tasarım gücü yönetmeliği CAN/CSA SI6-01'da belirtildiği üzere kolon esneklik faktörü sınırlamaları dikkate alınmalıdır. Kolonlarda plastik mafsal oluşmayacak şekilde boyutlandırma yapılmalıdır. Bununla beraber, kolonların eleman seviyesinde burkulması, başlık ve gövde plakalarının burkulması plakanın istenilen şekilde çalışmasını engelleyecektir.

Çerçevenin yatay yükler altında olumlu bir çevrimsel davranış sergileyebilmesi için hesaplarda yukarıda sıralanan davranış biçimlerinin belli bir sıra ile oluşması sağlanmalıdır.

Tasarım mühendisi çelik plaka perde duvarın davranışını doğru olarak öngören bir modele sahip olması istenilen bir durumdur. Ancak, çelik plkaperde duvarın yaygın ve etkili kullanımı için daha ileri çalışmalarda bulunmak ve konuyla ilgili daha ayrıntılı bilgilerin yönetmeliklerde yer bulması gerekmektedir.

KAYNAKLAR

[1] **Celep, Z. ve Kumbasar, N.,** 2000 Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme dayanıklı Yapı Tasarımı, Beta Dağıtım, İstanbul.

[2] **Astaneh-Asl, A.,** 2001, Seismic Behaviour and Design of Steel Shear Walls, Steel Tips, California.

[3] **Canadian Standard Association, CAN/CSA S16-01,** AISC 2005, "Limit States Design of Steel Structures." Toronto, Ontario.

[4] **Mimura, H. and Akiyama, H.,** 1977, "Load-Deflection Relationship of Earthquake-Resistant Steel Shear Walls With a Developed Diagonal Tension Field." Transactions, Architectural Institute of Japan, 260, October, pp. 109-114

[5] **Thorburn, L.J., Kulak, G.L., and Montgomery, C.J.,** 1983, "Analysis of Steel Plate Shear Walls" Structural Engineering Report No. 107, Department of Civil Engineering, University of Alberta, Edmonton, Canada.

[6] **Timler, P.A., Kulak, G.L.,** 1983, "Experimental Study of Steel Plate Shear Walls." Structural Engineering Report No. 114, Department of Civil Engineering, University of Alberta, Edmonton, Canada.

[7] **Tromposch, E.W., Kulak, G.L.,** 1987, "Cyclic and Static Behaviour of Thin Panel Steel Plate Shear Walls." Structural Engineering Report No. 145, Department of Civil Engineering, University of Alberta, Edmonton, Canada.

[8] **Elgaaly, M., Caccese, V., and Du, C,** 1993a, "Postbuckling Behaviour of Steel- Plate Shear Walls Under Cyclic Loads." ASCE Journal of Structural Engineering, Vol. 119, No. 2, pp. 588-605.

[9] **Xue, M., and Lu, L.-W.,** 1994, "Interaction of Infilled Steel Shear Wall Panels With Surrounding Frame Members." Proceedings, Structural Stability Research Council Annual Technical Session, Bethlehem, PA, pp. 339-354.

[10] **Driver, R.G., Kulak, G.L., Kennedy, D.J.L., and Elwi, A.E.,** 1997, "Seismic Behaviour of Steel Plate Shear Walls." Structural Engineering Report No. 215, Department of Civil and Environmental Engineering, University of Alberta, Edmonton, Canada.

[11] **Driver, R.G., Kulak, G.L., Kennedy, D.J.L, Elwi, A.E.,** 1998a, "Cyclic Test of a Four-Storey Steel Plate Shear Wall." ASCE Journal of Structural Engineering, Vol. 124, No. 2, pp. 112-120.

[12] **Lubell, A.S,** 1997, "Performance of Unstiffened Steel Plate Shear Walls Under Cyclic Quasi-Static Loading." M.A.Sc. Thesis, Department of Civil Engineering, University of British Columbia, Vancouver, BC, Canada

[13] **Takahashi, Y., Takemoto, Y., Takeda, T., and Takagi, M.** 1973. "Experimental Study on Thin Steel Shear Walls and Particular Bracings Under Alternative Horizontal Load." Preliminary Report, IABSE Symposium on Resistance and Ultimate Deformability of Structures Acted on by Well-defined Repeated Loads, Lisbon, Portugal, pp. 185-191.

[14] **Elgaaly, M., and Liu, Y.,** 1997, "Analysis of Thin-Steel-Plate Shear Walls." ASCE Journal of Structural Engineering, Vol. 123, No. 11, pp. 1487-1496.

[15] **Timler, P.A.,** 1998, "Design Procedures Development, Analytical Verification, and Cost Evaluation of Steel Plate Shear Wall Structures." Earthquake Engineering Research Facility Technical Report No. 98-01.

[16] **Timler, P.A., Ventura, C.E., Prion, H., and Anjam, R.,** 1998, "Experimental and Analytical Studies of Steel Plate Shear Walls as Applied to the Design of Tall Buildings." Structural Design of Tall Buildings, Vol. 7, pp. 233-249.

[17] **Rezai, M.,** 1999, "Seismic Behaviour of Steel Plate Shear Walls by Shake Table Testing." PhD Dissertation, Department of Civil Engineering, University of British Columbia, Vancouver, BC, Canada.

[18] **Rezai, M., Ventura, C.E., and Prion, H.G.L.,** 2000, "Numerical Investigation of Thin Unstiffened Steel Plate Shear Walls." Proceedings, World Conference of Earthquake Engineering, pp. 0801-1-0801-8.

[19] **Kulak, G.L., Kennedy, D.J.L., and Driver, R.G,** 1994, Discussion of "Experimental Study of Thin Steel-Plate Shear Walls Under Cyclic Load." ASCE Journal of Structural Engineering, Vol. 120, No. 10, pp. 3072-3073.

[20] **Kulak, G.L., Kennedy, D.J.L, Driver, R.G., and Medhekar, M.,** 2001, "Steel Plate Shear Walls—An Overview" American Institute of Steel Construction Engineering Journal, First Quarter, pp. 50-62.

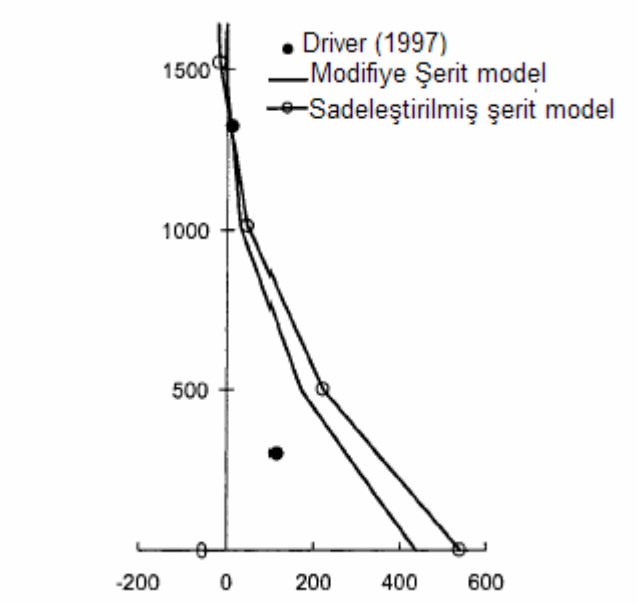
[21] **Behbahanifard, M.R, Grondin, G.Y., and Elwi, A.E.,** 2003, "Experimental and Numerical Investigation of Steel Plate Shear Walls." Structural Engineering Report No. 254, Department of Civil and Environmental Engineering, University of Alberta, Edmonton, Canada.

[22] **Berman, J., and Bruneau, M.,** 2003, "Plastic Analysis and Design of Steel Plate Shear Walls." ASCE Journal of Structural Engineering, November, pp. 1448-1456.

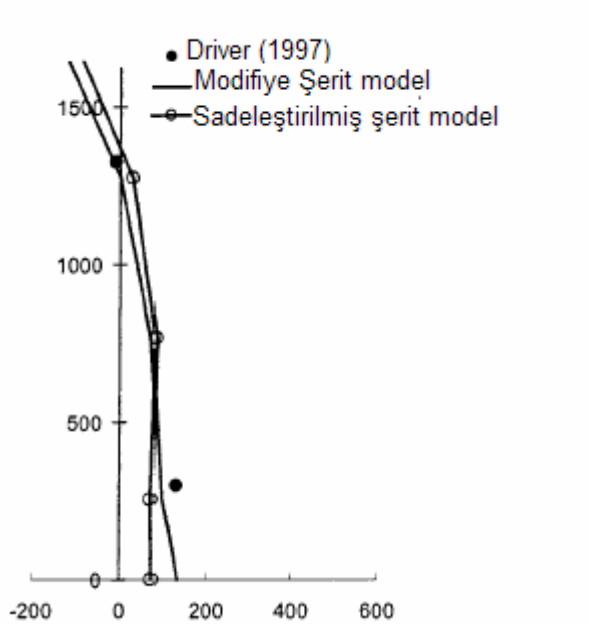
[23] **Berman, J., and Bruneau, M.,** 2004, "Steel Plate Shear Walls Are Not Plate Girders." AISC Engineering Journal, Third Quarter, pp. 95-106.

[24] **Kharrazi, M.H.K., Ventura, C.E., Prion, G.L., and Sabouri-Ghomi, S.,** 2004, "Bending and Shear Analysis and Design of Ductile Steel Plate Walls." Proceedings of the the 13th World Conference on Earthquake Engineering, August, Vancouver, B.C., Canada.

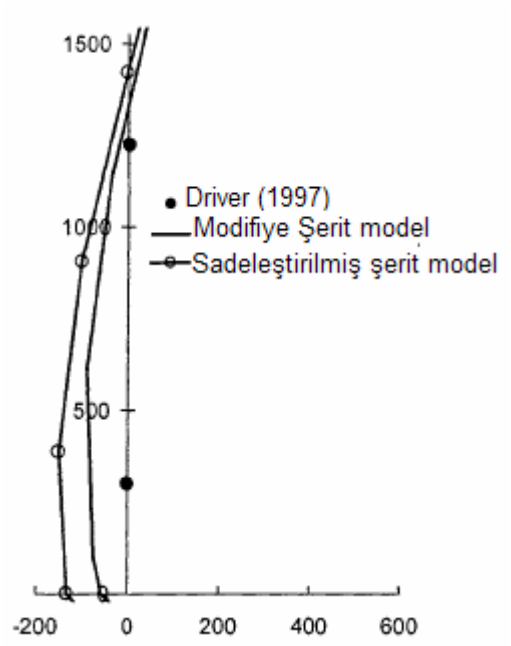
EKLER



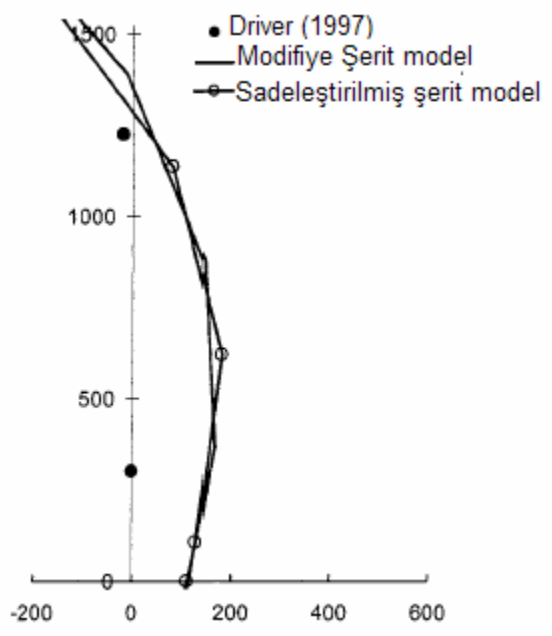
Şekil A.1 1.Kat Doğu cephesi kolon moment diyagramı



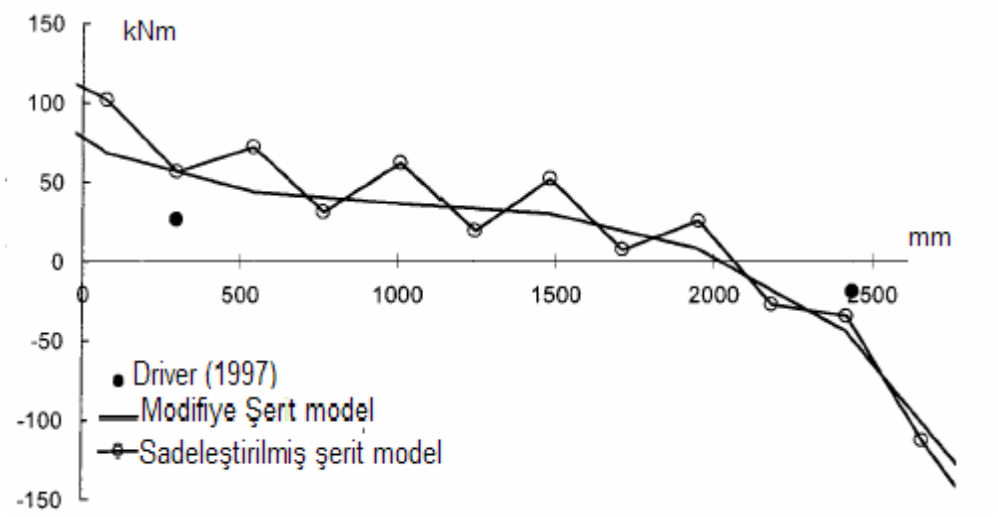
Şekil A.2 1.Kat Batı cephesi kolon moment diyagramı



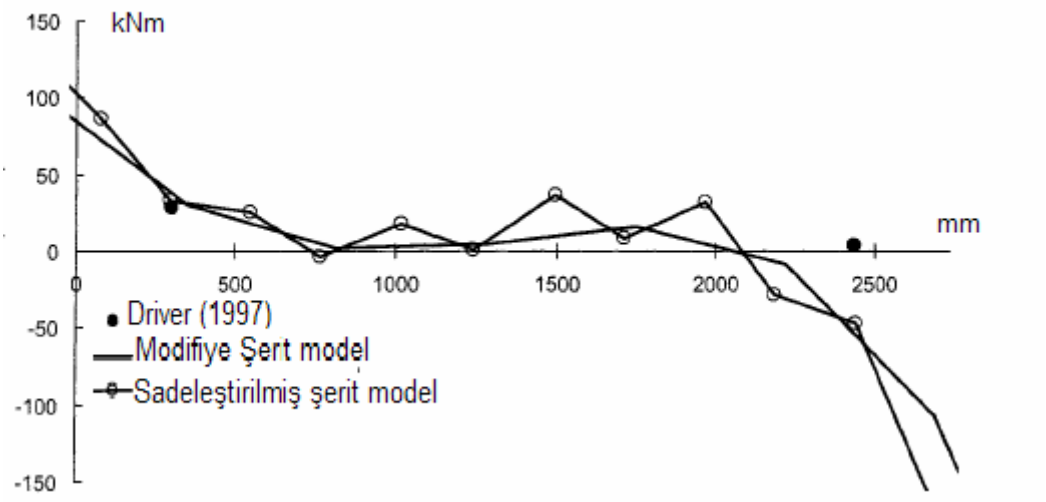
Şekil A.3 2.Kat Doğu tarafı kolon moment diyagramı



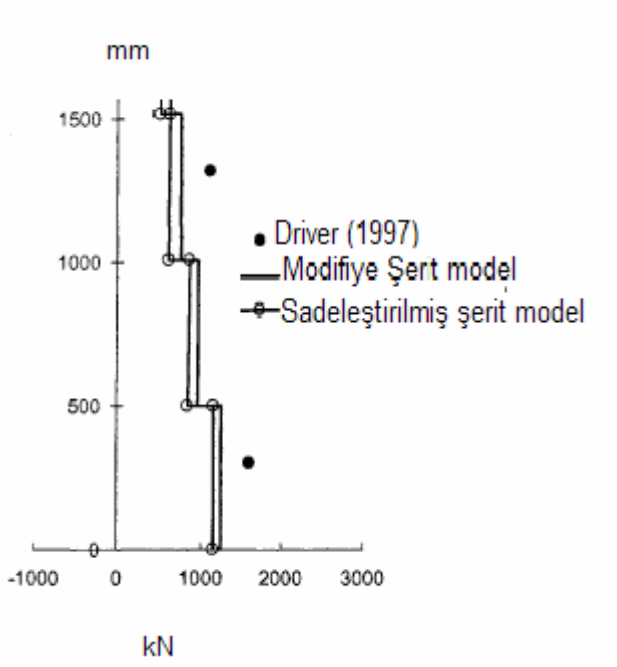
Şekil A.4 2 .Kat Batı tarafı kolon moment diyagramı



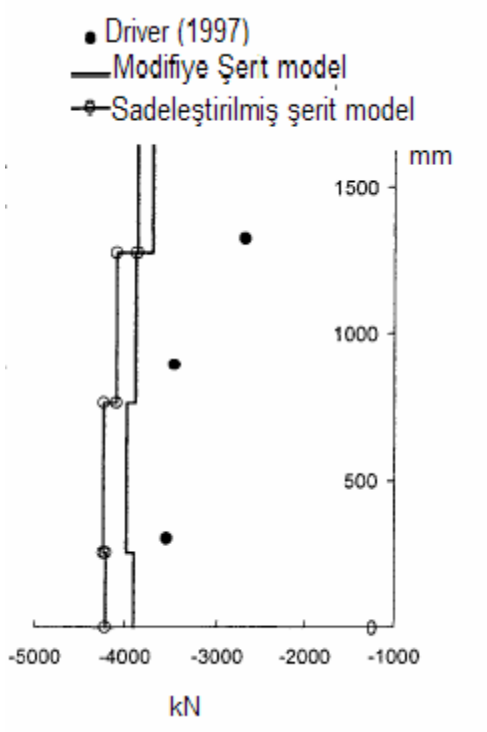
Şekil A.5 1.Kat kiriş moment diyagramı



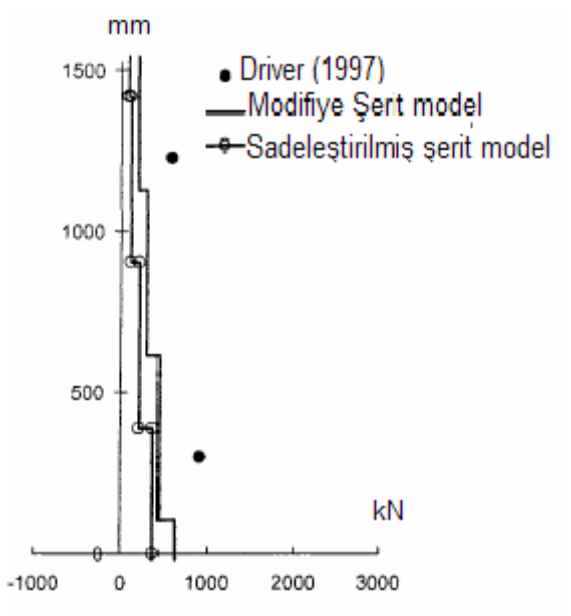
Şekil A.6 2.Kat kiriş moment diyagramı



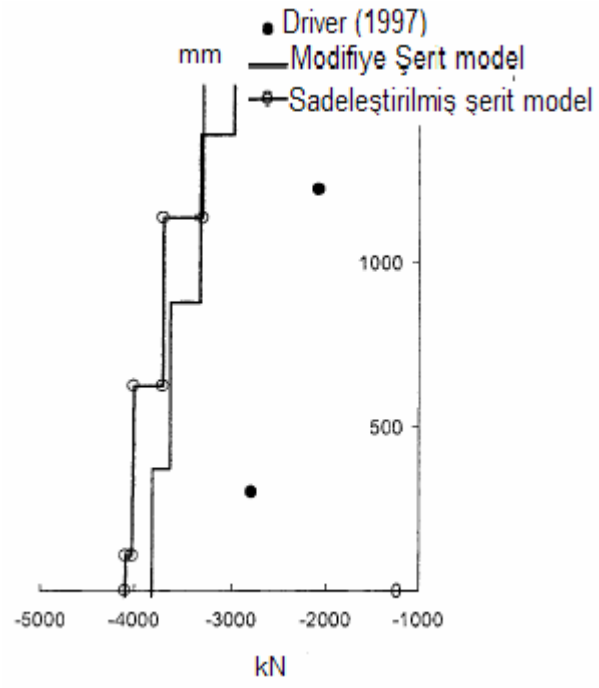
Şekil A.7 1.Kat Doğu cephesi eksenel kuvvet diyagramı



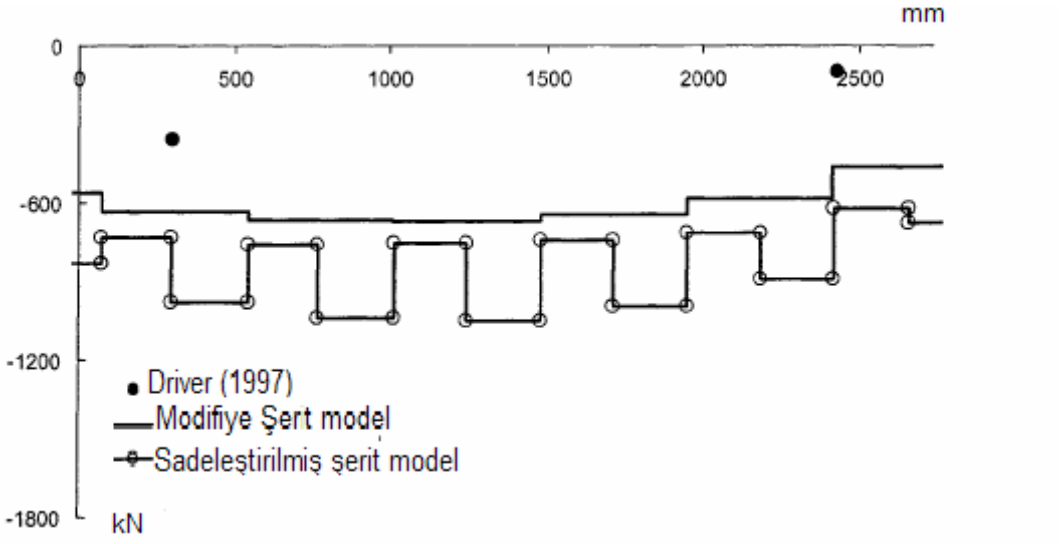
Şekil A.8 1.Kat Batı cephesi eksenel kuvvet diyagramı



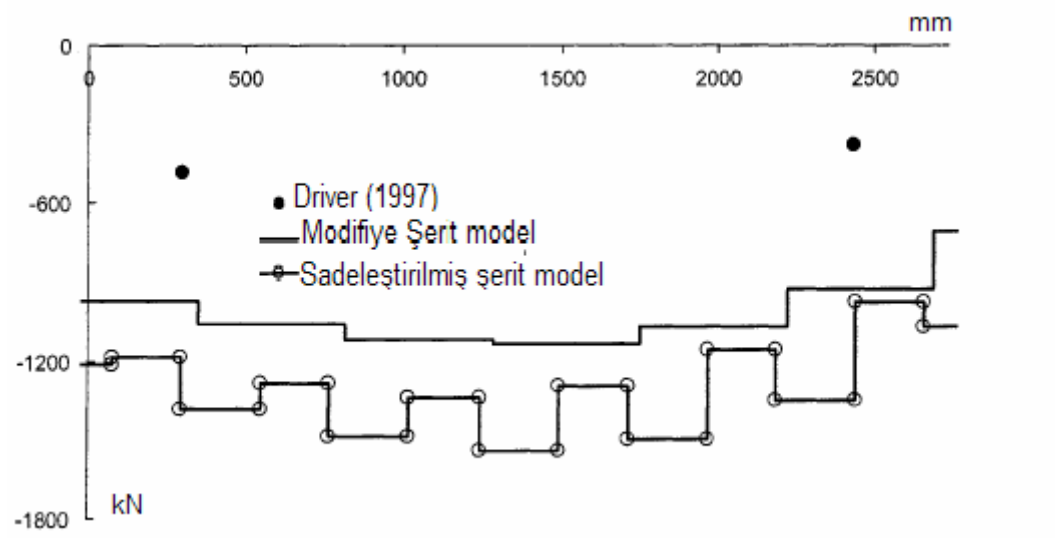
Şekil A.9 2.Kat Doğu cephesi eksenel kuvvet diyagramı



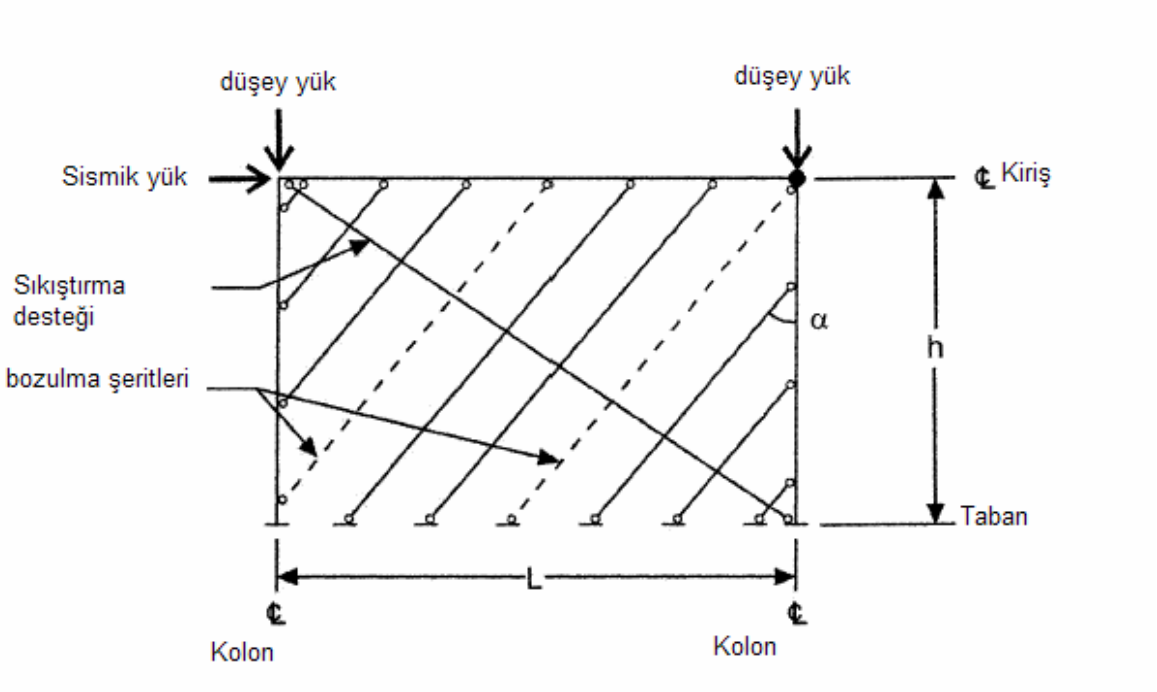
Şekil A.10 2.Kat Batı cephesi eksenel kuvvet diyagramı



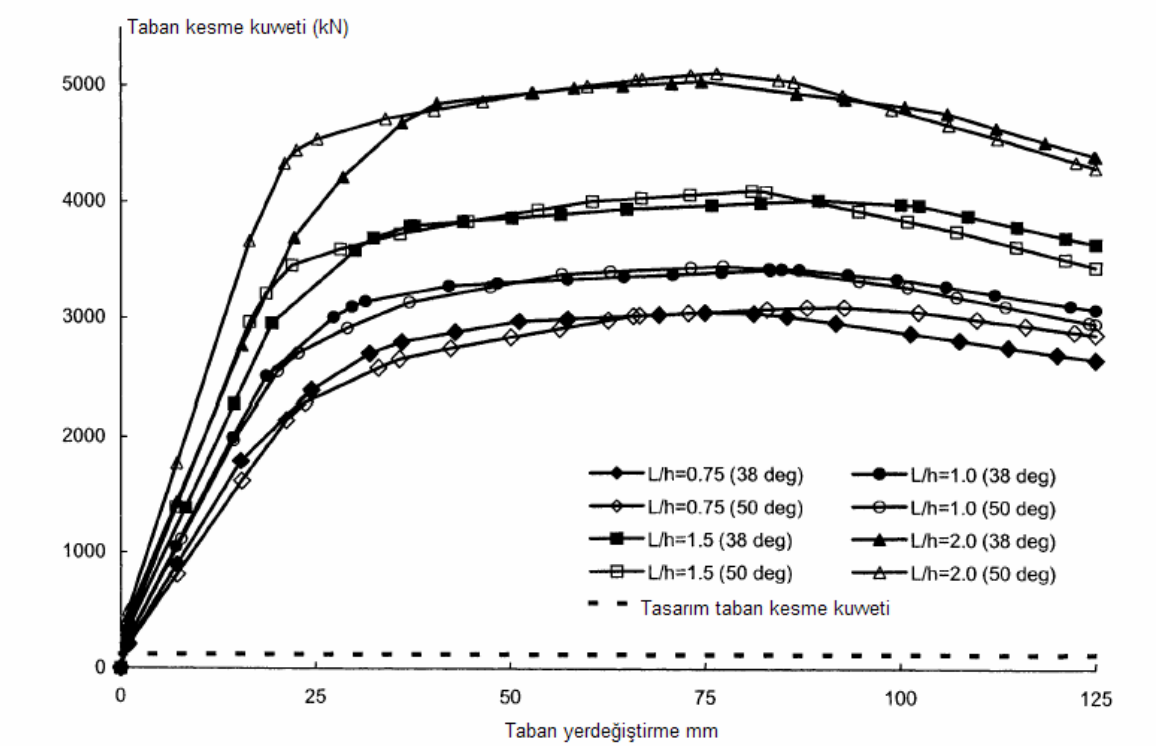
Şekil A.11 1.Kat eksenel kuvvet diyagramı



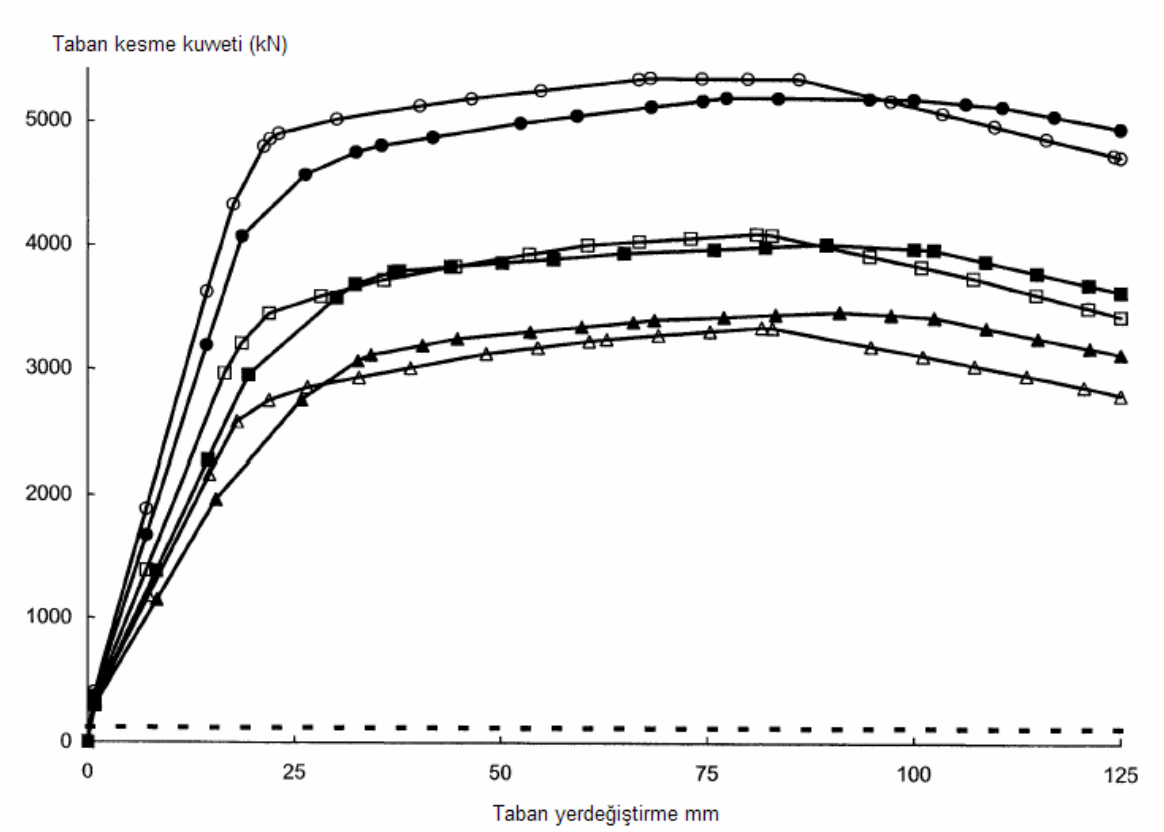
Şekil A.12 2.Kat eksenel kuvvet diyagramı



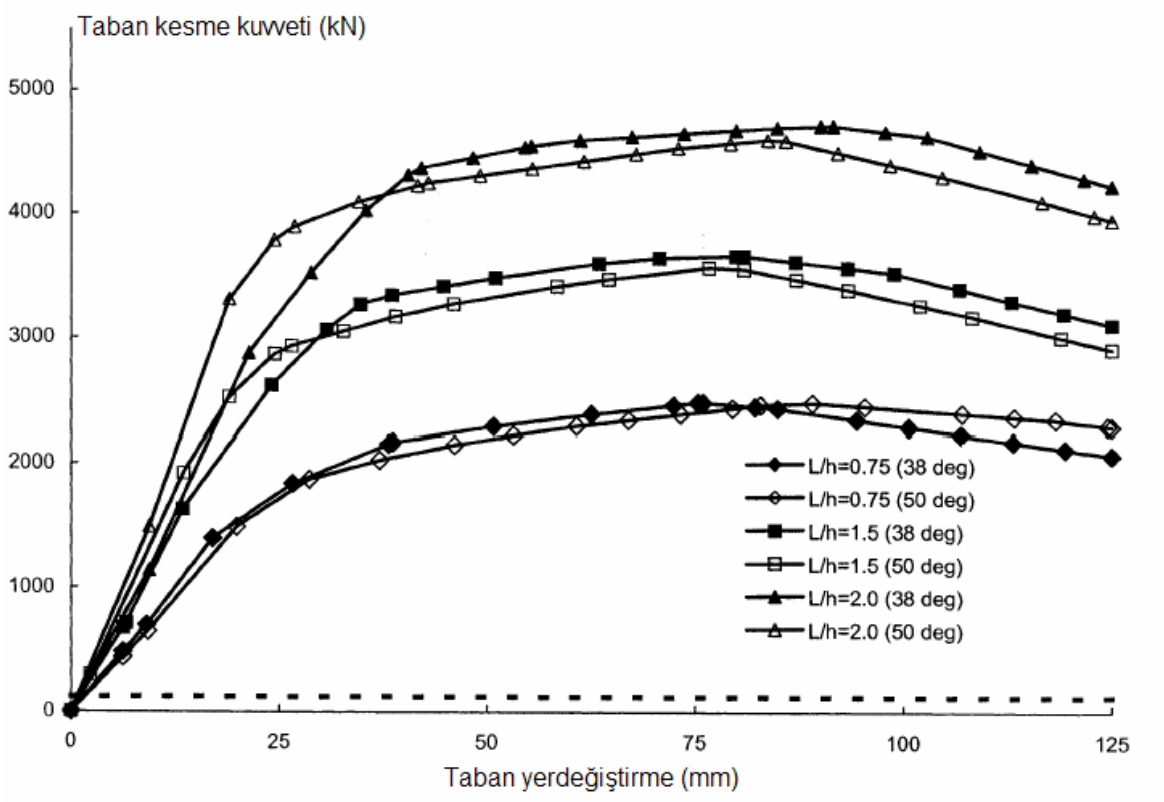
Şekil A.13 Parametrik Çalışma için Geometrik Model



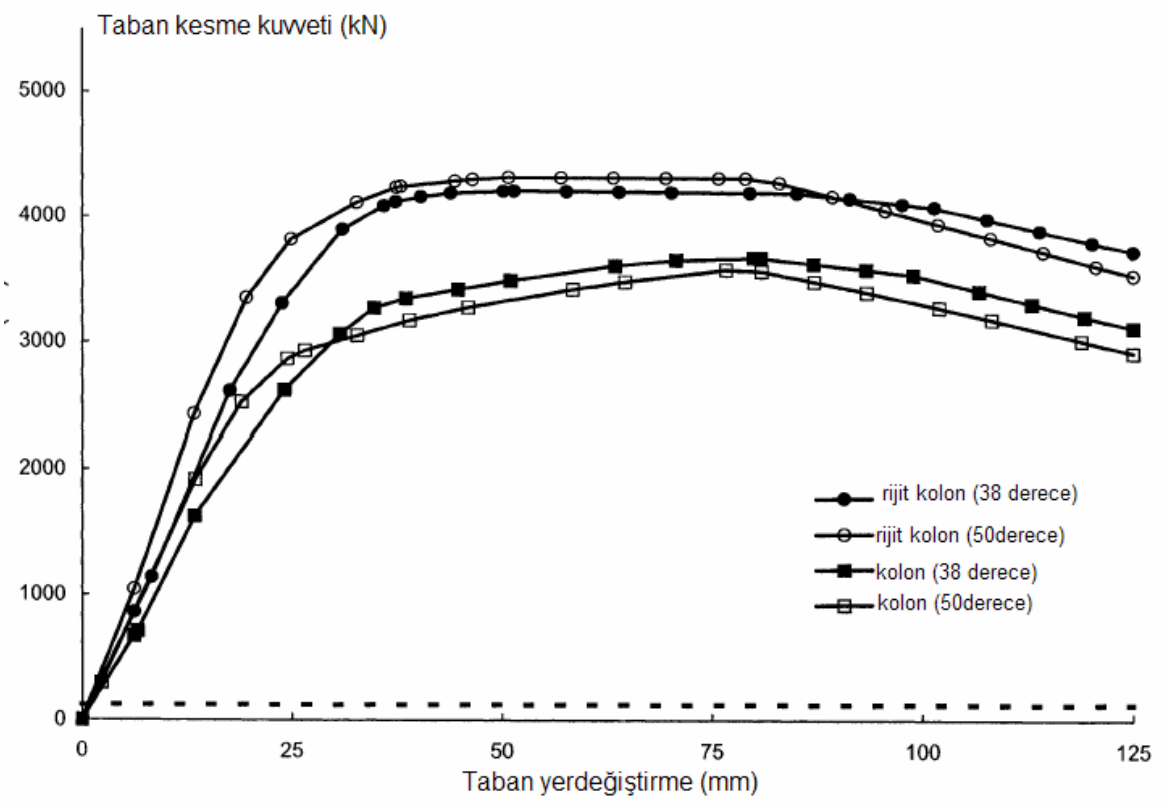
Şekil A.14 Grup 1-A Modeli Eğrileri



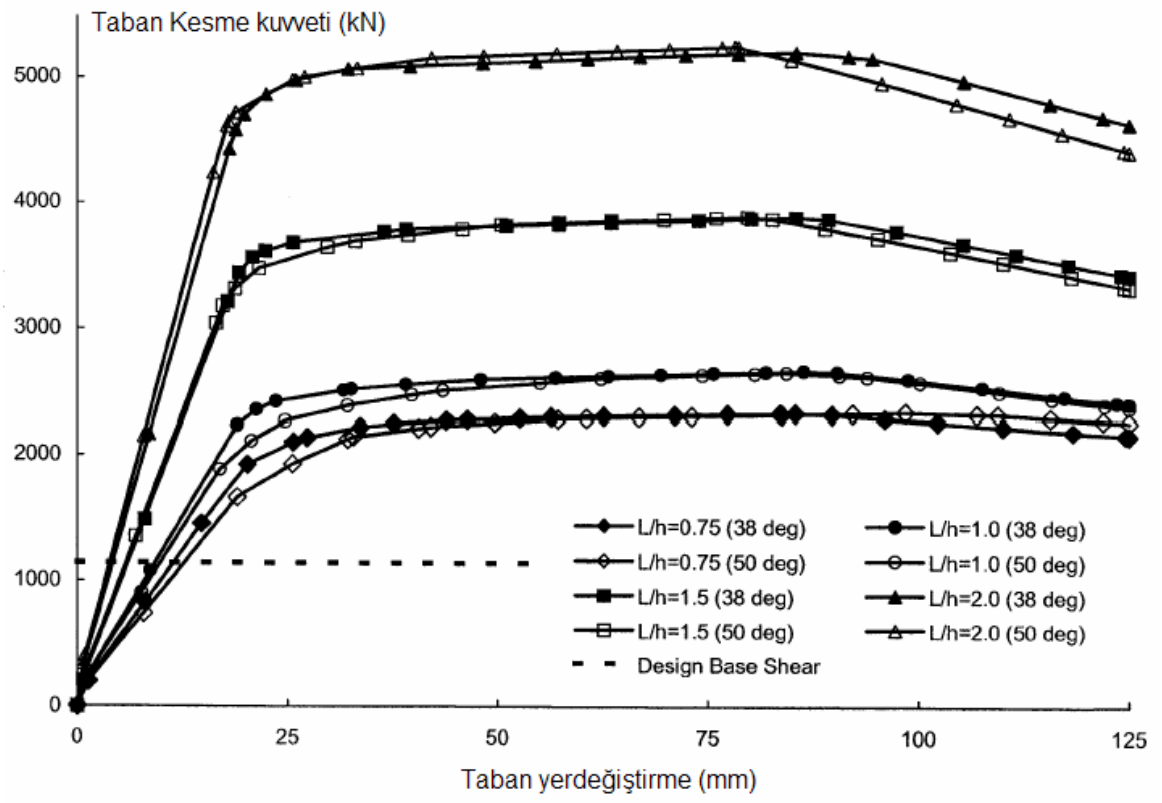
Şekil A.15 Grup 1-B Modeli Eğrileri



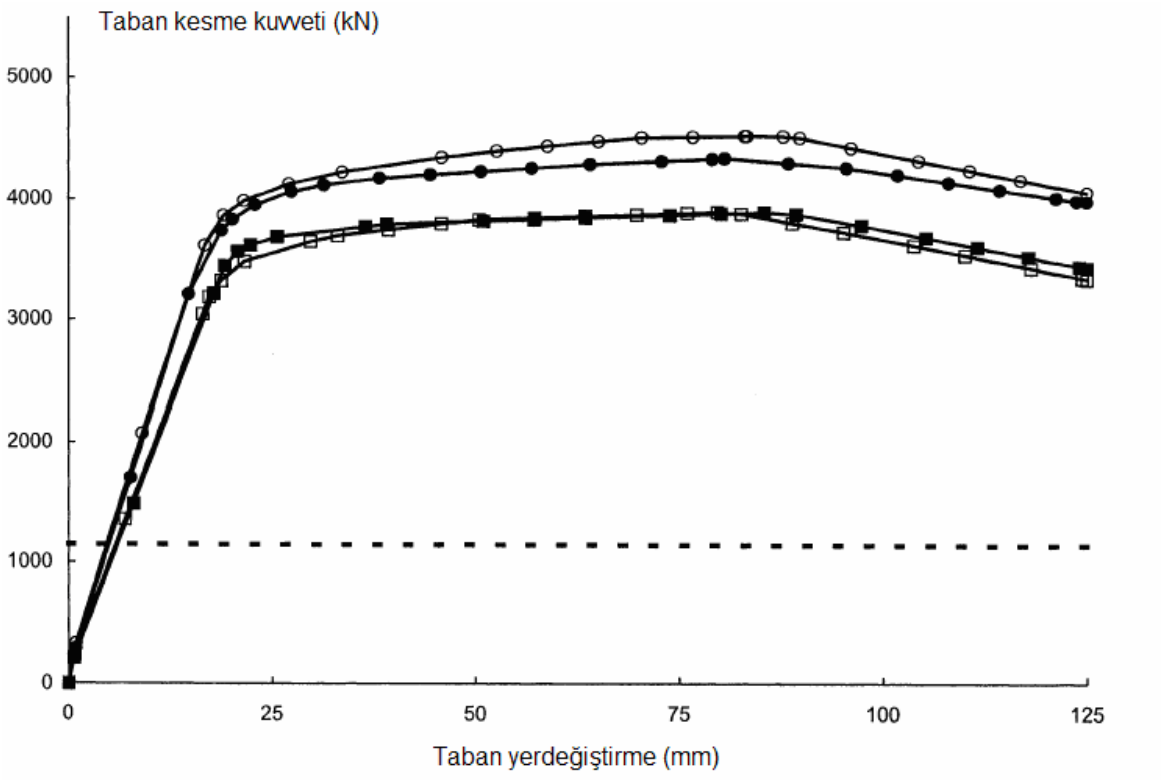
Şekil A.16 Grup 1-C Modeli Eğrileri



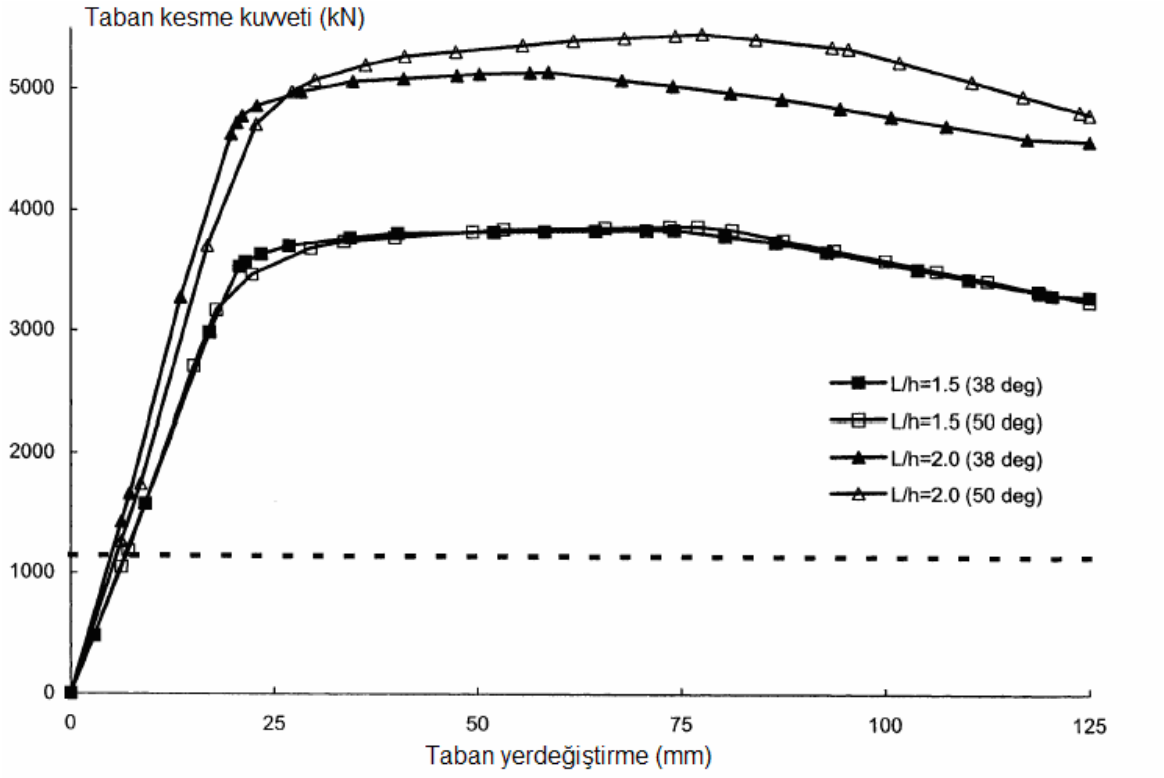
Şekil A.17 Grup 1-D Modeli Eğirileri



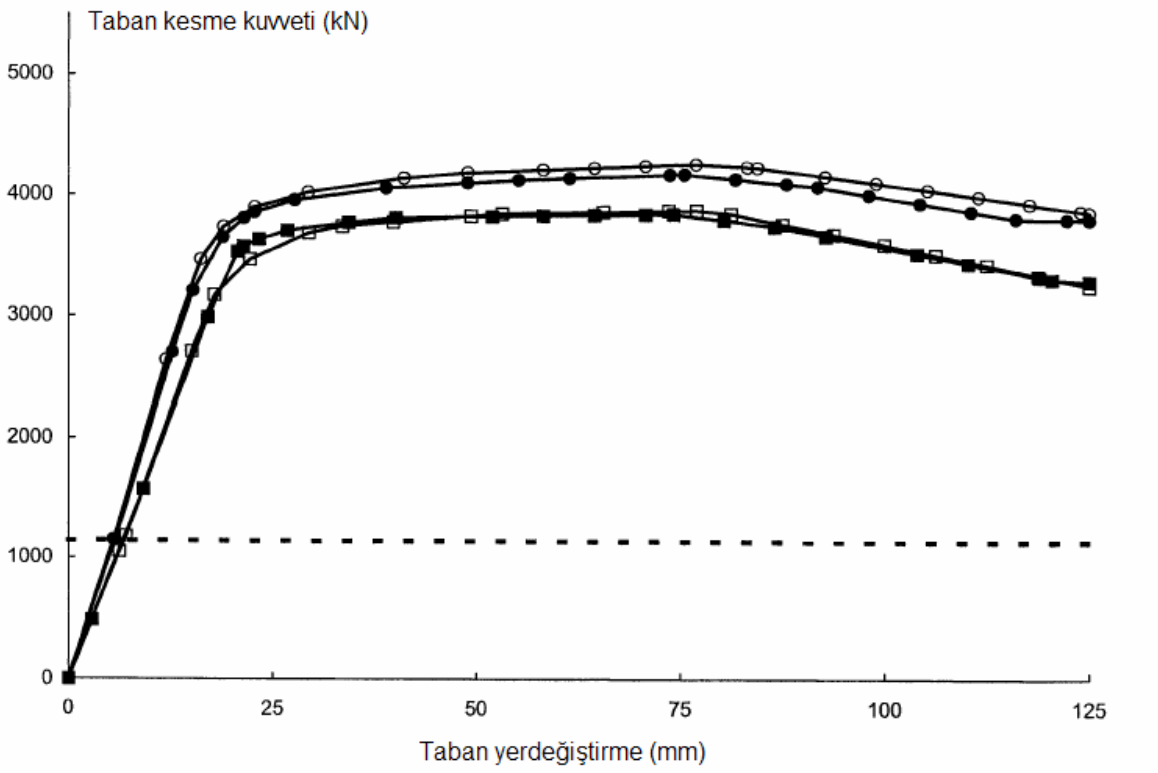
Şekil A.18 Grup 4-A Modeli Eğrileri



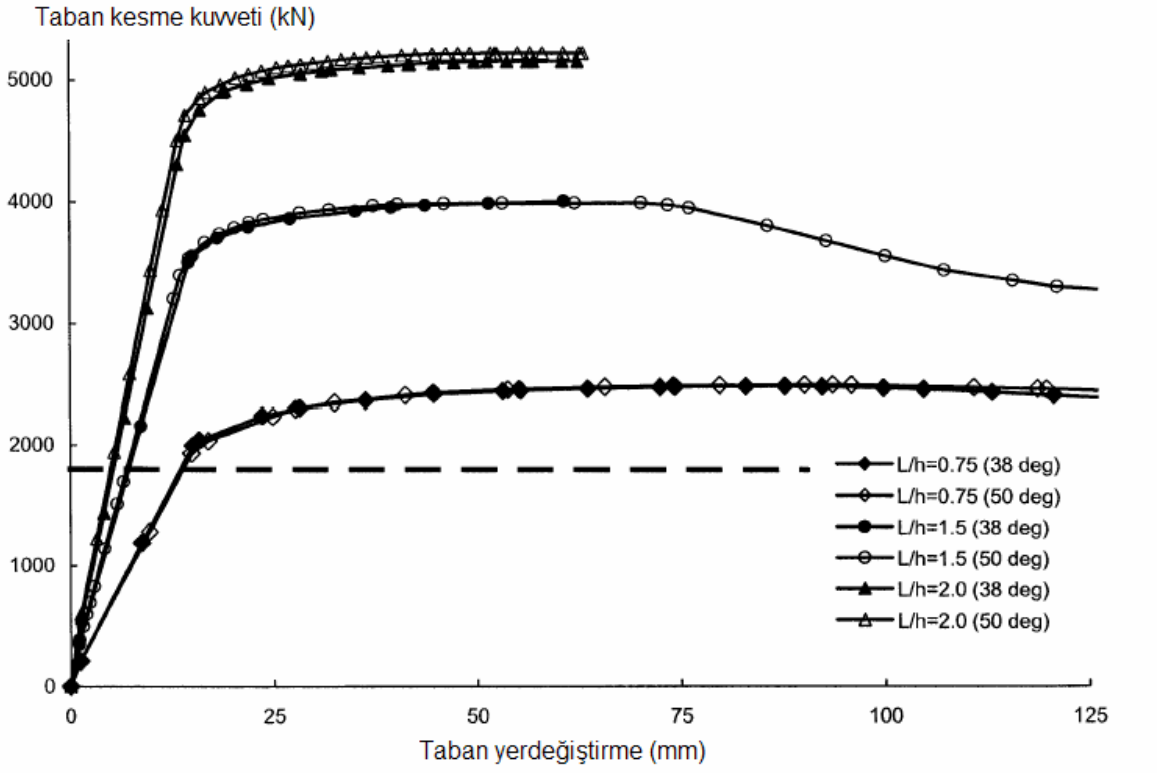
Şekil A.19 Grup 4-B Modeli Eğrileri



Şekil A.20 Grup 4-C Modeli Eğrileri



Şekil A.21 Grup 4- D Modeli Eğrileri



Şekil A.22 Katlı model için eğriler

Tablo A.1 Ölü Yük Tablosu

Çatı Yükleri		Zemin Yükleri	
Çelik Çatı	0.10 kPa	Çelik Çatı	0.10 kPa
Kaplama	0.10 kPa	Beton döşeme	2.55 kPa
Kaplama	0.32 kPa	Kaplama	0.10 kPa
Aydınlatma	0.20 kPa	Aydınlatma	0.20 kPa
Kanal,boru ve kablo	0.25 kPa	Kanal,boru ve kablo	0.25 kPa
Çelik	0.15 kPa	Duvar	0.50 kPa
		Çelik	0.56 kPa
Toplam	1.12 kPa	Toplam	4.26 kPa

Tablo A.2 Tek Katlı Modeller İçin Parametreler ve Dizayn Listesi

Grup	α (derecesi)			L/h	w_h		Kiriş kolon birleşim şekli	Kolon Kesiti	Üst Kiriş Kesiti	t (mm)
	Model	S16-01	FEA							
1-A	38	39.7	41.0	0.75	2.5	5.0	Rijit	W310x253	W310xl43	3.0
	50									
	38	40.4	42.5	1.0	2.5	5.0	Rijit	W310x202	W530xl96	3.0
	50									
	38	42.4	42.0	1.5	2.5	5.0	Rijit	W310xl43	W610x372	3.0
	50									
	38	43.3	47.0	2.0	2.5	5.0	Rijit	W250xl49	W760x582	3.0
	50									
1-B	38	44.7	45.0	1.5	1.7	5.0	Rijit	W610xl74	W610x372	3.0
	50									
	38	42.4	42.0	1.5	2.5	5.0	Rijit	W310xl43	W610x372	3.0
	50									
	38	40.3	42.0	1.5	3.1	5.0	Rijit	W250x89	W610x372	3.0
	50									
1-C	38	39.7		0.75	2.5	5.0	Mafsallı	W310x253	W310x143	3.0
	38	42.4		1.5	2.5	5.0	Mafsallı	W310xl43	W610x372	3.0
	38	43.3		2.0	2.5	5.0	Mafsallı	W250xl49	W760x582	3.0
1-D	38	44.7		1.5	1.7	5.0	Mafsallı	W610xl74	W610x372	3.0
	50									
	38	42.4		1.5	2.5	5.0	Mafsallı	W310xl43	W610x372	3.0
	50									

Tablo A.3 α'nın değerinin farklı geometrik düzenlemelerde değişimi

Grup	L/h	w_h	α	dayanım (kN)	% fark
1-A	0.75	2.5	38	3066	+1.6%
			50	3115	
	1.0	2.5	38	3447	+0.8%
			50	3473	
	1.5	2.5	38	4041	+2.0%
			50	4120	
	2.0	2.5	38	5065	+1.4%
			50	5138	
1-B	1.5	1.7	38	5228	+3.0%
			50	5384	
	1.5	2.5	38	4041	+2.0%
			50	4120	
	1.5	3.1	38	3499	-3.7%
			50	3369	
1-C	0.75	2.5	38	2492	+0.1%
			50	2493	
	1.5	2.5	38	3684	-2.5%
			50	3590	
	2.0	2.5	38	4747	-2.5%
			50	4630	
1-D	1.5	1.7	38	4223	+2.6%
			50	4332	
	1.5	2.5	38	3684	-2.5%
			50	3590	

Tablo A.4 Dört katlı modellerin, parametreleri ve tasarlanmış öğelerinin tek katlı modellere benzer şekilde gruplandırılmış listesi

Group	α		L/h	w_h	B	Kiriş kolon birleşim şekli	Kolon kesiti	Üst Kiriş Kesiti	t (mm)
	Model	S16-01							
4-A	38	38.9	0.75	2.5	1.4	Rijit	W310x253	W310x143	3.0
	50								
	38	39.5	1.0	2.5	1.9	Rijit	W310x202	W530xl96	3.0
	50								
	38	41.2	1.5	2.2	2.8	Rijit	W310x226	W610x372	3.0
	50								
	38	42.2	2.0	2,0	3.7	Rijit	W310x253	W760x582	3.0
	50								
4-B	38	42.5	1.5	1.6	2.8	Rijit	W610x217	W610x3 72	3.0
	50								
	38	41.2	1.5	2.2	2.8	Rijit	W310x226	W610x372	3.0
	50								
4-C	38	41.2	1.5	2.2	2.8	Mafsallı	W310x226	W610x372	3.0
	50								
	38	42.2	2.0	2.0	3.7	Mafsallı	W310x253	W760x582	3.0
	50								
4-D	38	42.5	1.5	1.6	2.8	Mafsallı	W610x217	W610x372	3.0
	50								
	38	41.2	1.5	2.2	2.8	Mafsallı	W310x226	W610x372	**3.0**
	50								

Tablo A.5 α'nın değerinin farklı geometrik düzenlemelerde, çelik perde duvarın davranışını

Grup	L/h	w_h	α	Dayanım (kN)	% fark
4-A	0.75	2.5	38	2347	+0.4%
			50	2357	
	1.0	2.5	38	2680	-0.6%
			50	2665	
	1.5	2.2	38	3913	0.0%
			50	3913	
	2.0	2.0	38	5244	+0.8%
			50	5285	
4-B	1.5	1.6	38	4362	+4.2%
			50	4546	
	1.5	2.2	38	3913	0.0%
			50	3913	
4-C	1.5	2.2	38	3861	+0.8%
			50	3892	
	2.0	2.0	38	5159	+6.3%
			50	5484	
4-D	1.5	1.6	38	4187	+2.0%
			50	4272	
	1.5	2.2	38	3861	+0.8%
			50	3892	

Tablo A.6 Onbeş katlı modeller için parametreleri ve tasarım elemanlarının listesi

α		L/h	w_h 1.Kat	B	Kat 1-3		Kat 4-6		Kat 7-9		Kat 10-12		Kat 13-15	
Model	S16 - 01				Kolon kesiti	t (mm)	Kolon kesiti	t (mm)	Kolon kesiti	t (mm)	Kolon kesiti	t (mm)	Kolon kesiti	t (mm)
38	39.4	0.75	1.7	0.9	W360x818	3.0	W360x592	3.0	W360x382	3.0	W360x216	3.0	W360x216	3.0
50														
38	41.0	1.5	1.4	1.8	W360x744	3.0	W360x551	3.0	W3 60x347	3.0	W360xl96	3.0	W360xll0	3.0
50														
38	41.6	2.0	1.3	2.4	W360x744	3.0	W360x551	3.0	W360x382	3.0	W360x216	3.0	W360x91	3.0
50														

Tablo A.7 Onbeş katlı parametrik çalışma modelleri için öngörülen taban kesme değerlerinin karşılaştırılması

L/h	α		Dayanım (kN)	% fark
0.75	1.7	38	2491	+0.5%
		50	2503	
1.5	1.4	38	4012	-0.2%
		50	4003	
2.0	1.3	38	5172	+1.3%
		50	5239	

ÖZGEÇMİŞ

Yüksel SARIBOĞA, 1982 yılında İstanbul'da doğdu. İlk ve orta öğrenimini İstanbul'da tamamladıktan sonra 2000 yılında İTÜ İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümüne girdi. Bir yıl İngilizce hazırlık programında okuyarak 2005 yılında lisans öğrenimini tamamladı. Aynı yıl İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yapı Mühendisliği Yüksek Lisans programına başladı. Yüksek lisans öğrenimi süresince önce Çelik Yapı sonrasında TEM Mühendislik adında özel inşaat şirketlerinde çalıştı. Şuan kendi aile şirketleri olan Sarıtaş Cam İşleme ve Dekorasyon Ltd. Şti.'de proje müdürü olarak çalışmaktadır.