

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ÇELİK ÇAPRAZLI SİSTEMLERLE ÇELİK PLAKA
PERDE DUVARLARIN YATAY YÜKLER ALTINDA
İNCELENMESİ**

**Anabilim Dalı: İnşaat Mühendisliği
Programı: Yapı Mühendisliği**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnşaat Müh. İ. Efe YÜZEREROĞLU**

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Nesrin YARDIMCI

MAYIS 2005

**ÇELİK ÇAPRAZLI SİSTEMLERLE ÇELİK PLAKA
PERDE DUVARLARIN YATAY YÜKLER ALTINDA
İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnşaat Müh. İ. Efe YÜZEREROĞLU
(501021059)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 9 Mayıs 2005
Tezin Savunulduğu Tarih: 20 Temmuz 2005**

**Tez Danışmanı: Prof. Dr. Nesrin YARDIMCI
Diğer Jüri Üyeleri: Prof. Dr. Gülay ALTAY (B.Ü.)
Doç. Dr. Cavidan YORGUN (İ.T.Ü.)**

MAYIS 2005

ÖNSÖZ

Yüksek lisans öğrenimim sürecinde desteğini ve güvenini eksik etmeyen ve tez konumun belirlenmesinde yönlendirici olan, tecrübelerinden faydalandığım tez danışmanım Prof. Dr. Nesrin YARDIMCI'ya ve çalışmalarım sırasında bilgisinden yararlandığım Araş. Gör. Cüneyt VATANSEVER'e teşekkür ederim. Ayrıca, yüksek lisans eğitim görmem konusunda beni destekledikleri için aileme minnettarım.

Temmuz 2005

İ.Efe YÜZEREROĞLU

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	vi
TABLO LİSTESİ	vii
ŞEKİL LİSTESİ	viii
SEMBOL LİSTESİ	xii
ÖZET	xiiv
SUMMARY	xv
1. GİRİŞ	1
1.1. Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımında Sınır Durumlar	1
1.1.1. Kullanılabilirlik Sınır Durumu	2
1.1.2. Hasar Kontrolü Sınır Durumu	2
1.1.3. Göçme Kontrolü Sınır Durumu	2
1.2. Depreme Dayanıklı Yapılarda Aranılan Özellikler	3
1.2.1. Yapının Genel Davranışı	3
1.2.2. Rijitlik ve Dayanım	3
1.2.3. Süneklik	4
1.3. Depreme Dayanıklı Çelik Yapı Tasarımı	5
1.4. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	6
2. MERKEZİ ÇAPRAZLI ÇERÇEVELER	8
2.1. Tanım	8
2.1.1. Tek Çaprazlı Çerçeveler	9
2.1.2. X - Şeklindeki Çaprazlı Çerçeveler	9
2.1.3. V ve Ters V - Şeklindeki Çaprazlı Çerçeveler	9
2.1.4. K - Şeklindeki Çaprazlı Çerçeveler	10
2.2. Merkezi Çaprazların Tersinir Yükleme Altındaki Davranışının Modellenmesi	11
2.2.1. Çapraz Elemanların Burkulmasının Tersinir Yükleme Altındaki Davranışa Etkileri	11
2.2.2. Çapraz Elemanın Narinliğinin Tersinir Yükleme Altındaki Davranışa Etkileri	11
2.3. Merkezi Çaprazlı Çerçevelerde Süneklik Düzeyi	16
3. DIŞMERKEZ ÇAPRAZLI ÇERÇEVELER	21
3.1. Tanım	21
3.2. Dışmerkez Çaprazlı Çerçevelerin Davranışını Belirleyen Özellikler	23
3.2.1. Geometrik Parametreler	23
3.2.2. Mekanik Parametreler	23
3.3. Dışmerkez Çaprazlı Çerçevenin Rölatif Rijitliği	24
3.3.1. Kiriş - Kolon Rijitlik Oranının Etkisi	24
3.3.2. Kesme Şekil değiştirmesinin Etkisi	25
3.4. Dış merkez Çapraz Elemanların Plastik Davranışı	26
3.4.1. Gereken Eleman Sünekliği	26

3.4.2. Bağlantı Kirişinin Davranışı	28
3.4.2.1. Kısa Bağlantı Kirişleri	29
3.4.2.2. Orta ve Uzun Bağlantı Kirişleri	31
3.4.3. Bağlantı Kirişlerinin Plastik Kapasiteleri	31
3.4.4. Rijitleştiricilerin Aralıkları ve Bağlantı Kirişinin Plastik	
Dönme Kapasitesi	32
3.4.5. Rijitleştiricinin Tasarımı	36
3.4.6. Bağlantı Kirişi - Kolon Birleşimleri	37
3.4.7. Kiriş ve Çapraz Eleman Tasarımı	39
3.4.8. Kolon Tasarımı	40
4. ÇELİK PLAKA PERDE DUVARLARI	42
4.1. Tanım	42
4.2. Çelik Perdelerin Kullanımı ve Sismik Davranışı	46
4.2.1. Japonya’da Tokyo’daki 20 Katlı Bir Ofis Binası	47
4.2.2 Tokyo’da 53 Katlı Yüksek Bir Yapı	49
4.2.3 Teksas, Dallas’ta 30 katlı bir otel	49
4.2.4. Los Angeles, Kaliforniya’da 6 Katlı Bir Hastane	49
4.2.5. Japonya, Kobe’de 35 Katlı Bir Ofis Binası	52
4.2.6. Kaliforniya, San Francisco’da 52 Katlı Bir Konut Binası	54
4.2.7. Seattle, Washington’da 22 Katlı Bir Ofis Binası	56
4.2.8. Japonya’da “Düşük Akmalı” Çelik Perde Duvarların Kullanımı	56
4.2.9 Japonya’da “Viskoz Duvar Perdeli” Çelik Perde Duvarların	58
Kullanımı	
4.3. Çelik Perde Duvarlarının Laboratuvar Testleri	59
4.3.1. Çelik Perde Duvarlarının Kanada’daki Testleri	59
4.3.2. Çelik Perde Duvarlarının Japonya’daki Testleri	63
4.3.3. Çelik Perde Duvarlarının İngiltere’deki Testleri	67
4.3.4. Çelik Perde Duvarlarının ABD’deki Testleri	68
4.3.5. Çelik ve Kompozit Perde Duvarlarının UC-Berkeley’deki	
Güncel Testleri	69
4.4. Yönetmelik Maddeleri	73
4.4.1 Çelik Perde Duvarlarının Sismik Tasarımı ile İlgili Yönetmelik	
Maddeleri	74
4.4.2 ABD Yönetmeliklerini Kullanarak Çelik Plaka Perde Duvar	
Sistemleri için Deprem Yüklerinin Belirlenmesi	74
4.4.2.1 Çelik Plaka Perde Duvarları için ρ Değeri	75
4.4.2.2. Çelik Plaka Perde Duvarları için Q_E (ve R-Faktörü) Değeri	75
4.4.2.3. Çelik Plaka Duvarlar İçin W_o ’ın Değeri:	85
4.4.2.4. Çelik Plaka Duvarlar İçin C_d ’nin Değeri:	85
4.4.3. Çelik Plaka Perde Duvarlar İçin Sismik Maddeler	85
4.4.4. Çelik perde duvarlar ile doğrudan ilgili AISC Sismik Maddeleri:	86
4.4.5. Kanada Yönetmeliği’nde Perde Duvar Tasarımı Üzerine Bilgi	87
4.5. Çelik Perde Duvarlarının Sismik Tasarımı	88
4.5.1. Çelik Perde Duvar Sistemlerinin Çeşitleri	88
4.5.2. Çelik Perde Duvarının Kesme Uygulandığındaki Davranışı	90
4.5.3. Çelik Plaka Perde Duvarlarının Performansa Dayalı Tasarımı	
İçin Tasarım Kriteri	92
4.5.4. Çelik Perde Duvar Sistemleri İçin Sismik Tasarım Yöntemi	
Geliştirilmesi	92
4.5.4.1. Ana Göçme Modu	93

4.5.4.2. Göçme Modlarının Hiyerarşik Sırası	94
4.5.4.3. Göçme Modları İçin Tasarım Eşitlikleri	95
4.5.5. Perde Duvarların Kesme, Eğilme ve Kesmeli Eğilme Kapasitelerinin Tespit Edilmesi	95
4.5.5.1. Çelik Perde Duvarların Kesme Kapasitesi	97
4.5.5.2. Perde Duvarın Eğilme Kapasitesi	99
4.5.5.3. Çelik Perde Duvarın Birleşik V_M ve V-M-P Kapasiteleri	99
4.5.6. Çelik Perde Duvar Plaklarının Sınır Kiriş ve Kolonlara Birleşimlerinin Tasarımı	99
4.5.7. Yukarıdaki ve Aşağıdaki Kiriş ve Kolonların Tasarımı	100
4.5.8. Analizlerde Çelik Perde Duvarının Modellenmesi	101
5. SAYISAL ÖRNEKLER	104
5.1 Yapıların Tanıtılması	104
5.2 Yapılacak Olan Elastik Analizle ilgili Genel Bilgiler ve Kabuller	105
5.3 Yapılara etkiyecek düşey yüklerin hesaplanması	106
5.4 Deprem yüklerinden oluşacak yatay yüklerin hesaplanması	106
5.5 Rüzgar yüklerinden oluşacak yatay yüklerin hesaplanması	106
5.6. Yapılara Uygulanan Yükleme Kombinasyonları:	106
5.7 Yapıların plan,kesit ve üç boyutlu modelleri	107
5.8 Seçilen Kesitler	132
5.9 Sonuç Tabloları	134
6. SONUÇLAR	141
KAYNAKLAR	146
EKLER	148
EK A	149
EK B	168
ÖZGEÇMİŞ	225

KISALTMALAR

ABYYHY	: Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik
AISC	: American Institute of Steel Construction
ASD	: Allowable Stres Design
LRFD	: Load and Resistance Factor Design
TS	: Türk Standardı
UBC	: Uniform Building Code

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 4.1 : Basit sismik kuvvet direnç sistemleri için tasarım katsayıları ve faktörleri.....	83
Tablo 4.2 : Çelik perde duvarları sismik kuvvet direnç sistemleri için önerilen tasarım katsayıları ve faktörleri.....	84
Tablo 4.3 : Kanada Yönetmeliği'ndeki çelik plaka perde duvarları ve R faktörleri.....	88
Tablo 5.1 : Yapıların tanıtılması.....	104
Tablo 5.2 : Seçilen kesitlerin katlara göre dağılımı.....	132
Tablo 5.3 : Taşıyıcı sistem şekline göre çıkan taşıyıcı sistem ağırlıkları	140
Tablo A.1 : Ampirik Doğal Titreşim Periyotları.....	152
Tablo A.2 : 5KM Yapısına etkiyen yatay yüklerin hesaplanması.....	153
Tablo A.3 : 5KM(R=3)Yapısına etkiyen yatay yüklerin hesaplanması.....	154
Tablo A.4 : 5KDM Yapısına etkiyen yatay yüklerin hesaplanması.....	155
Tablo A.5 : 5KP Yapısına etkiyen yatay yüklerin hesaplanması.....	156
Tablo A.6 : 10KM Yapısına etkiyen yatay yüklerin hesaplanması.....	157
Tablo A.7 : 10KM (R=3) Yapısına etkiyen yatay yüklerin hesaplanması....	158
Tablo A.8 : 10KDM Yapısına etkiyen yatay yüklerin hesaplanması.....	159
Tablo A.9 : 10KP Yapısına etkiyen yatay yüklerin hesaplanması.....	160
Tablo A.10 : 15KMV1 Yapısına etkiyen yatay yüklerin hesaplanması.....	161
Tablo A.11 : 15KMV2(R=3) Yapısına etkiyen yatay yüklerin hesaplanması.	162
Tablo A.12 : 15KDMV2 Yapısına etkiyen yatay yüklerin hesaplanması.....	163
Tablo A.13 : 15KP Yapısına etkiyen yatay yüklerin hesaplanması.....	164
Tablo A.14 : 15KMV2 Yapısına etkiyen yatay yüklerin hesaplanması.....	165
Tablo A.15 : 15KPV1 Yapısına etkiyen yatay yüklerin hesaplanması.....	166
Tablo A.16 : 15KPV2 Yapısına etkiyen yatay yüklerin hesaplanması.....	167

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa No
Şekil 1.1 : Süneklik tanımı.....	4
Şekil 2.1 : Merkezi çaprazlı çerçevelerin tipik biçimleri.....	9
Şekil 2.2 : Ters V - şeklindeki çaprazlı çerçevelerde göçme mekanizması..	10
Şekil 2.3 : Narin çapraz elemanların tersinir yükleme altındaki davranışı..	12
Şekil 2.4 : Narin çapraz elemanların tersinir modeli.....	13
Şekil 2.5 : Narin X - şeklindeki çaprazlı çerçevelerin tersinir modeli.....	14
Şekil 2.6 : V - şeklindeki çaprazlı çerçevelerin “Tersinir Modeli”.....	14
Şekil 2.7 : Basitleştirilmiş model kullanılarak tersinir davranış.....	16
Şekil 2.8 : Çaprazlı sistemde düzlem dışı burkulma için çapraz eleman- düğüm levhası birleşimi.....	20
Şekil 3.1 : Dışmerkez çaprazlı çerçevelerde, "e" bağlantı kirişinin boyu...	21
Şekil 3.2 : Mimari gereksinimlerin sağlanması.....	23
Şekil 3.3 : Kiriş - kolon rijitlik oranının, çerçevenin rölatif rijitliği üzerindeki etkisi.....	25
Şekil 3.4 : Kesme şekil değiştirmesinin, çerçevenin rölatif rijitliği üzerindeki etkisi.....	26
Şekil 3.5 : Basit dışmerkez çaprazlı çerçevenin göçme mekanizması ve yapının şekil değiştirmesiyle bağlantı kirişinin şekil değiştirmesi arasındaki basitleştirilmiş ilişkiler.....	27
Şekil 3.6 : Geniş başlıklı kirişlerin, kesme - moment etkileşim diyagramı.	29
Şekil 3.7 : Kısa bağlantı kirişleri için rijitleştirici aralıkları.....	32
Şekil 3.8 : Orta uzunluktaki bağlantı kirişleri için rijitleştirici aralıkları...	34
Şekil 3.9 : Uzun bağlantı kirişleri için rijitleştirici aralıkları.....	36
Şekil 3.10 : Bağlantı kirişinin iki çapraz eleman arasına yerleştirilmesi.....	38
Şekil 3.11 : Bağlantı kirişinden kolon gövdesine olan birleşimin tasarımı...	39
Şekil 4.1 : Tipik bir plaka kiriş ve tipik bir çelik perde duvarı.....	42
Şekil 4.2 : Çaprazlı üç açıklık (yukarıdaki sıra) ve çelik perde duvarlı aynı açıklıklar.....	44
Şekil 4.3 : Boşluklu çelik perde duvarlarının örnekleri.....	46
Şekil 4.4 : Nippon çelik binasının tipik kat planı.....	47
Şekil 4.5 : Nippon çelik binasında kullanılan çelik plaka perdelerin detayları.....	47
Şekil 4.6 : Tokyoda’ki 56 katlı binanın planı ve enine kesiti.....	48
Şekil 4.7 : Dallas’taki 30 katlı yapının görünüşü.....	49
Şekil 4.8 : Sylmar Hastanesi’nin bir görünüşü.....	50
Şekil 4.9 : Sylmar Hastanesi’nin berkitilmiş çelik perde duvarlarının bir görünüşü.....	51
Şekil 4.10 : Sylmar Hastanesi’nin aletlerle donatılmış hali, (CSMIP, 1994).....	52
Şekil 4.11 : Sylmar Hastanesi’nde aletlerden elde edilmiş kayıtlar, (CSMIP, 1994).....	52

Şekil 4.12	: Kobe'deki 35 katlı binanın yapısı ve görünüşü.....	53
Şekil 4.13	: 35 katlı binanın bir görünüşü ve 26. katın perde duvarlarının hasarı.....	54
Şekil 4.14	: Çok katlı Kobe yapısının KG ve DB çerçevelerindeki yer değiştirme sonuçları.....	54
Şekil 4.15	: Century binasının temsili resmi.....	55
Şekil 4.16	: Seattle binasının temsili resmi.....	56
Şekil 4.17	: Düşük Akma Noktalı (LYP) çelik plaka perde duvarlı binanın bir görünüşü ve duvarların yakın görünüşü.....	57
Şekil 4.18	: Düşük akmalı çelik plaka perde duvar kullanılarak yapılan Japonya'daki 31 katlı binanın karkas planı ve kesitleri.....	58
Şekil 4.19	: "Oiles Viskoz Duvar Perdeli" sistem ve bu sistemin kullanıldığı bir bina.....	59
Şekil 4.20	: Alberta Üniversitesi'nin ilk testi (statik yükleme).....	60
Şekil 4.21	: Alberta Üniversitesi'nin ikinci testi (döngüsel yükleme).....	60
Şekil 4.22	: Alberta Üniversitesi'nin test düzeneği ve histerik davranışın bir örneği.....	61
Şekil 4.23	: British Columbia Üniversitesi'nin iki numunesinden birisi ve histerik döngüsü.....	62
Şekil 4.24	: British Columbia Üniversitesi'nde test edilen numune ve tepkisi.....	63
Şekil 4.25	: Tipik test numunesi ve 1mm'lik plaka için tipik histerik döngüler.....	65
Şekil 4.26	: Gerilme-şekil değiştirme eğrileri ve düşük akmalı çeliğin histerik davranışı (Nippon Steel, 1998).....	66
Şekil 4.27	: Numunelerin tipik histerik davranışlarını ve test sırasındaki bir paneli göstermektedir.....	67
Şekil 4.28	: İngiltere'de test edilen numuneler ve mukavemet ve çelik plaka panellerinin rijitliği üzerine deliklerin etkileri (Roberts,1992).....	68
Şekil 4.29	: Test düzeneği ve numunelerin histerik davranışı.....	68
Şekil 4.30	: Tipik numune ve test düzeneği (Astaneh-Asl ve Zhao, 2000)...	70
Şekil 4.31	: Test edilen sistemin bileşenleri ve bulonlanmış uç.....	71
Şekil 4.32	: Testin sonundaki UCB-1 numunesi (Astaneh-Asl ve Zhao, 2000).....	71
Şekil 4.33	: Numune ikinin test sırasında ve sonrasında görüntüleri.....	72
Şekil 4.34	: Numune ikinin, iki katı için Kesme Kuvveti-Yer değiştirme histerik döngüleri (Astaneh-Asl ve Zhao, 2000).....	73
Şekil 4.35	: Çelik plaka perde duvarların iki tipi: (a) standart ve; (b) ikili sistem.....	89
Şekil 4.36	: Çelik perde duvarlarının davranışının üç bölgesi.....	91
Şekil 4.37	: Kesmeye direnen çelik perde duvarlarının "kesme akması" ve çekme bölgesi hareketi.....	91
Şekil 4.38	: Tipik çelik plaka perde duvarlarının soldan sağa doğru arzu edilen ana göçme modlarının sırası.....	95
Şekil 4.39	: Çelik plaka perde duvarının sınır giriş ve kolonlarına birleşimleri.....	100
Şekil 4.40	: Perde duvarları ile yer değiştirebilecek önerilen iki çubuk elman modeli.....	103
Şekil 5.1	: Yapıların tipik kat planları.....	107

Şekil 5.2.a	: (15KMOV2)/(15KMOV2(R=3))Merkezi çaprazlı 15 katlı yapının boy kesiti.....	108
Şekil 5.2.b	: 15KMOV2/15KMOV2(R=3)yapısının plan, görünüş, şekil değiştirmiş hali ve perspektifi.....	109
Şekil 5.3.a	: (15KDMV2) Dış merkezi çaprazlı 15 katlı yapının boy kesiti...	110
Şekil 5.3.b	: 15KDMV2 yapısının plan, görünüş, şekil değiştirmiş hali ve perspektifi.....	111
Şekil 5.4.a	: (15KPV2) Plaka perdeli 15 katlı yapının boy kesiti.....	112
Şekil 5.4.b	: 15KPV2 yapısının plan, görünüş, şekil değiştirmiş hali ve perspektifi.....	113
Şekil 5.5.a	: (10KM)/(10KM(R=3))Merkezi çaprazlı 10 katlı yapının boy kesiti.....	114
Şekil 5.5.b	: 10KM/10KM(R=3) yapısının plan, görünüş, şekil değiştirmiş hali ve perspektifi.....	115
Şekil 5.6.a	: (10KDM) Dış merkezi çaprazlı 10 katlı yapının boy kesiti.....	116
Şekil 5.6.b	: 10KDM yapısının plan, görünüş, şekil değiştirmiş hali ve perspektifi.....	117
Şekil 5.7.a	: (10KP) Plaka perdeli 10 katlı yapının boy kesiti.....	118
Şekil 5.7.b	: 10KP yapısının plan, görünüş, şekil değiştirmiş hali ve perspektifi.....	119
Şekil 5.8.a	: (5KM)/(5KM(R=3)) Merkezi çaprazlı 5 katlı yapının boy kesiti.....	120
Şekil 5.8.b	: 5KM/5KM(R=3) yapısının plan, görünüş, şekil değiştirmiş hali ve perspektifi.....	121
Şekil 5.9.a	: (15KDM) Dış merkezi çaprazlı 5 katlı yapının boy kesiti	122
Şekil 5.9.b	: 5KDM yapısının plan, görünüş, şekil değiştirmiş hali ve perspektifi.....	123
Şekil 5.10.a	: (5KP) Plaka perdeli 5 katlı yapının boy kesiti.....	124
Şekil 5.10.b	: 5KP yapısının plan, görünüş, şekil değiştirmiş hali ve perspektifi.....	125
Şekil 5.11.a	: (15KMOV1) Merkezi çaprazlı 15 katlı yapının boy kesiti.....	126
Şekil 5.11.b	: 15KMOV1 yapısının plan, görünüş, şekil değiştirmiş hali ve perspektifi.....	127
Şekil 5.12.a	: (15KPV1) Plaka perdeli 15 katlı yapının boy kesiti.....	128
Şekil 5.12.b	: 15KPV1 yapısının plan, görünüş, şekil değiştirmiş hali ve perspektifi.....	129
Şekil 5.13.a	: (15KP) Plaka perdeli 15 katlı yapının boy kesiti.....	130
Şekil 5.13.b	: 15KP yapısının plan, görünüş, şekil değiştirmiş hali ve perspektifi.....	131
Şekil 5.14	: Seçilen kesitlerin profilleri.....	133
Şekil 5.15	: 15 katlı yapılar için yer değiştirme oranının karşılaştırması.....	134
Şekil 5.16	: 10 katlı yapılar için yer değiştirme oranının karşılaştırması.....	135
Şekil 5.17	: 5 katlı yapılar için yer değiştirme oranının karşılaştırması.....	136
Şekil 5.18	: 5 katlı yapılar için taşıyıcı sistem ağırlıklarının karşılaştırması	137
Şekil 5.19	: 10 katlı yapılar için taşıyıcı sistem ağırlıklarının karşılaştırması.....	138
Şekil 5.20	: 15 katlı yapılar için taşıyıcı sistem ağırlıklarının karşılaştırması.....	139
Şekil A.1	: Çatı katına etkiyen G yüklemesinin kirişlere dağılmış hali.....	150

Şekil A.2	: Çatı katına etkiyen Q yüklemesinin kirişlere dağılmış hali.....	150
Şekil A.3	: Normal katlara etkiyen G yüklemesinin kirişlere dağılmış hali.	151
Şekil A.4	: Normal katlara etkiyen Q yüklemesinin kirişlere dağılmış hali.	151
Şekil A.5	: Plaka Modeli.....	217

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}	: Plakanın net alanı
A_w	: Duvarın kesme alanı= dt_w
a	: Çekme bölgesi hareketi eşitliklerindeki kat yüksekliği (AISC, 1999)
b	: Berkitilmemiş elemanın genişliği
b_f	: Flanşın genişliği
C_d	: Büyütme katsayısının sapması
C_{pr}	: Birleşim mukavemetinin maksimumunu hesaplamak için bir katsayı(FEMA 2000)
C_s	: IBC-2000 tarafından verilen sismik katsayı
C_v	: Plakanın kritik kesme burkulması geriliminin kesme akması gerilimine oranı
D	: Ölü yükün etkisi (IBC-2000)
D	: Deliğin çapı
d	: Duvarın tüm genişliği
d_w	: Perde duvarın genişliği, kolon flanşlarının dışından dışana olan mesafe
E	: Elastisite modülü
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 duvarının belirlenmiş akma mukavemeti
F_u	: Belirlenmiş minimum çekme mukavemeti (AISC-1997)
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	: Tepki modifikasyon faktörü
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 mukavemet

R_u	: Gerekli mukavemet
R_{US}	: ABD yönetmeliklerindeki R faktörü
R_y	: Beklenen akma mukavemeti F_{ye} 'nin, minimum belirli akma mukavemeti F_y 'ye oranı (AISC 1998)
r	: Burkulmada dönmenin yarıçapı
r_{max}	: r_{maxi} 'nin maksimum değerleri
r_{maxi}	: Verilmiş yükleme doğrultusu için, katta bulunan en çok yüklü tekil elemanın tasarım kat kesme direncinin toplam kat kesmesine oranı(IBC 2000)
S_I	: 1 sn'lik periyotta göz önünde bulundurulmuş maksimum deprem spektral etki ivmesi(IBC 2000)
S_{DS}	: 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, IBC 2000
Δ	: Tasarım kat ötelemesi (AISC 1997)
Δ_u	: Sınır yer değiştirme
Δ_y	: Akma yer değiştirmesi
α	: Perde duvarı yerine yerleştirilen çubukların açısı
ϕ	: Dayanım katsayısı
ϕ_v	: Kesmede dayanım katsayısı=0,90,(AISC 1997)
ϕ_c	: Basıncıta dayanım katsayısı=0,85,(AISC 1997)
λ_c	: Kolonun narinlik parametresi $= (KL / \pi r) \sqrt{F_y / E}$
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 duvarları için h/t_w 'nin sınırı
μ	: Süneklik (sınır yer değiştirme/akma yer değiştirmesi)
ρ	: Sistem fazlalığı üzerine 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

ÇELİK ÇAPRAZLI SİSTEMLERLE ÇELİK PLAKA PERDE DUVARLARIN YATAY YÜKLER ALTINDA İNCELENMESİ

ÖZET

Yüksek lisans tezi olarak sunulan bu çalışmada, çelik yapılardaki merkezi çaprazlı çerçeveler, dışmerkezi çaprazlı çerçeveler ve plakalı perde duvarlı çerçeveli sistemler tanımlanmış ve bu sistemlerle oluşturulan örnek 15 adet yapı ağırlık ve yer değiştirme oranları açısından karşılaştırılmıştır. Yapıların kat planları aynı olup, yükseklikleri ve çaprazlanma şekilleri farklıdır. Örnekte ele alınan 15 adet yapı 3 ayrı grup olarak oluşturulmuştur. I grup 5 katlı, 18,5 m yüksekliğindedir. II. grup 10 katlı, 37 m yüksekliğindedir. III. grup 15 katlı, 55,5 m yüksekliğindedir.

Altı bölümden oluşan çalışmanın ilk bölümü konu, amaç ve tarifleri kapsar.

İkinci bölümde merkezi çaprazlı çerçevelerin tanımı, şekilleri, tersinir yükler altındaki davranışları ve süneklik düzeyleri tanımlanmıştır.

Üçüncü bölümde dışmerkez çaprazlı çerçevelerin tanımları, şekilleri, davranışlarını belirleyen özellikler tanımlanmıştır.

Dördüncü bölümde, çelik plaka perde duvarların tanımı, kullanımı ve sismik davranışları, laboratuvar testleri, yönetmelik maddeleri, sismik tasarımları üzerine bilgi verilmiştir.

Beşinci bölümde, üç gruptan oluşan 15 adet yapı tanıtılmış, yapılmış olan elastik analizle ilgili genel bilgiler ve kabuller verilmiş, yapılara etkiyecek düşey yükler hesaplanmış, deprem yüklerinden oluşacak yatay yükler hesaplanmış, rüzgar yüklerinden oluşacak yatay yükler hesaplanmış, yapılara uygulanan yükleme kombinasyonları verilmiş, yapıların planı, kesiti ve üç boyutlu modelleri verilmiş, seçilen kesitler ve sonuç tabloları gösterilmiştir.

Son bölümde, çalışmanın ana özellikleri ve sayısal incelemeden elde edilen sonuçlar açıklanmıştır.

STUDYING STEEL BRACED FRAME SYSTEMS AND STEEL SHEAR WALLS UNDER THE LATERAL LOADS

SUMMARY

In this study presented as a Master of Science Thesis, in the steel structures, concentrically steel braced frames, eccentrically steel braced frames and steel plate shear wall frame systems are defined and 15 sample buildings composed of these systems are compared by according to both their weight and their displacement ratio. The structures have the same plan, on the other hand, their heights and their bracing systems are different than each other. The considered 15 sample buildings are made of 3 different groups. I. group 5-storey is 18,5 m height. II. group 10-storey-height is 37 m height. III. group 5 storey-height is 55,5 m height.

The first chapter of the study, which is composed of six chapters, covers the description of the subject, aim and the scope.

In the second chapter, the definition, the bracing types, the cyclic behaviors, and the ductility levels of concentrically steel braced frames are defined.

In the third chapter, the definition, the bracing types, the properties which describe the behaviors of eccentrically steel braced frames are defined.

In the fourth chapter, information related with the definition, usage and their seismic behavior, laboratory tests, code provisions, seismic design of plate shear walls are given.

In the fifth chapter, 15 buildings made of 3 groups are defined, the general information and assumptions related with elastic analysis applied are given, vertical loads and the lateral loads applied to the structures by both earthquake and wind are evaluated, the load combinations are given, the plan, cross section and 3-D models are given, chosen sections and result tables are showed.

In the last chapter, the main characteristic of the study and evaluation of the numerical results are presented.

1. GİRİŞ

Doğal afetlerin en önemlilerinden biri olan depremin, meydana getirdiği etkiler yönünden de dikkate değer pek çok özelliği vardır. Deprem; toprak kaymaları, yapılarda hasar ve göçmeler meydana getirerek can kaybına neden olur. Deprem etkisinin en önemli özelliği, meydana gelen can kayıplarının hemen hemen hepsinin, insanlar tarafından inşa edilen yapıların davranışıyla ilgili olmasıdır. Bu nedenle bu etkinin incelenmesi ve depreme dayanıklı bina tasarımı da, özel bir mühendislik yaklaşımı gerektirir.

Depremin diğer bir özelliği de önceden bir uyan gelmeden meydana gelmesidir. Deprem meydana gelmeden önce bazı ön işaretler görülebilirse de, günümüzde depremin önceden tahmin edilmesi konusunda güvenilir sonuçlar henüz mevcut değildir. Gerçekte, depremin oluş zamanı yeter doğrulukta tahmin edilerek haber verebilse ve böylece insanların hayatı kurtarılabilse bile, yapılarda meydana gelen hasar ve göçmeler toplumun ekonomisinde önemli kayıplara neden olacağından, yapıların yine deprem etkisine dayanıklı inşa edilmesi gerekir.

1.1. Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımında Sınır Durumlar

Deprem kayıtlarının ve yeryüzünün tektonik yapısının incelenmesiyle deprem bölgeleri belirlenmiştir. Buna karşılık yapının ömrü boyunca meydana gelebilecek en büyük deprem hakkında tahmin yapmak zordur. Depreme dayanıklı yapı tasarımında tüm dünyada uygulanan ilke, yapının sık ve küçük şiddetteki depremleri elastik sınırlar içerisinde kalarak; orta şiddetteki 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 olmaksızın taşıyabilmesidir. Depremden hemen sonra yapının işlevine devam edebilmesi, meydana gelen deprem hasarının sınırlı ve onarılabılır olması, yapı içindekilerin can güvenliğinin sağlanması ve göçmenin önlenmesi şeklinde olmak üzere, değişik sınır durumlara (kullanılabilirlik, hasar kontrolü ve göçme kontrolü

sınır durumlarına) karşı belirli düzeylerde güvenlik sağlanması amaçlanmaktadır. Bu sınır durumları aşağıda açıklanmıştır.

1.1.1. Kullanılabilirlik Sınır Durumu

Yapının ömrü boyunca çok sayıda tekrarlanan hafif şiddetteki depremler altında, yapı taşıyıcı sisteminde ve yapısal olmayan elemanlarda hasar oluşmamalı, böylece yapının işlevini aksatmadan sürdürmesi sağlanmalıdır. Bu koşul yer değiştirmelerin öngörülen sınır değerlerden daha küçük olmasıyla sağlanır.

1.1.2. Hasar Kontrolü Sınır Durumu

Tekrarlama olasılığı daha düşük olan orta şiddetteki depremler altında, yapı taşıyıcı sisteminde ve/veya yapısal olmayan elemanlarda onarılabilecek düzeyde olan hasara izin verilebilir. Ancak bu hasarın ekonomik olarak onarılabilir düzeyde kalması gerekmektedir. Bu ikinci sınır durum, ekonomik olarak onarılıp güçlendirilebilecek durum (kullanılabilirlik sınır durumu) ile onarılıp güçlendirilmesi ekonomik olarak mümkün olmayan sınır durumu (göçme kontrolü sınır durumu) birbirinden ayırır. Yapının ömrü boyunca, taşıyıcı sistemi bu sınır durumuna getirecek depremin oluşma ihtimalinin düşük olması gerekir. Bu sınır durumu, genellikle deprem yönetmeliğinde boyutlamaya etkili olacak deprem ivmesinin dolayısıyla kuvvetlerin öngörülmesi şeklinde ortaya çıkar.

1.1.3. Göçme Kontrolü Sınır Durumu

Ender olarak meydana gelebilecek çok şiddetli depremler altında, yapı taşıyıcı sisteminde ve yapısal olmayan elemanlarda onarılamayacak hasarın meydana gelmesi kaçınılmazdır. Ancak, böyle bir durumda göçme mekanizmasının kontrol edilerek, yapının kısmen veya tamamen göçmesinin meydana gelmesinin engellenmesi ve yapının içindekilerin hayatının korunması bu sınır durumu tanımlar. Bu koşulun sağlanabilmesi için yapı sisteminin yeterli bir dayanıma sahip olması ve göçme yükünden önce yeterli düzeyde elastik olmayan şekildeğiştirme yapabilmesi istenir. Böylece, deprem enerjisinin bir bölümünün elastik olmayan şekildeğiştirmeler yoluyla tüketilmesi amaçlanmaktadır.

1.2. Depreme Dayanıklı Yapılarda Aranılan Özellikler

Önceki bölümde açıklanan üç sınır duruma karşı öngörülen güvenliğin sağlanabilmesi; yapının genel davranışının kontrol edilmesiyle ve yapının yeterli seviyede yatay rijitlik, dayanım ve süneklilik Özelliklerine sahip olmasıyla mümkün olmaktadır. Bu özellikler aşağıda açıklanmıştır.

1.2.1. Yapının Genel Davranışı

Yapının genel davranışının istendiği gibi olabilmesi için, taşıyıcı sistemin düzenlenmesinde aşağıdaki özelliklerin ortaya çıkmasına özen gösterilmelidir.

- *Taşıyıcı sistemin basitliği:* Deprem etkilerinin, meydana geldiği yerden zemine, açık ve dolaysız yollardan iletilmesi sağlanmalıdır. Bu tür basitlik durumunda, taşıyıcı sistemin modellenmesi, çözümlenmesi, boyutlanması, ve inşa edilmesi çok daha az belirsizlik içerir ve bu tür bir yapının deprem davranışının belirlenmesi çok daha güvenilirlerdir.
- *Düzensizlik ve simetri:* Taşıyıcı sistem elemanları planda düzensiz'dağıtılmalıdır, gerekirse bina parçalara bölünerek bu özellik sağlanmalıdır.
- *Döşemelerin düzlemleri içinde rijit diyafram etkisi:* Binanın döşemeleri; taşıyıcı sistemin deprem davranışında, deprem kuvvetlerinin toplanması, dağıtılması ve sistemin beraber çalışması bakımından önemli bir rol oynar. Bu nedenle döşemelerin yeterli rijitliğe sahip olması çok Önemlidir. Planda çok dağınık veya çok uzun dikdörtgen şeklinde bina düzeninden ve büyük boşluklardan, döşemenin rijit diyafram etkisini önleyeceği için kaçınılmalıdır.
- *Yeterli temel:* Temelin ve üst yapıya bağlantısının yeterli seviyede düzenlenmesiyle, bütün binanın deprem etkisinde düzensiz bir şekilde zorlanması ve ek etkilerin oluşmaması sağlanmalıdır.

1.2.2. Rijitlik ve Dayanım

Öngörülen bir deprem etkisine karşı taşıyıcı sistemin gerekli rijitliğe sahip olması, yatay ve düşey yükler altında, yapının yer değiştirmelerinin doğrusal elastik bölgede kalması ve sınırlı olmasıyla karşılanır. Böylece, kullanılabilirlik sınır durumuna karşı belirli bir güvenlik sağlanabilmektedir.

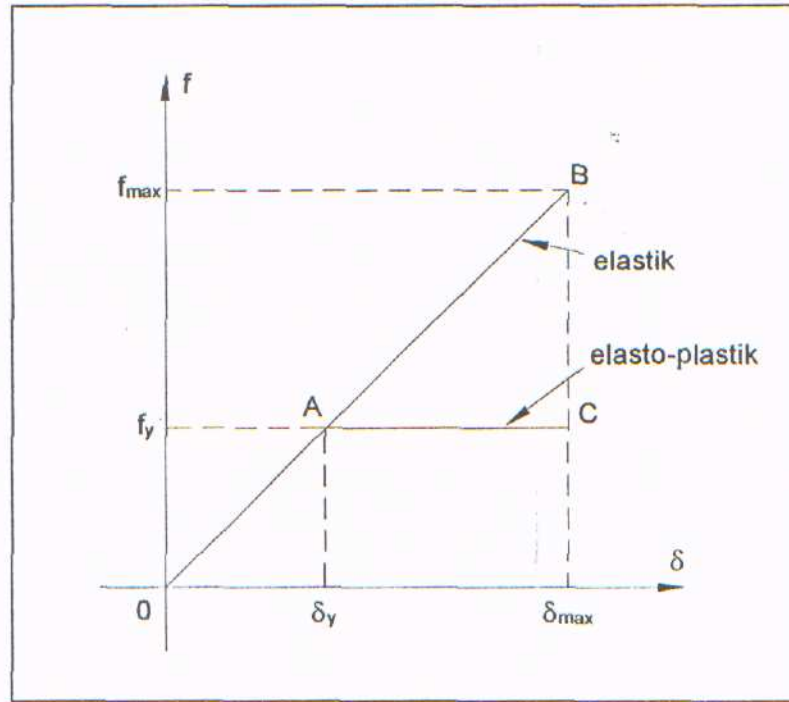
Öngörülen bir deprem etkisine karşı taşıyıcı sistemin gerekli dayanıma sahip olması boyutlamanın esasını teşkil eder. Yapının göçme yükü yeterince büyük olmalı, tasarıma esas olan yatay ve düşey hesap yükleri altında bölgesel ve ani göçmeler meydana gelmemelidir.

Yapı, yanal rijitlik ve dayanım yanında, yeterli burulma rijitliği ve dayanımına da sahip olmalıdır.

1.2.3. Süneklik

Süneklik, bir kesitin veya bir elemanın veya bir taşıyıcı sistemin, dış yükte önemli bir değişme olmaksızın, elastik sınırın ötesinde şekil değiştirme, dolayısıyla yer değiştirme yapma özelliğinin ölçüsüdür. Sayısal tanım olarak sistem süneklik oranı, göçme sırasındaki toplam şekil değiştirmelerin doğrusal şekil değiştirmelere oranıdır.

Şekil 1.1'de bir elemanın kuvvet-yer değiştirme değişimi gösterilmiştir. OAC elemanın mevcut elasto-plastik davranışına, OAB ise elastik özelliğin devam etmesi durumunda erişilen δ_{max} en büyük yer değiştirmesine karşı gelmektedir.



Şekil 1.1: Süneklik Tanımı [1]

1.3. Depreme Dayanıklı Çelik Yapı Tasarımı

Çelik yapılar, yüksek dayanım ve süneklik özelliklerinden dolayı büyük deprem performansına sahip olduklarından deprem bölgelerinde çoğunlukla tercih edilmektedirler. Uygun deprem tasarımı yapıda; kullanılabilirlik, hasar kontrolü ve göçme kontrolü sınır durumları olarak belirlenen temel gereksinimleri karşılayacak şekilde tasarlanmalıdır. Sınır durumlarının göz önüne alınması olası bir depremin yıkıcı gücüyle çok ilgilidir. Hatta kullanılabilirlik sınır durumu kontrolünde yapının ömrü boyunca birçok kez etkiyen düşük şiddetli depremler için yapı tümüyle yeterli dayanıma sahip olmalıdır. Bu kontrol yapısal olan ve yapısal olmayan bileşenlerde hiç hasar olmamasını gerektirir. Bundan başka yapının yapım amacına bağlı olarak fonksiyonuna devam etmesi sağlanmalıdır.

Anlaşılabacağı gibi bu gereksinimlerin sağlanabilmesi için, yapının tasarımı elastik sınır içinde kalmalıdır ve böylece de yapısal bileşenlerde hiç hasar oluşmaması sağlanmalıdır. Ayrıca, yeterli rijitliğin sağlanabilmesi için yapısal olmayan bileşenlerde hasar oluşmasından ve de yapının yapım amacına bağlı olarak gerçekleşen faaliyetlerinin yarıda kesilmesinden kaçınılmalıdır.

Orta şiddetli depremlerde kullanma sınır durumu kontrolü aranmaz. Bu tür depremler sonucunda yapısal olmayan bileşenlerde hasar oluşabilir, istisna olarak sivil savunma için önemli olan yapılar kapsam dışıdır.

Son olarak da göçme sınır durumuyla, güvenliğin göz önüne alındığı şiddetli depremler için depremin geri-dönüş periyodu yapının geri-dönüş periyodundan büyüktür. Bu durumda göçme kontrolü sınır durum kontrolü için, yapı deprem esnasında gelen enerjiyi tüketerek karşılamalı ki, eğer yapıda onarılamayacak kadar büyük bir hasar oluşursa yapının tümünden göçmesi engellenmeli ve yapının içindekilerin hayatının korunmasını sağlanmalıdır.

Süneklik tanımı ve taşıyıcı sistemin enerji tüketme kapasitesi arasındaki ilişki taşıyıcı sistemin depreme karşı davranışını belirler. Deprem riskinden korunmak için geliştirilen yeni tekniklerin dışında, deprem enerjisi, tasarımda belirli koşulların yerine getirilmesiyle enerjinin tüketileceği bölgelere yönltilmekte ve

yoğunlaştırılmaktadır. Yatay yük etkisindeki çelik yapı tasarımında bu gereksinimler şu dört farklı yapı tipi sayesinde karşılanabilir :

- moment taşıyabilen çerçeveler,
- merkezi çaprazlı çerçeveler,
- dışmerkez çaprazlı çerçeveler,
- plaka perde duvarlı çerçeveler.

Kullanılabilirlik ve hasar kontrolü sınır durumları iyi seviyede olduğu süre boyunca, yapı tipine bağlı olarak farklı öneme sahip olurlar. En önemli tasarımı kontrolü her durumda göçmeye karşı güvenliğin sağlanmasıdır. Çeliğin en önemli iki özelliği, sünekliği ve çevrimsel plastik yükleme etkisindeki enerji tüketme kapasitesidir. Yukarıda belirtilen yapı tipleri için tasarım kuralları genel olarak yatay yükleri lineer elastik bölgede kalarak iletmek için verilmekteydi. Bu taşıyıcı sistemlerin tasarımında belirli kurallara uyulduğunda deprem etkisi altında plastik çevrimsel cevaplarının arttırılabildiği, başka bir deyişle süneklik düzeyi yüksek taşıyıcı sistemler elde edilebileceği yapılan araştırmalarla gösterilmiştir.

Merkezi çaprazlı çerçevelerle dışmerkez çaprazlı çerçevelerin elastik ötesi davranışlarının incelenmesi enerji tüketme kapasitelerinin anlaşılmasını kolaylaştırmaktadır. Dışmerkez çaprazlı çerçeveler, moment taşıyabilen çerçevelerle merkezi çaprazlı çerçeveler arasında bir davranış gösterirler.

1.4. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Bu tez çalışmasının amacı; kat planları aynı, üç farklı yükseklikteki çelik yapıların farklı taşıyıcı sistemlerle düzenlenerek yatay yükler altında incelenmesidir. Bu taşıyıcı sistemler merkezi çaprazlı, dışmerkezi çaprazlı ve plaka perde duvarlı sistemlerden oluşmaktadır. 4 adeti 5 katlı, 4 adeti 10 katlı ve 7 adeti 15 katlı olmak üzere toplam 15 adet yapı incelenecektir. Elastik analizlerde SAP 2000 V8 bilgisayar programı kullanılacaktır. Sonuçta, yapıların taşıyıcı sistem ağırlıkları ve yer değiştirme oranları karşılaştırılacaktır.

Tezin sunuluşunda izlenen yol şu aşamalardan oluşmaktadır :

- (a). Merkezi ve dışmerkez çaprazlı çerçevelere ait genel bilgilerin verilmesi ve tersinir yükleme altında davranışlarının incelenmesi,

- (b). Çelik plaka perdelerin tanımı, kullanımı, sismik davranışı, laboratuvar testleri, yönetmelik maddeleri ve sismik tasarımı hakkında bilgi verilmesi,
- (c). ABYYHY ve AISC yönetmeliklerinde belirtilen tasarım kuralları göz önüne alınarak örnek 15 ayrı yapının, merkezi çaprazlı, dışmerkezi çaprazlı ve plaka perde duvarlı çerçeveyle boyutlandırılması,
- (d). Çalışmanın ana özellikleri ve sayısal sonuçların değerlendirilmesinden oluşmaktadır.

Aşağıdaki bölümlerde bu aşamalar ayrıntılı olarak açıklanacaktır.

2. MERKEZİ ÇAPRAZLI ÇERÇEVELER

2.1. Tanım

Çapraz elemanlar çoğunlukla eksenel kuvvet etkisindedir. Merkezi çaprazlı çerçeveler yüklere karşı, elastik sınır içerisinde yeterli yanal rijitliği sağlayabilecek şekilde planlanmalıdır. Bu çerçeve sistemleri kullanma ve hasar kontrolü sınır durumları kontrollerinde olması gereken tüm gereksinimleri karşılamalıdır. Bu tip çerçeveler, servis yükleri altındaki bu iyi davranışına rağmen tersinir yükler altında enerji tüketme kapasiteleri sınırlıdır ve sonuç olarak yıkıcı depremlere karşı uygun değildir. Hatta deneysel sonuçları açısından merkezi çaprazlı çerçevelerin tersinir yüklere maruz kaldığında dayanım ve rijitlik değerlerindeki hızlı bir azalmaya uğradığı doğrulanmıştır. Depremselliği yüksek bölgelerde merkezi çaprazlı çerçevelerin kullanımı yukarıdaki nedenlerden dolayı tartışılmaktadır. Ancak moment taşıyabilen çerçevelerle bütünleştiği veya başka yapısal elemanlar yardımıyla enerji tüketme özelliğini sağlayabildiği durumlar bunun dışındadır. Bazı mevcut deprem yönetmeliklerince merkezi çaprazlı çerçeve kullanılmasına rağmen tasarım deprem kuvvetinin büyütülmesi istenmektedir [4-7]. Bu maddenin amacı deprem hareketi altında beklenen olası büyük ve kontrol dışı olan plastik deplasman olasılığını azaltmak içindir.

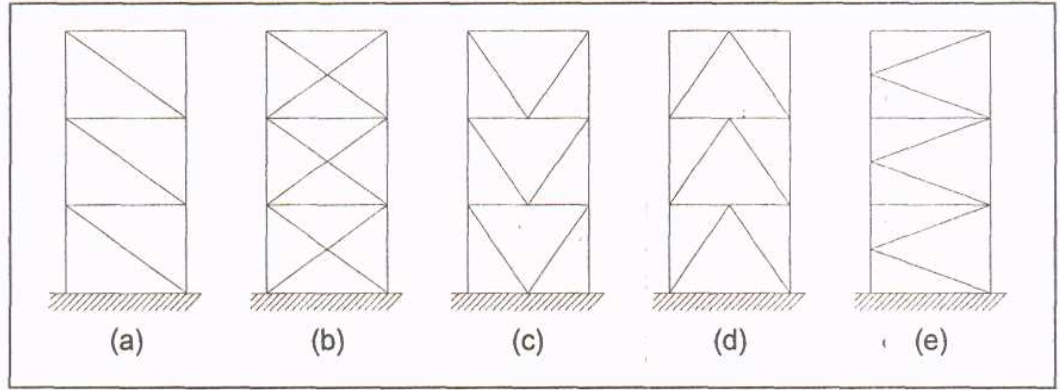
Merkezi çaprazlı çerçeveler, yatay yüklerin hepsini yada sadece bir kısmını taşıyacak şekilde tasarlanır. İlk durumda giriş kolon birleşimleri sadece kesme kuvvetlerini aktarırlar, ikinci durumdaysa hem kesme kuvvetlerini hem de eğilme momentlerini aktarırlar. Her iki durumda da birleşimler tam dayanımlı olmak zorundadır.

Çapraz elemanlar, rijit düğüm noktalı çerçevelerde bile çoğunlukla eksenel kuvvetler etkisinde kalacak şekilde tasarlanmalıdır. En tipik biçimleri **Şekil 2.1**'de gösterilmiştir :

- (a). Tek çaprazlı çerçeveler,
- (b). X - şeklindeki çaprazlı çerçeveler,
- (c). V - şeklindeki çaprazlı çerçeveler,

(d). Ters V - şeklindeki çaprazlı çerçeveler,

(e). K - şeklindeki çaprazlı çerçeveler,



Şekil 2.1: Merkezi Çaprazlı Çerçevelerin Tipik Biçimleri [6]

2.1.1. Tek Çaprazlı Çerçeveler

Çerçevede tek çapraz eleman kullanılıyorsa, bu eleman hem basınç hem de çekmeyi taşıyabilecek şekilde tasarlanmalıdır. Bu nedenle çapraz elemanlarının yeterince iyi boyutlandırılması gerekir. Gelen deprem enerjisi çapraz elemanın tersinir eksenel şekil değiştirmesi sayesinde tüketilir. Burkulma nedeniyle eksenel yüklü elemanların simetrik olmayan davranışlarından dolayı, bu tip tek çaprazlı çerçeveler yerine çift çaprazlı çerçeveler daha çok kullanılmaktadır. Çift çaprazlı çerçeveler depremin etkidiği yönden bağımsız olarak her zaman bütün katlarda en azından bir çapraz elemanının çekme kuvveti taşımasını sağlarlar.

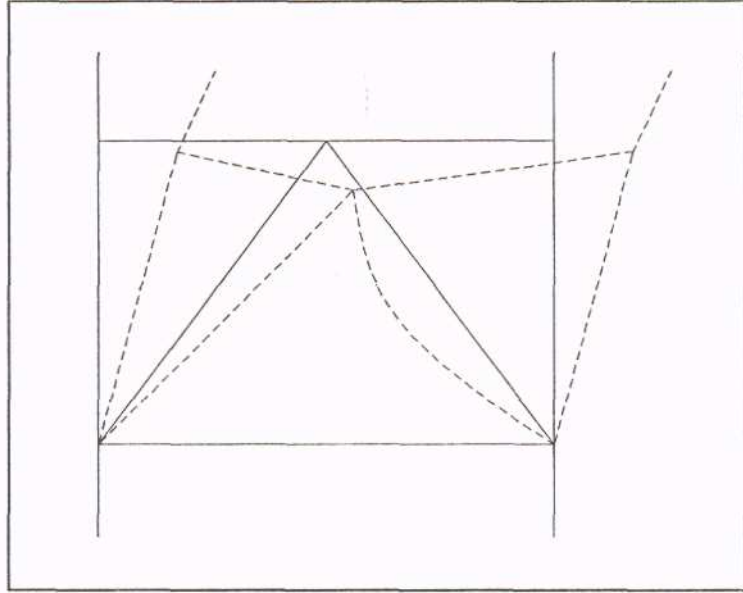
2.1.2. X - Şeklindeki Çaprazlı Çerçeveler

X - şeklindeki çaprazlı çerçevelerde her zaman çaprazlardan biri çekmeye diğeri de basınca çalışmaktadır. Gelen deprem enerjisi esas olarak çekme çaprazıyla tüketilir. Basınç çaprazının narinliğinin artmasıyla, enerji tüketilmesine çok önemsiz bir katkısı vardır.

2.1.3. V ve Ters V - Şeklindeki Çaprazlı Çerçeveler

Çekme çaprazı ve basınç çaprazı her zaman V ve ters V - şeklindeki çaprazlı çerçevelerde bulunmaktadır. Bu tipte X - şeklindeki çaprazlı çerçeveler arasındaki ana farklılık, çekme çaprazıyla basınç çaprazının davranışlarının farklı olmasından dolayı, V - şeklindeki çaprazlı çerçevelerde çapraz elemanlardaki eksenel

kuvvetlerden oluşan düşey etkidir. Bunun sonucunda yatay elemanda eğilme etkisi oluşur. Böyle tasarlanan yük taşıma kapasitesi tersinir yatay yüklere bağlıdır ve yatay elemanın sürekli elemandan oluşmasıyla elverişli olabilir (**Şekil 2.2**). Her ne kadar yatay eleman sürekli elemandan oluşsa da, V - şeklindeki çaprazlı çerçevede burkulma sonrası dayanımda küçük bir azaltma olmaktadır. Bu azaltmanın nedeni ters dönen yükler altında ilk olarak burkulan elemanın büyük olasılıkla kendi konumuna geri denememesinden ve çekme etkisi altındayken basınçtaki kapasitesini aşabilmesindendir. Bu anlamda her iki çapraz eleman da burkulmuş durumda olabilir. Bu davranış burkulma sonrası dayanımında hızlı bir azalmaya neden olabilmektedir [8].



Şekil 2.2: Ters V - Şeklindeki Çaprazlı Çerçevelerde Göçme Mekanizması [6]

2.1.4. K - Şeklindeki Çaprazlı Çerçeveler

K şeklindeki çaprazlı çerçevelerin güvenirliliği özellikle şiddetli deprem bölgelerinde yeterli değildir. Bu tip çerçeveler, V - şeklindeki çaprazlı çerçevelerle benzer davranış gösterirler ama burada tehlike daha fazladır. Kolonun ortasındaki yatay deplasman, kolonun yanal burkulmasına ve bu da beklenmedik göçmeye neden olur.

2.2. Merkezi Çaprazların Tersinir Yükleme Altındaki Davranışının Modellenmesi

2.2.1. Çapraz Elemanların Burkulmasının Tersinir Yükleme Altındaki Davranışa Etkileri

Basınç altındaki çaprazlarda burkulma olayı özellikle çok tehlikelidir, çünkü bu sayede istenmeyen farklı etkiler de oluşmaktadır :

- Basınç altındaki çapraz eleman burkulduğunda, üzerindeki eksenel yük aniden çekme altındaki çapraz elemana aktarılır, bu da üzerindeki gerilmeler açısından elverişsiz bir durum yaratır;
- Basınç altındaki çapraz elemanın yatay deplasmanına bağlı olarak, elemanların uçlarında oluşacak dönmeler birleşimlerin göçmesini sebep olacak kadar büyük olabilir. Sonuç olarak merkezi çaprazlı çerçevelerde plastik bölgede deformasyon için tasarlanan düğüm levhaları sıklıkla sistemdeki kritik tasarım elemanıdır.
- Basınç altındaki çapraz elemanın yatay deplasmanı kaplama panellerinin göçmesine neden olabilir.
- Düşey çapraz sistemlerinin yapının düşey enkesitindeki dağılımına göre burulmanın hesaba katılmadığı yapılarda, bazı çaprazlarda beklenmeyen burkulmalar simetrik olmayan davranışa yol açabilir, bu da elastik tasarım prosedürü bakımından önceden beklenmeyen ve de giderek artan burulma davranışına neden olur.

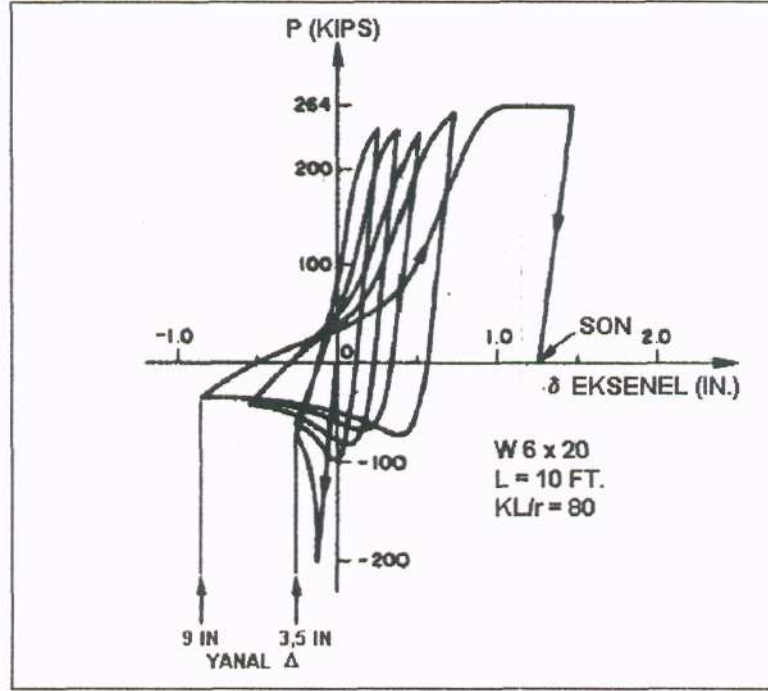
2.2.2. Çapraz Elemanın Narinliğinin Tersinir Yükleme Altındaki Davranışa Etkileri

Çok narin çapraz elemanlarının burkulma durumunda rijitlikleri yoktur (**Şekil 2.3**). Tersinir yükleme durumunda, çapraz elemanın hızla ilk konumuna geldiği ve çekme kuvvetini çok çabuk aldığı kabul edilir. Bu çabukluk çapraz elemanda darbe etkisine ve birleşimde gevrek kırılmaya neden olabilir.

Çapraz elemanların burkulmasıyla bu elemanlardaki tersinir plastik eğilmelerde artış olur. Tersinir eğilmelerden ortaya çıkan eğrilik büyük olabilir ve yerel burkulma oluşabilir. Bu yerel burkulma öyle şiddetli olabilir ki sonuç olarak birleşim levhalarında çatlama ve kırılmaya neden olabilir.

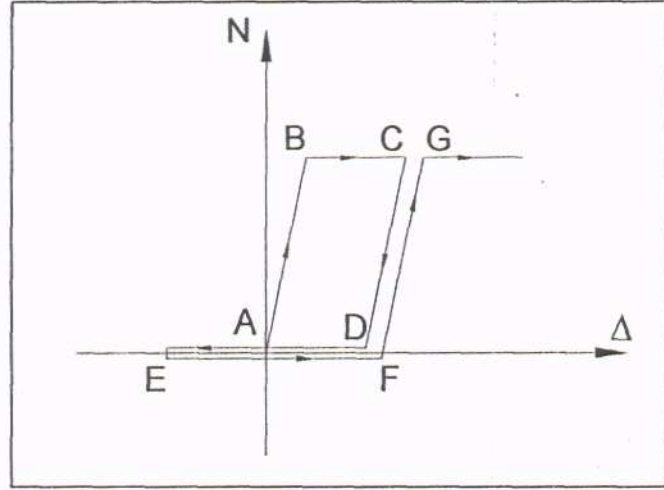
Diğer yandan azalmış narinlik değerine (yaklaşık olarak 60-80'den düşük) sahip çapraz elemanlarda basınç altında enerjinin tüketilmesi önemli orandadır, çünkü burkulma sonrasında tersinir plastik eğilme, yerel burkulma olayından çok az etkilenir.

Çapraz elemanların ve onların birleşimlerinin plastik davranışının deneysel incelemesi [9]'da yapılmıştır.



Şekil 2.3: Narin Çapraz Elemanların Tersinir Yükleme Altındaki Davranışı [6]

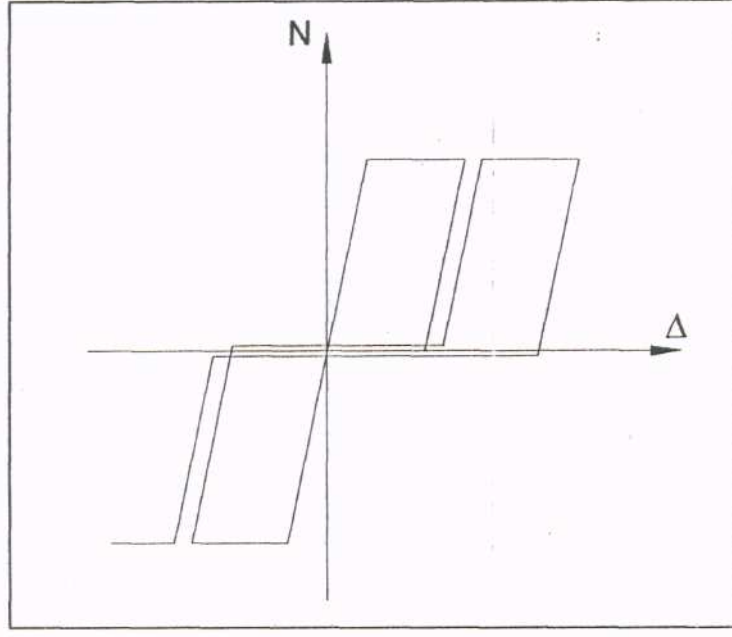
Basınç altındaki çapraz elemanların gelen deprem enerjisinin tüketilmesine katkısı oldukça azdır. Dolayısıyla bu katkı çok narin çapraz elemanlar kullanıldığında ihmal edilebilir (**Şekil 2.3**). Sonuç olarak böyle bir durumda çapraz elemanların tersinir davranışı basit bir model kabul edilerek anlatılabilir. **Şekil 2.4**'te görülen bu model basınç altında enerji tüketiminin olmamasıyla tanımlanır.



Şekil 2.4: Narin Çapraz Elemanların Tersinir Modeli [6]

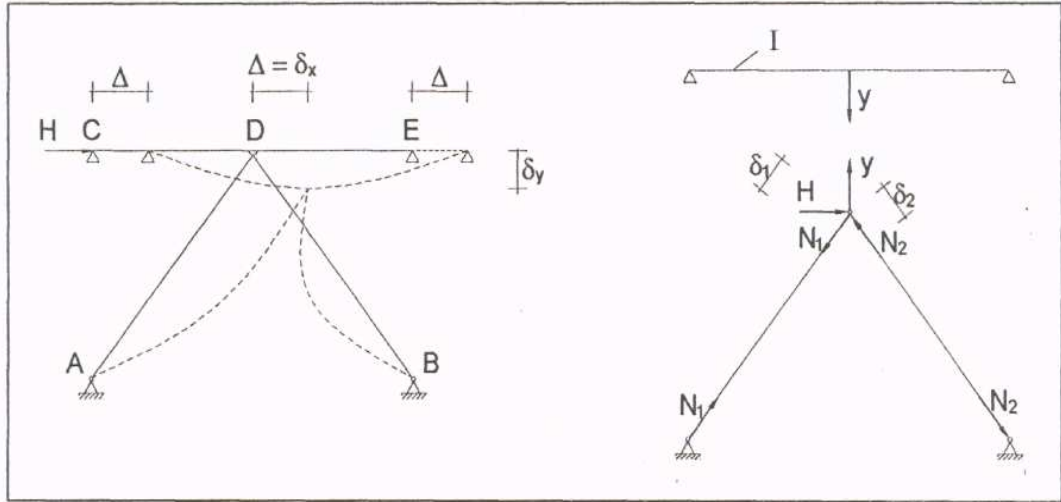
Eğer eleman başlangıçta çekmeyle yüklüyse, tersinir davranış akma kuvveti F_y 'ye (σ_y) ulaşana kadar ilk kısım elastik evreyi gösterir ve ikinci plastik kısım tam olarak plastikleşme ve pekleşme davranışına karşı gelir. Yükleme olmadığı evrede davranış elastiktir ve devamında burkulma oluşturan en büyük eksenel yüke ulaşınca kadar basınç yüklemesi yapılır. Burkulma sonrası davranış, sadece burkulma sonrası ortaya çıkan tüm deformasyon geri döndüğünde, elemanın tekrar çekmeyle yüklenebilmesi ile tanımlanır. Genelde başka bir enerji tüketilmesi olmaksızın bu şekildeki geri dönüşlerin olabileceği kabul edilir. Bu bakımdan eleman tekrar çekmeyle yüklenirse öncekine benzer yeni yükleme eğrisi gösterir, fakat önceki tekrardan dolayı artan plastik şekil değiştirmeye bağlı olarak bu çevrim eğrisi değişecektir.

Narin çapraz elemanlara sahip X - şeklindeki çaprazlı elemanların tersinir yükleme altındaki davranışı **Şekil 2.4**'te tanımlanan iki çapraz elemanın tersinir davranışının birleşiminden oluşur (bkz. **Şekil 2.5**).



Şekil 2.5: Narin X - Şeklindeki Çaprazlı Çerçevelerin Tersinir Modeli [6]

V şeklindeki çaprazlı çerçevelerin tersinir davranışı üzerinde, yatay elemanın tersinir yükleme etkisi altındaki eğilmesi ile çapraz elemanların tersinir eksenel şekil değiştirmeleri arasındaki etkileşimi temel bir rol oynar.



Şekil 2.6: V - Şeklindeki Çaprazlı Çerçevelerin "Tersinir Modeli" [6]

V - şeklindeki çaprazlı çerçevelerin tersinir davranışını açıklamak için tersinir analitik bir model düşünülmüştür [10]. Kiriş - kolon birleşiminde yalnızca kesme kuvvetlerinin aktarıldığı kabulüyle basitleştirilmiş kat çapraz elemanları **Şekil 2.6**'da gösterilmiştir. D noktasının düşey ve yatay ötelenmesi için denge denklemleri,

$$N1 \cos\alpha + N2 \cos\alpha = H \quad (2.1)$$

$$N1 \sin\alpha - N2 \sin\alpha = Y \quad (2.2)$$

olarak yazılabilir. N1 ve N2 çapraz elemanlardaki çekme ve basınç eksenel kuvvetleridir, H kat kesme kuvveti olarak tanımlanan yatay dış kuvvet ve Y ise yatay eleman ile çapraz elemanlar arasındaki etkileşim kuvvetidir.

D noktasının deplasman bileşenleri δ_x ve δ_y ile çapraz elemanların eksenel deplasmanları δ_1 ve δ_2 arasındaki ilişki virtüel iş teorisiyle bulunabilir :

$$\delta_x = (\delta_1 + \delta_2) \frac{1}{2\cos\alpha} \quad (2.3)$$

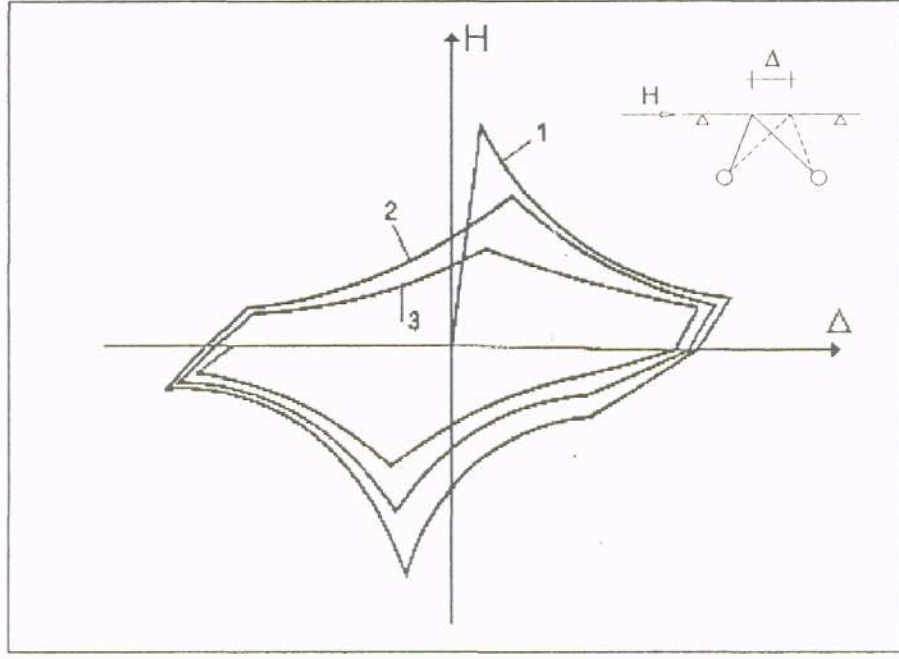
$$\delta_y = (\delta_1 - \delta_2) \frac{1}{2\sin\alpha} \quad (2.4)$$

Sonuç olarak, uygunluk denklemi;

$$\frac{Y}{K} + \delta_y = 0 \quad (2.5)$$

olarak elde edilir. Burada K, yatay elemanın D noktasındaki düşey rijitliğini göstermektedir. Çapraz elemanların tersinir yük altındaki davranışı belirlendiği zaman, yukarıdaki bağıntılar kullanılarak bir katlı V - şeklindeki çaprazlı çerçeve modelinin tersinir davranışı belirlenebilir.

V - şeklindeki çaprazlı çerçevelerin tersinir davranışı, dayanım ve rijitlikteki hızlı bir azalmanın tanımlanmasıyla modellenir (**Şekil 2.7**).



Şekil 2.7: Basitleştirilmiş Model Kullanılarak Tersinir Davranış [6]

2.3. Merkezi Çaprazlı Çerçevelerde Süneklik Düzeyi

Çapraz elemanların eksen çizgilerinin bir noktada kesiştiği merkezi çaprazlı çerçevelerden oluşan düşey kafes sistem, yatay kuvvetleri karşılar. Merkezi çaprazlı çerçeveler geometrilerinden dolayı, elastik bölgede eksenel kuvvet etkisinde kalan elemanlarıyla tam olarak kafes davranış gösterirler. Yine de orta şiddetliden şiddetliye kadar olan depremlerde, burkulma ötesi bölgede çapraz elemanlarda ve bunların birleşimlerinde önemli plastik şekil değiştirmeler beklenir.

Son zamanlarda, merkezi çaprazlı çerçevelerin depreme ilişkin tasarım kurallarına ilave olarak, daha yüksek tasarım kuvvetleri olduğunda plastik davranışı azaltabilmek için çapraz elemanların dayanımlarının ve rijitliklerinin artırılmasına önem verildi. Buna bağlı olarak, süneklik ve enerji tüketme kapasitelerini arttırmak için ilave koşullar eklendi. Çerçeveler tasarım deprem kuvveti etkisi altında kaldığında, elemanların ve birleşimlerinin sınırlı veya daha önemli plastik şekil değiştirmelere dayanması süneklik düzeyini belirler. Sünek davranışı sağlayan detaylandırma gereksinimlerinin yerine getirilmesine bağlı olarak merkezi çaprazlı çerçeve sistemleri deprem tasarımında iki şekilde göz önüne alınmaktadır:

- Süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı çerçeveler,
- Süneklik düzeyi normal merkezi çaprazlı çerçeveler.

Süneklik düzeyi normal merkezi çaprazlı çerçeveler için verilen kurallar süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı çerçeveler için sünek davranışı sağlayan detaylandırma gereksinimlerinin birçoğunu kapsar.

Genel olarak süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı çerçeveler* için gereken dayanım şiddetli bir depremde plastik deformasyonların çok büyük olmaması kabulüne dayanan bir davranış gösteren süneklik düzeyi normal merkezi çaprazlı çerçeveler için gereken dayanımdan daha yüksektir.

Tasarım deprem kuvvetleri etkisi altında süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı çerçevelerin önemli plastik şekil değiştirmelere dayanması beklenir. Basınç alan çapraz elemanlar burkulduğunda dayanımdaki küçük azalmaya bağlı olarak, süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı çerçeveler süneklik düzeyi normal merkezi çaprazlı çerçevelere göre artmış bir sünekliğe sahiptir.

Şiddetli bir deprem esnasında, merkezi çaprazlı çerçevelerdeki çapraz elemanlar burkulma-sonrası bölgede tersinir çekme ve basınç altında büyük şekil değiştirmelere maruz kalırlar. Sonuç olarak plastik mafsallarda tersinir dönmeler meydana gelir, bunlar da moment taşıyabilen çerçevelerdeki kiriş ve kolonlardaki davranış ile hemen hemen aynıdır. Aslında tipik merkezi çaprazlı çerçevelerdeki çapraz elemanlarda akma ve burkulmanın daha çok ortalama kat ötelemelerinin 3% ile 5%'i civarlarında olması beklenebilir. Şiddetli bir depremde, çapraz elemanların burkulma-sonrası eksenel şekil değiştirmeleri akma şekil değiştirmesinin 10 ile 20 katıdır. Bu büyük tersinir şekil değiştirmelere herhangi bir yetersizlik olmadan ulaşmak için çapraz elemanların ve bunların birleşimlerinin uygun bir biçimde detaylandırılmış olması gereklidir.

Eski depremlerde oluşan hasarlar ve laboratuarda merkezi çaprazlı çerçevelerin deneylerinde gözlemlenen hasarların genellikle sınırlı süneklik ve gevrek kırılma sonucu olduğu görülmüştür, bu da çoğunlukla birleşim yada çapraz elemanların çatlama veya kırılmasıyla ortaya çıkmıştır. Çapraz elemanların enkesitlerinin kompakt olmayışı dolayısıyla önemli yerel burkulmalar, bu bölgede eğilme şekil değiştirmelerinin büyük değerlere ulaşmasına ve sünekliğin azalmasına neden olur.

Uygun bir biçime sahip olan merkezi çaprazlı çerçevelerde elemanların tasarım ve detaylandırılmasının sünekliği etkileyebildiği araştırmalarca gösterilmiştir. Goel ve diğerleri tarafından yapılan kapsamlı analitik ve deneysel çalışmalar göstermiştir ki;

yerel burkulmayı en aza indirmek için genişlik/kalınlık oranlarının sınırlandırılması, bağ levhalarının daha yakın aralıklı olması, birleşimlerin uç noktalarının özel olarak tasarımı ve detaylandırılması gibi arttırılmış tasarım parametreleri merkezi çaprazlı çerçevelerin burkulma-sonrası davranışını çok geliştirir. Süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı çerçeveler için geliştirilmiş tasarım kuralları bu gereksinimlerin sağlanmasına dayanmaktadır.

Önceki tasarım kurallarında merkezi çaprazlı çerçevelerde global burkulmanın sınırlandırılmasıyla güvenilir davranış elde edilmesi amaçlanmaktaydı, Çaprazlı sistemler üzerinde yapılan tersinir yükleme deneyleri, eğer yerel burkulma, kararlılık sorunları ve birleşimde oluşan gevrek kırılma önlenirse global burkulmanın başlamasından sonra enerjinin tüketilebileceğini kanıtlar. Süneklik için belirtilen kurallara uygun bir tasarımı yapıldığında, çapraz elemanlar beklenmedik bir yetersizlik yaşamadan tersinir yüklemeler altında büyük plastik şekil değiştirmeler yapmayı sürdürebilmektedir.

Önceki tasarım kurallarına göre enerji tüketilmesi olayı olmaksızın merkezi çaprazlı çerçevelerde önceden beklenen çapraz eleman yetersizliklerine göre tasarlanmış sistemlerde analitik çalışmalar yapılmıştır (Tang ve Goel, 1987; Hassan ve Goel, 1991) [3]. Bu çalışmalarda göçmelerin en çok kesitlerin kompakt olmayışı dolayısıyla plastik mafsallarda veya birleşimlerde olduğu görülmüştür.

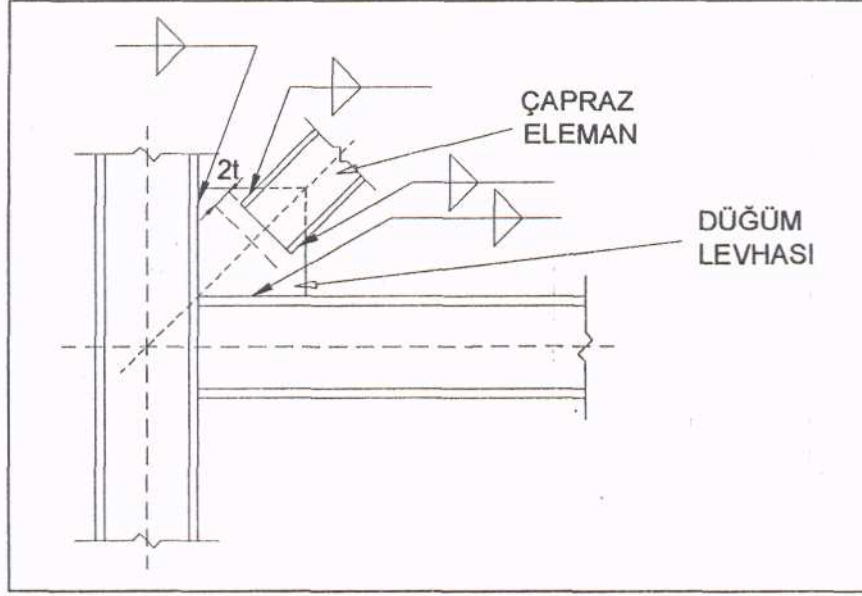
Genelde plastik mafsallar çapraz elemanların uçlarında ve çapraz elemanların açıklık ortasında oluşur. Çaprazlı sistemlerin analitik modelleri, önceki merkezi çaprazlı çerçeve tasarımlarında çatlama olmaksızın ortaya çıkan tam ve kararlı çevrimler gibi aynı yer hareketi kayıtlarına tabi tutulduğunda kararlı sünek davranışın sağlanması için tasarlanmıştır. Benzer sonuçlar Wallace ve Krawinkler (1985) ve de Tang ve Goel (1989) tarafından yapılan tam-ölçekli deneylerde de gözlenmiştir [3].

Çift korniyer, çift [olarak seçilen çapraz eleman kesitlerinde arttırılmış süneklik ve enerji tüketilmesine ulaşabilmek için daha yakın bağ levhası aralıklarına ek olarak daha sıkı bir kompakt kesit şartı önemli kriterlerdir. Burkulan ve böylece bağ levhaları üzerinde büyük kesme kuvvetleri yüklenen çift-korniyer ve çivil (kesitli) çapraz elemanlar için bu özellikle kritiktir. Ayrıca çalışmalar, çift korniyerler uç uca yerleştirildiğinde eğilme şekil değiştirmeleri ve yerel burkulmaların azaldığını göstermiştir (Aslanı ve Goel, 1991) [3].

Merkezi çaprazlı çerçevelerde kuvvetli yer hareketlerinden dolayı oluşan birçok yetersizliğin birleşimlerde olduğu görülmüştür. Benzer olarak, tipik kurallara uyularak tasarlanan ve detaylandırılan merkezi çaprazlı çerçeveler üzerinde yapılan tersinir deneylerde birleşim yetersizlikleri ortaya çıkmıştır (Astaneh ve diğerleri, 1986) [3]. Tipik tasarım uygulamalarında birleşimlerin yalnızca eksenel kuvvetlerle tasarlanmasına rağmen, iyi bir burkulma sonrası davranışı için gereken, birleşim tasarımında dışmerkezliliğin hesaba katılmasıdır. Bu tasarımda en büyük kuvvetlere karşı birleşimin yeterli olacağı esas alınmalıdır. Eğer çapraz elemanın tersinir burkulma sonrası davranışındaki etkileri hesaba katılırsa birleşim performansının daha iyi olması beklenebilir (Goel, 1992e) [3].

Düğüm levhalarının olduğu düzlemdeki çapraz elemanların burkulmaları için, uç birleşimleri çapraz elemanın tam eksenel yük ve eğilme dayanımı için tasarlanmalıdır (Astaneh ve diğerleri, 1986) [3]. Çapraz elemanın düzlem dışına burkulmasında, elemanların uç dönmeleri düğüm levhasının zayıf ekseninde eğilmelere neden olur. Bu durumda düğüm levhalarında oluşan mafsallara ilave olarak, açıklık ortasında plastik mafsallar ile mafsallı uç mesnetleri ortaya çıkar. Düğüm levhalarında serbest plastik dönmeli mesnet koşulları sağlanarak elverişli performans sağlanabilir. Bu da çapraz elemanın ucuyla düğüm levhası için mesnetin varsayılan çizgisi arasındaki serbest uzunluğun plastik dönmelere izin verecek yeterli uzunlukta olmasını ve aynı zamanda levha burkulması olayının eleman burkulmasından önce olmasını engelleyecek kadar da kısa olmasını gerektirir. Bunun için levha kalınlığının iki katındaki uzunluk önerilmiştir (Astaneh ve diğerleri, 1986) [3] (bkz. **Şekil 2.8**). Bir başka seçenek olarak da, çapraz levha kullanımı gibi iki yönlü rijitliğe sahip birleşimler detaylandırılabilir. Deney sonuçları göstermektedir ki; zorlanan plastik mafsalların, birleşim levhaları yerine çapraz elemanlarda oluşmasıyla daha büyük enerji tüketme kapasitesine ulaşılabilir. (Lee ve Goel, 1987) [3].

Çapraz elemanların birleşimleri, çapraz elemanın sürekliliğini sağlamak için çerçevenin kirişleri veya kolonları kesilecek şekilde biçimlendirilmemelidir. Bu kural çapraz sistemin bu birleşimlerinde düzlem dışı karalılığını arttırmak için gereklidir.

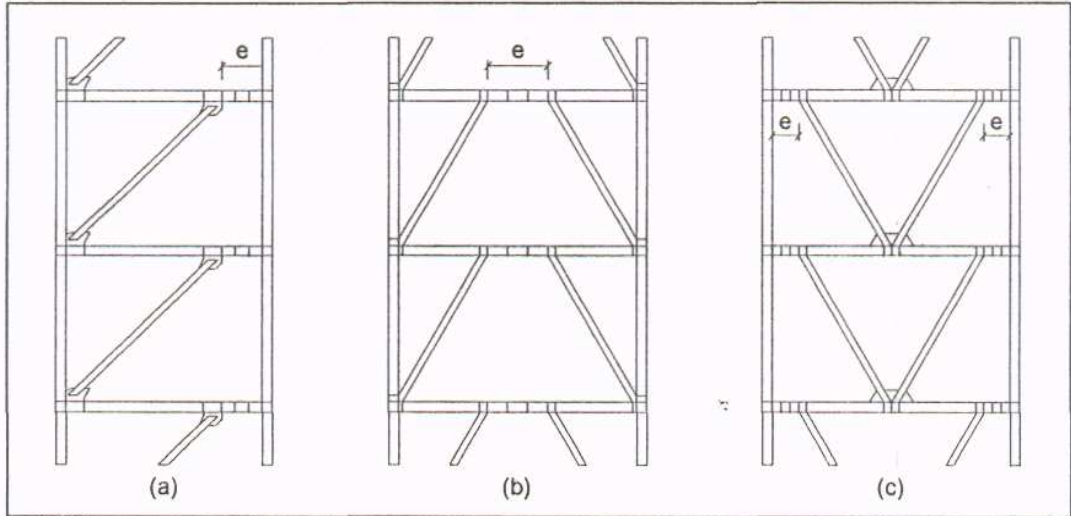


Şekil 2.8: Çaprazlı Sistemde Düzlem Dışı Burkulma İçin Çapraz Eleman-Düğüm Levhası Birleşimi [3]

3. DIŞMERKEZ ÇAPRAZLI ÇERÇEVELER

3.1. Tanım

Çelik yapıların deprem yüklerine karşı tasarımında geleneksel olarak moment taşıyabilen çerçeveler ve merkezi çaprazlı çerçeveler kullanılmaktadır. Son zamanlarda yeni bir yapı tipi uygun bir seçenek olarak önerilmeye ve benimsenmeye başlanmıştır. Bu yeni tipte esas prensip, moment taşıyabilen çerçevelerin kirişlerini iki veya daha fazla parçalara bölen dışmerkez çapraz elemanların yerleştirilmesi sonucunda güçlendirilmesidir. Çaprazlarla kirişin bölündüğü en küçük parçaya bağlantı kirişi (link) denir ve görevi şiddetli yer hareketleri sırasında ortaya çıkan deprem enerjisinin büyük kısmını plastik kesme ve eğilme şekil değiştirmeleri sayesinde tüketmektir (bkz. Şekil 3.1).



Şekil 3.1: Dışmerkez Çaprazlı Çerçevelerde, "e" Bağlantı Kirişinin Boyu [6]

Doğru deprem tasarımı için gereken kriter; yapının büyük geri dönüş periyotlu şiddetli depremlere karşı yeterli süneklik ve enerji tüketme kapasitesine sahip olması, küçük geri dönüş periyotlu orta şiddetli depremlere karşı ise yeterli dayanım ve rijitliğinin sağlanmasıdır.

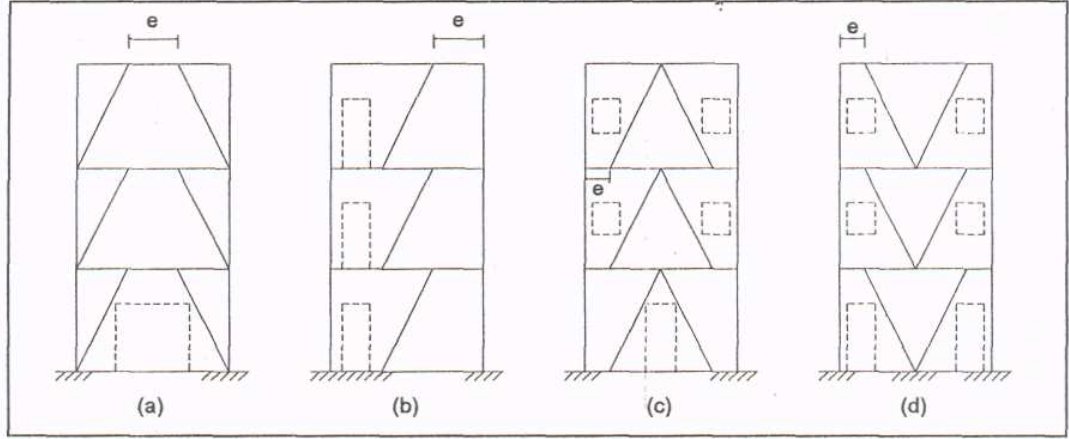
Merkezi çaprazlı çerçeveler yeterli dayanım ve rijitliğe sahiptirler, fakat onların plastik tersinir davranışı stabil değildir ve de enerji tüketme kapasitelerinde bir azalma gösterirler. Ek olarak birleşim tasarımı özellikle hassastır, çünkü birleşimler çapraz elemanların akma kuvvetinden az olmayan, en büyük dayanımı sağlamalıdır.

Aksine moment taşıyabilen çerçevelerde, elemanların uçlarında oluşan plastik mafsallar iyi çalışan birer enerji tüketme mekanizması oluşturur. Diğer yandan bu tip yapıların dezavantajı ise merkezi çaprazlı çerçevelere göre şekil değiştirmelerin daha fazla olmasıdır. Dolayısıyla, moment taşıyabilen çerçeveler dışmerkez yerleştirilen çapraz elemanlar ile güçlendirildiğinde, merkezi çaprazlı çerçevelerle moment taşıyabilen çerçeveler arasında yer alan bir davranış gösterirler. Aslında depremde ortaya çıkan enerji, bağlantı kirişinin tersinir kesme ve/veya eğilmesiyle tüketilir. Dolayısıyla, dışmerkez çaprazlı çerçevelerdeki enerji tüketme mekanizması, merkezi çaprazlı çerçevelere kıyasla moment taşıyabilen çerçevelerdeki daim benzerdir. Bu davranış esas olarak bağlantı kirişinin boyutlarını belirler. Burada dikkat edilmesi gereken bağlantı kirişinin tasarımıdır. Bu mekanizmada, kesme kuvveti temel rol oynadığından dolayı moment taşıyabilen çerçevelerden farklı bir sünek davranış ortaya çıkar.

Dışmerkez çaprazlı çerçevelerle moment taşıyabilen çerçeveler arasındaki önemli fark; çerçeve geometrisinden dolayı dışmerkez çaprazlı çerçevelerde istenen yüksek oranlı eleman sünekliğine karşı, moment taşıyabilen çerçevelerde istenen yapısal sünekliktir. Bunun sonucunda, merkezi çaprazlı çerçevelerdeki gibi elastik bölgede şekil değiştirmelerde sağlanan azalma ile birlikte, moment taşıyabilen çerçevelerdeki gibi plastik bölgede yüksek süneklik ve enerji tüketme kapasitesine sahip olurlar.

Bağlantı kirişi enerji tüketme bölgeleri olarak tanımlandığından, bağlantı kirişlerinin boyutlandırılmasına ve de detaylandırılmasına özel bir önem verilmelidir [8].

İşlevsellik açısından bakıldığı zaman, dışmerkez çapraz elemanlarının yerleştirilmesinde büyük bir esnekliğin olduğu fark edilmiştir, bu da mimari gereksinimler için memnun edici daha fâzla çözüm sağlamaktadır (bkz. **Şekil 3.2**) [8].



Şekil 3.2: Mimari Gereksinimlerin Sağlanması [6]

3.2. Dışmerkez Çaprazlı Çerçevelerin Davranışını Belirleyen Özellikler

3.2.1. Geometrik Parametreler

Dışmerkez yerleştirilen çapraz elemanlarla güçlendirilmiş çerçevelerin esas belirleyici özellikleri basit bir çerçevede gösterilebilir. Basit çerçeve aynı çaprazlı tipler için çerçevenin esas birimini gösterir. Geometrik boyutlar açısından bakıldığı zaman; dışmerkez çaprazlı çerçeveler e/L ve h/L parametreleri kullanılarak tanımlanabilir. Burada; e : bağlantı kirişi boyunu, L : çerçeve açıklığını, h : kat yüksekliğini göstermektedir.

Dışmerkez çaprazlı çerçevelerin davranışını tanımlayan esas parametre, bağlantı kirişi boyuyla çerçeve açıklığı arasındaki (e/L) orandır. $e/L = 0$ durumu merkezi çaprazlı çerçevelere karşılık gelir, $e/L = 1$ durumuysa çaprazı olmayan çerçevelere karşılık gelir.

3.2.2. Mekanik Parametreler

Çerçevenin verilen boyutları için, çerçevenin yapısal davranışını üç ana rijitlik oranı belirler [11] :

- kiriş - kolon rijitlik oranı;
- kiriş - çapraz eleman rijitlik oranı;
- kiriş eğilme rijitliği - kiriş kesme rijitliği oranı.

Bu nedenle, mekanik açıdan bakıldığı zaman aşağıdaki davranışsal parametreler hesaba katılmalıdır :

$$\alpha = \frac{I_b}{I_c} \quad (3.1)$$

$$\beta = \frac{I_b}{A_{br}L^2} \quad (3.2)$$

$$\gamma = \frac{EI_b}{GA_bL^2} \quad (3.3)$$

burada;

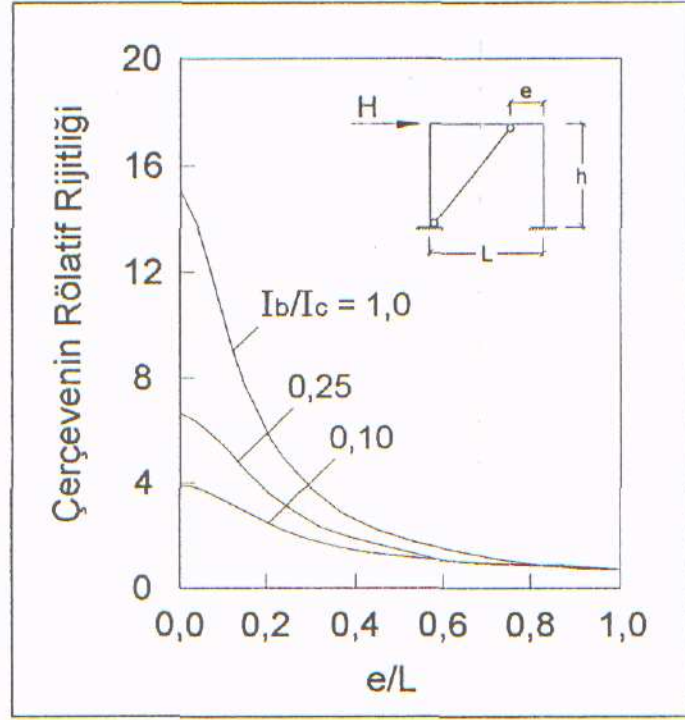
- I_b , kiriş atalet momenti;
- I_c , kolon atalet momenti;
- A_{br} , çapraz elemanın enkesit alanı;
- A_b , kirişin etkili kesme alanı;
- G , kayma elastisite modülü;
- E , eğilme elastisite modülüdür.

3.3. Dışmerkez Çaprazlı Çerçevenin Rölatif Rijitliği

"Çerçevenin rölatif rijitliği" terimi [11] yanal rijitlik bakımından dışmerkez çaprazlı çerçevelerle, $e/L = 1$ durumuna karşılık gelen çaprazı olmayan çerçeveler arasındaki oranı göstermek için kullanılır.

3.3.1. Kiriş - Kolon Rijitlik Oranının Etkisi

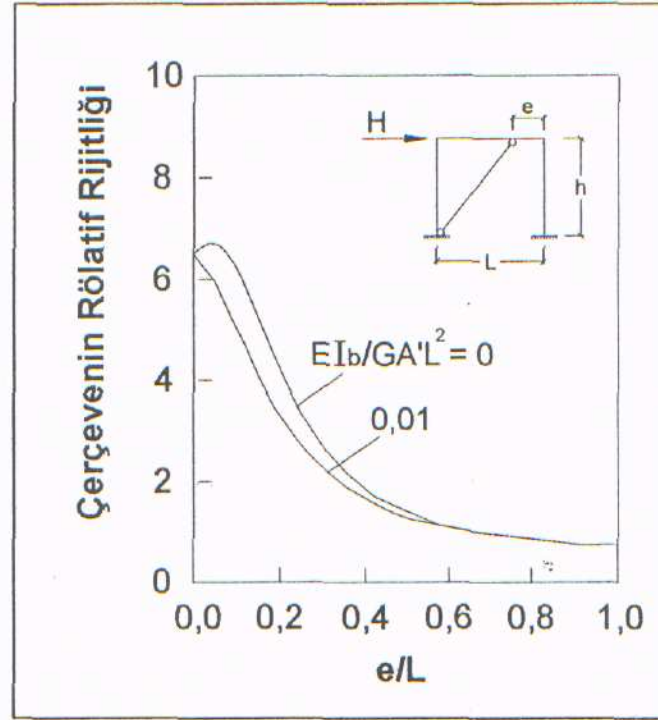
Şekil 3.3'te görüldüğü gibi, kiriş - kolon atalet momenti oranı arttığı sürece çerçevenin rölatif rijitliğine çapraz elemanın etkisi azalmaktadır.



Şekil 3.3: Kiriş - Kolon Rijitlik Oranının, Çerçevenin Rölatif Rijitliği Üzerindeki Etkisi [6]

3.3.2. Kesme Şekil değiştirmesinin Etkisi

Şekil 3.4'te kesme şekil değiştirmesinin basit dışmerkez çaprazlı çerçeveadaki etkisi gösterilmiştir. Bağlantı kirişi kesme şekil değiştirmesi ihmal edilirse, çerçevenin yatay rijitliğinin olduğundan daha fazla bir değer alacağı açıkça bellidir. Fakat, e/L oranı azaldığı sürece bu kabul ile yapılacak hata oranı artacaktır [11].



Şekil 3.4: Kesme Şekil değiştirmesinin, Çerçevenin Rölatif Rijitliği Üzerindeki Etkisi [6]

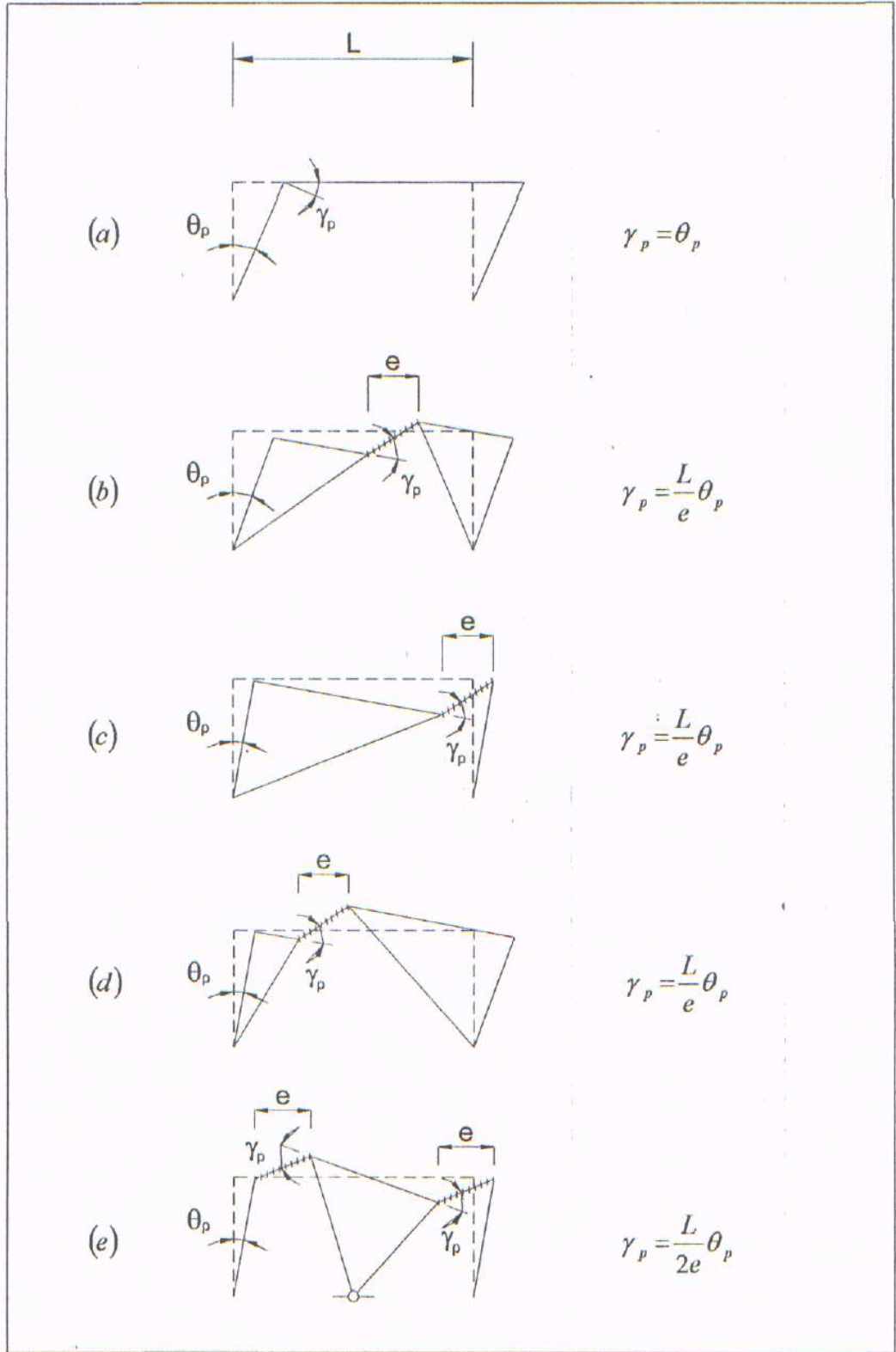
3.4. Dış merkez Çapraz Elemanların Plastik Davranışı

3.4.1. Gereken Eleman Sünekliği

Dışmerkez çapraz elemanlarla güçlendirilmiş çerçevelerin tasarımında plastik analizin büyük Önemine rağmen, Ön tasarımda eleman sünekliği rijit-plastik analiz yöntemiyle belirlenebilir.

Şekil 3.5'te basit dışmerkez çaprazlı çerçevenin göçme mekanizması kullanılarak, yapının şekil değiştirmesiyle bağlantı kirişinin şekil değiştirmesi arasındaki basitleştirilmiş ilişkiler verilmektedir [8] .

Bağlantı kirişlerinin kesme akması ortalama kesme şekil değiştirmesini gösteren γ ile tanımlanır, eğer bağlantı kirişinin akmasında bu deformasyon etkili ise bu durumda bağlantı kirişi kesme bağlantısı olarak isimlendirilir. Eğer bağlantı kirişlerinin akmasında esas olarak eğilme etkin ise, bu durumda bağlantı kirişi eğilme bağlantısı olarak isimlendirilir ve durum plastik mafsallardaki dönmeleri gösteren θ ile tanımlanır. e/L oranı azaldığı sürece yapı deformasyonu ve bağlantı kirişi plastik deformasyonu arasındaki oranın çoğalacağı kolaylıkla görülmektedir.



Şekil 3.5: Basit Dışmerkez Çaprazlı Çerçevenin Göçme Mekanizması ve Yapının Şekil değiştirmesiyle Bağlantı Kirişinin Şekil değiştirmesi Arasındaki Basitleştirilmiş İlişkiler [6]

Şekil 3.5'te verilen ilişkilerin uygulanmasıyla, sadece maksimum görelî kat ötelenmesinin hesaplanmasıyla bağlantı kirişî için istenen plastik dönme kapasitesinin belirlenmesi sağlanır. Tasarım amaçları için dinamik plastik analizler nadiren yapılırlar. Bazı deprem şartnameleri [4,7]; tasarım yüklerinden 4,5 kat daha büyük olan yatay yükler için, elastik davranış varsayımı altında hesaplanan görelî kat ötelenmesi değeri kullanılması önerirler.

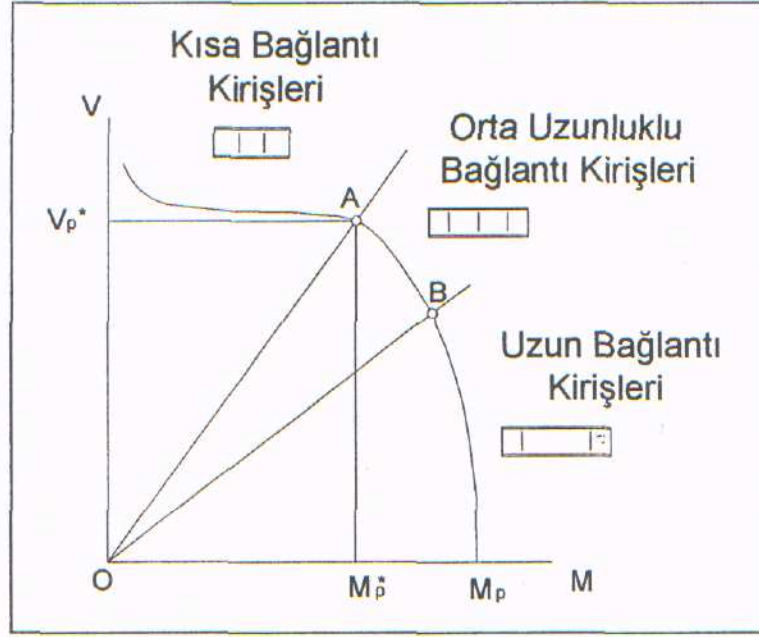
Daha önceden belirtildiğı üzere, bağlantı kirişinin boyunun azaltılmasıyla çerçevenin rijitliğı arttırılabilir. Diğer taraftan bağlantı kirişî boyu azalması, bağlantı kirişî sünekliğı artmasına karşı koyacaktır. Sonuç olarak dışmerkez çaprazlı çerçeveler için en önemli tasarım kriteri, istenen bağlantı kirişî sünekliğinin onun ulaşabileceğı değerdan daha az olması ile belirlenen sınır şartı altında, yapısal rijitliğın büyütülebildiğı en büyük değere çıkarılmasıdır [8] .

3.4.2. Bağlantı Kirişinin Davranışı

Dışmerkez çaprazlı çerçevelerde enerji tüketiminin en fazla olduğı yerin bağlantı kirişleri olduğı önceden belirtilmişti. Uygun bir şekilde detaylandırılan bağlantı kirişlerinin, gücünü kaybetmeyen şiddetli tersinir yükler altında, uzun süre büyük plastik şekil değıştirmelerle büyük miktardaki enerjiyi tüketebildikleri deneysel araştırmalarla kanıtlanmıştır. Daha fazla enerji tüketme kapasitesi sağladığından, tasarımda bağlantı kirişlerinde kesme akması, eğilme akmasına tercih edilir.

Geniş başlıklı kirişler için tipik kesme-moment etkileşim diyagramı **Şekil 3.6**'da gösterilmiştir. Bu diyagramda dikkat çekilen konu karakteristik A noktasının veya "denge noktasının" varlığıdır, bu nokta kesme akmasının etkin olduğı bölgeyle kesme akması ve de eğilme akması arasında etkileşimin olduğı bölgeyi birbirinden ayıran sınırdır. Bunlardan başka eğilme akmasının etkin olduğı üçüncü bir bölge daha vardır.

Bu bölgeler "kısa bağlantı kirişleri", "orta uzunluklu bağlantı kirişleri" ve "uzun bağlantı kirişleri" olarak adlandırılırlar [8] .



Şekil 3.6: Geniş Başlıklı Kirişlerin, Kesme - Moment Etkileşim Diyagramı [6]

3.4.2.1. Kısa Bağlantı Kirişleri

Kısa bağlantı kirişlerinde çoğunlukla kesme akması olduğundan dolayı büyük miktarda enerjiyi tüketebilirler. Bu sebepten hangi durumlarda bağlantı kirişinin kısa bağlantı kirişi olarak düşünülebileceğini belirlemek çok Önemlidir.

Çift T kesitin kesme-moment etkileşim diyagramının (bkz. **Şekil 3.6**) denge noktası A, elastik-tam plastik davranış kabulüyle ve de aksenal kuvvetin bulunmaması halinde, aşağıdaki denklemlerle verilmektedir:

$$V_p^* = \tau_y (d - t_f) t_w \quad (3.4)$$

$$M_p^* = f_y (b_f - t_w) (d - t_f) t_f \quad (3.5)$$

burada;

- d, kirişin derinliği
- t_f , başlık kalınlığı
- b_f , başlık genişliği
- t_w , gövde kalınlığı
- f_y , yalnız çekmedeki akma gerilmesi
- τ_y , yalnız kesmedeki akma gerilmesidir ($\tau_y = f_y / \sqrt{3}$, Von Mises akma kriteri).

A noktasının solunda kalan noktalar için kesme kapasitesindeki küçük artışı ihmal edersek, kesme-moment etkileşim eğrisi yaklaşık olarak bulunabilir;

$$M_p^* \leq |M| \leq M_p \Rightarrow \left(\frac{|M| - M_m^*}{M_p - M_p^*} \right)^2 + \left(\frac{V}{V_p} \right)^2 = 1 \quad (3.6)$$

$$|M| \leq M_p \Rightarrow V = V_p^* \quad (3.7)$$

Uç momentlerinin eşit olduğu kabulüyle, bağlantı kirişi için aşağıdaki ilişkiye ulaşılır;

$$e = 2 \frac{M}{V} \quad (3.8)$$

Sonuç olarak, çift T biçimleri için kesme bağlantı kirişlerinin yani kısa bağlantı kirişlerinin en büyük uzunluğu **Şekil 3.6**'daki A noktasına uygun olarak, $(bf - tw \approx bf)$ yaklaşık bir yolla bulunabilir;

$$e^* = 2 \frac{M_p^*}{V_p^*} \approx 2\sqrt{3} \frac{b_f t_f}{t_w} \quad (3.9)$$

Bu nedenle; $e < e^*$ olduğu zaman bağlantı kirişi, kesme bağlantısı gibi davranır. Deneysel bilgiler sonucunda yaklaşık olarak $e = 1.15 e^*$ değerine varıncaya kadar olan uzunluklar için kesme akması ağırlıklı olarak devam edecektir [12]. Bu nedenle kesme bağlantısının en büyük uzunluğu aşağıdaki gibi elde edilebilir:

$$e_{\max} = 4 \frac{b_f t_f}{t_w} \quad (3.10)$$

Kasai ve Popov'a göre [13], kısa bağlantı kirişleri aşağıdaki koşulu sağlayan e uzunluğundaki bağlantı kirişleri olarak tanımlanabilir:

$$e \leq e^* = 1,6 \frac{M_p}{V_p} \quad (3.11)$$

Denklem (3.11) bağlantı kirişi uç momentlerinin 1,2MP ile sınırlandırılması ve pekleşmeden dolayı bağlantı kirişinin en büyük kesme dayanımının 1,5VP değerine ulaşabilmesi hesaba katılarak **Denklem (3.8)**'den elde edilmiştir. Bağlantı kirişi uç momentlerinin sınırlandırılmasının istenmesinin nedeni, bağlantı kirişi başlığının burkulmasını ve/veya bağlantı kirişi başlığıyla kolon arasındaki kaynağın yetersiz olmasını önlemektir.

Denklem (3.11)'deki e^* ile **Denklem (3.9)**'daki e^* biraz farklıdır, fakat uygulamada aynı sonuçları sağlarlar.

3.4.2.2. Orta ve Uzun Bağlantı Kirişleri

Bağlantı kirişinin boyu **Denklem (3.9)** ve **(3.11)** için sağlanan limit değerleri geçer geçmez eğilmede akmanın etkisi önemli olmaya başlar ve de bağlantı kirişinin plastik davranışı kesme akmasıyla eğilme akması arasındaki etkileşimle tanımlanır.

Deneyisel araştırmalarda bağlantı kirişi boyunun $3 M_p / V_p$ değerinden büyük olduğu zaman eğilme akmasının baskın olduğu görülmüştür. Sonuç olarak bağlantı kirişleri için aşağıdaki sınıflandırma verilmektedir [8]:

- kısa bağlantı kirişleri [veya kesme bağlantıları]: $e \leq 1.6 \frac{M_p}{V_p}$
- orta uzunluktaki bağlantı kirişleri: $1.6 \frac{M_p}{V_p} \leq e \leq 3 \frac{M_p}{V_p}$
- uzun bağlantı kirişleri [veya eğilme bağlantıları]: $e \geq 3 \frac{M_p}{V_p}$

3.4.3. Bağlantı Kirişlerinin Plastik Kapasiteleri

Pekleşme, kompozit döşemeler ve akma dayanımının artması gibi etkilerin sonuçlarının birleştirilmesiyle, bağlantı kirişlerinin plastik kapasiteleri teorik olarak belirlenen V_p ve M_p değerlerinden büyük olabilir. Son zamanlardaki deneysel sonuçlar, pekleşmenin dayanıma etkisinin aşağıda verilen ampirik bağıntılarla hesaba katılmasına izin vermektedir [8]:

$$e \leq 1.6 \frac{M_p}{V_p} \text{ için } \begin{cases} M_u = 0,75eV_p \\ V_u = 1,5V_p \end{cases} \quad (3.12)$$

$$(3.13)$$

$$e \geq 3 \frac{M_p}{V_p} \text{ için } \begin{cases} M_u = 1,5V_p \\ V_u = 2 \frac{M_p}{e} \end{cases} \quad (3.14)$$

$$(3.15)$$

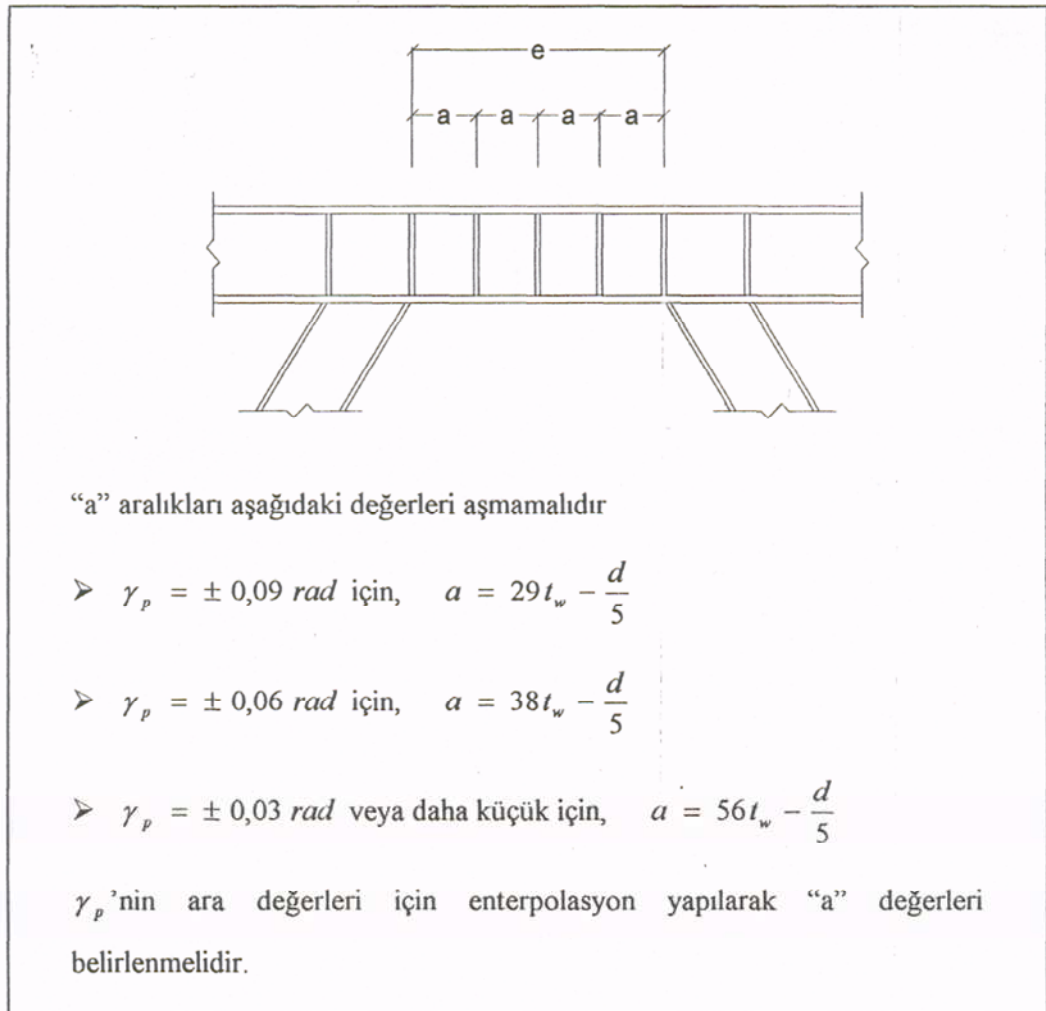
Yukarıdaki bağıntılar sırasıyla kısa ve uzun bağlantı kirişleri için verilmiştir, orta uzunluktaki bağlantı kirişleri için lineer enterpolasyon yapılabilir.

Kompozit döşemeler için güçlendirme etkileri hesaba katıldığı zaman, M_u ve V_u için daha büyük değerler dikkate alınmalıdır.

3.4.4. Rijitleştiricilerin Aralıkları ve Bağlantı Kirişinin Plastik Dönme Kapasitesi

Kısa bağlantı kirişlerinin tipik yetersizlikleri gövdenin plastik kesme burkulmasıdır. Bu nedenle kısa bağlantı kirişlerinin dönme sünekliğini arttırmak için gövde rijitleştiricileri kullanılmaktadır.

Berkeley'deki Kaliforniya Üniversitesi'ndeki deneysel araştırmalarla [14], kısa bağlantı kirişlerindeki rijitleştiricilerin aralıklarının elde edilmesi için bir kriter geliştirilmiştir. Uygun bir biçimde rijitleştirilen kısa bağlantı kirişlerinin tek yönlü yükleme altında 0.20 radyana varan, tersinir yüklemede ± 0.10 radyana varan plastik dönmelere dayanabildikleri bu araştırmalarla gösterilmiştir.



Şekil 3.7: Kısa Bağlantı Kirişleri İçin Rijitleştirici Aralıkları [6]

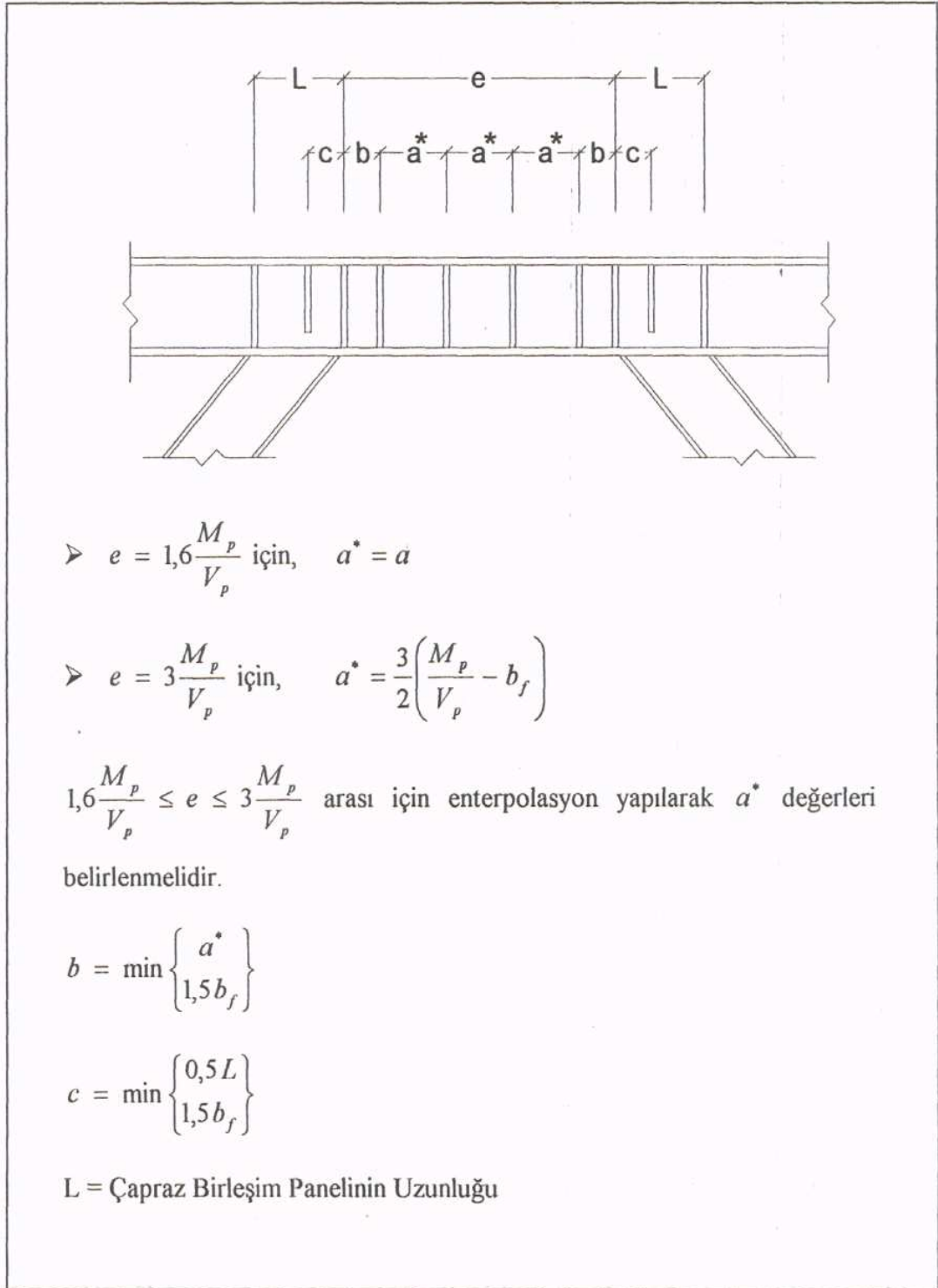
Gövdede plastik kesme burkulmasıyla oluşan plastik dönmelerle rijitleştiricilerin aralıkları arasındaki ilişkiyi bulmak için, aşağıdaki basit ve kesin kurallar geliştirilmiştir (bkz. **Şekil 3.7 - 3.9**);

$$\gamma_p = \pm 0,09 \text{ rad} \text{ için, } a = 29t_w - \frac{d}{5} \quad (3.16)$$

$$\gamma_p = \pm 0,06 \text{ rad} \text{ için, } a = 38i_w - \frac{d}{5} \quad (3.17)$$

$$\gamma_p = \pm 0,03 \text{ rad} \text{ veya daha küçük için, } a = 56t_w - \frac{d}{5} \quad (3.18)$$

Bu denklemlerde, a rijitleştiriciler arasındaki uzaklığı göstermektedir. 0,06 ile 0,09 arasındaki ve 0,03 ile 0,06 arasındaki değerler için lineer enterpolasyon kullanılacaktır.



Şekil 3.8: Orta Uzunluktaki Bağlantı Kirişleri İçin Rijitleştirici Aralıkları [6]

Uzun bağlantı kirişleri olması durumunda, değişik şekillerdeki yerel kararsızlıklar beklenir., Sonuç olarak rijitleştiricilerin aralıkları için olan kriter uzun bağlantı kirişlerinde, kısa bağlantı kirişleri için kabul edilenden farklıdır. Uzun bağlantı kirişlerinin plastik davranışlarında eğilme akması etkin olduğu için, gövde için

kesme akması beklenmez ve bu nedenle gövdede rijitleştirici kullanılması gerekli değildir. Uzun bağlantı kirişlerinin yetersizlikleri, yerel başlık burkulması ve yanal eğilmeli-burulmalı burkulma ile tanımlanır. Burkulmuş başlığın yarım-dalga boyu yaklaşık olarak $1,2 b_f$ değeriyle hesaba katıldığında, rijitleştiricilerin bağlantı kirişinin her iki ucundan $1,5 b_f$ uzaklıkta yerleştirilmesi uygun olabilir (**Sekil 3.9**) [8].

Orta uzunluklu bağlantı kirişi olması durumunda tavsiye olarak, deney sonuçlarına dayanarak, Engelhardt ve Popov tarafından aşağıdaki bağıntılar verilmektedir [8] (bkz. **Şekil 3.8**) :

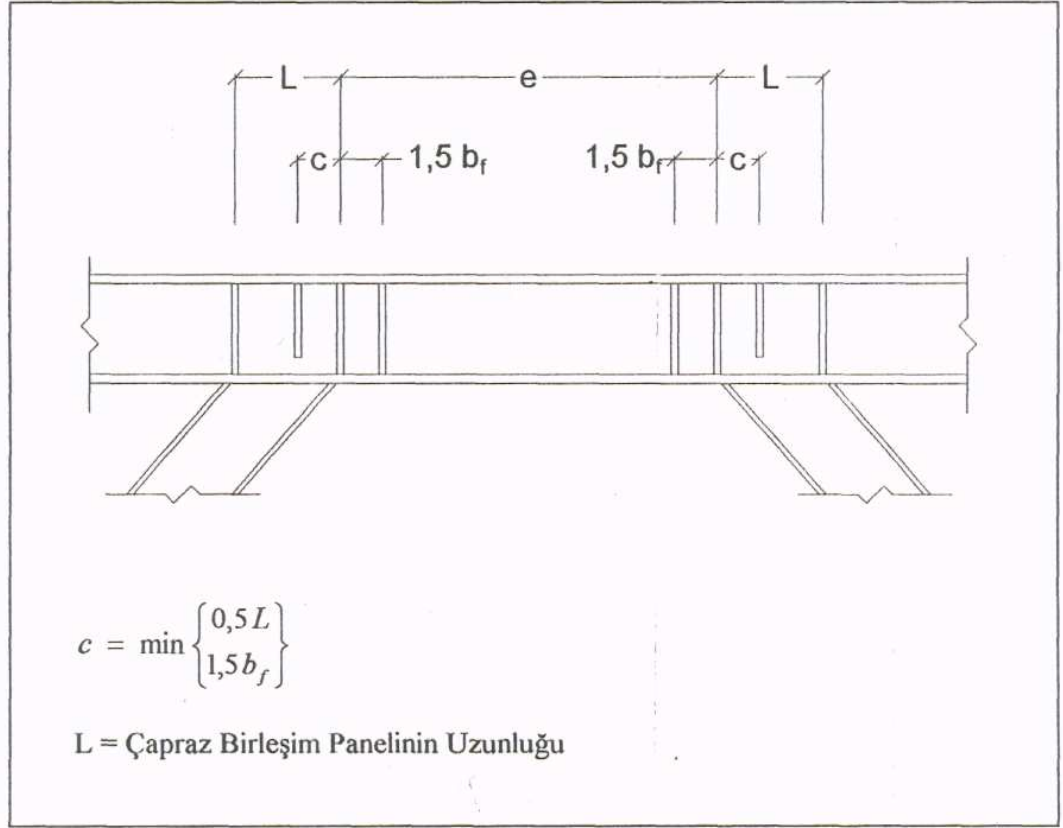
$$e \leq 1,6 \frac{M_p}{V_p} \text{ için, } a^* = a \quad (3.19)$$

$$e \geq 3 \frac{M_p}{V_p} \text{ için, } a^* = \frac{3}{2} \left(\frac{M_p}{V_p} - b_f \right) \quad (3.20)$$

burada, a orta uzunluklu bağlantı kirişleri için rijitleştirici aralığını göstermektedir. Yukarıdaki sınırlar arasındaki e değerleri için lineer enterpolasyon yapılabilir.

İlave deneysel sonuçlar elde edilinceye kadar ilk hesap olarak, sınırlı sayıdaki deneysel sonuçları esas alan [8], uzun ve orta uzunluklu bağlantı kirişleri için plastik dönme kapasiteleriyle ilgili olarak; uzun bağlantı kirişi olması durumunda $\gamma = \pm 0,02$ radyan değeri kabul edilebilir, orta uzunluklu bağlantı kirişi olması durumundaysa $e = 1,6 M_p/V_p$ için $\gamma = \pm 0,08$ ile $e = 3 M_p/V_p$ için $\gamma = \pm 0,02$ arasında lineer enterpolasyon yapılabilir.

Sonuçta tüm durumlarda [kesme, eğilme ve orta uzunluklu bağlantı kirişleri], **Şekil 3.7-3.9'**de gösterildiği gibi bağlantı kirişi gövdesinin her iki tarafına, çapraz elemanların bağlandığı noktalarda gövde rijitleştiricileri kullanılmalıdır.



Şekil 3.9: Uzun Bağlantı Kirişleri İçin Rijitleştirici Aralıkları [6]

3.4.5. Rijitleştiricinin Tasarımı

Kesme bağlantılarına dayanılarak, orta derinlikteki ($d < 60$ cm) bağlantı kirişleri için gövdenin sadece tek tarafında ve en azından gövdenin $3/4$ 'ü derinliğinde olan rijitleştiricilerin uygun olduğu deneysel araştırmalarla gösterilmiştir. Daha derin kesitler için gövdenin her iki tarafında da rijitleştiricilere gereksinim vardır [4,7,11,12]. Rijitleştiricilerin, kalınlığı t_w veya 10 mm değerinden ve genişliği de $((b_f/2) - t_w)$ değerinden az olamaz [7,12].

Eğilme akması olan elemanlardaki rijitleştiricilerin görevi başlıkları tutarak yerel burkulmayı önlemektir. Bundan başka, kesitteki burulma rijitliğini artırırlar ve bu nedenle yanal burulma burkulmayı engellerler. Sonuç olarak, uzun ve orta uzunluklu bağlantı kirişleri için tüm gövde yüksekliğinde kullanılan rijitleştiricilerin başlıklara ve gövdeye kaynaklanması tercih edilir [8] .

Bağlantı kirişi rijitleştiricilerinden bağlantı kirişi gövdesine olan birleşimlerde köşe kaynak kullanılırsa, kaynak dikişi $A_{st} f_y$ kuvvetini karşılayabilecek uygun bir tasarım dayanımına sahip olmak zorundadır, burada A_{st} rijitleştirici alanını

göstermektedir. Rijitleştiricileri başlıklara bağlayan köşe kaynağın tasarım dayanımı ise $A_{st} f_y / 4$ kuvvetini karşılayabilecek uygunlukta olmalıdır [4,7].

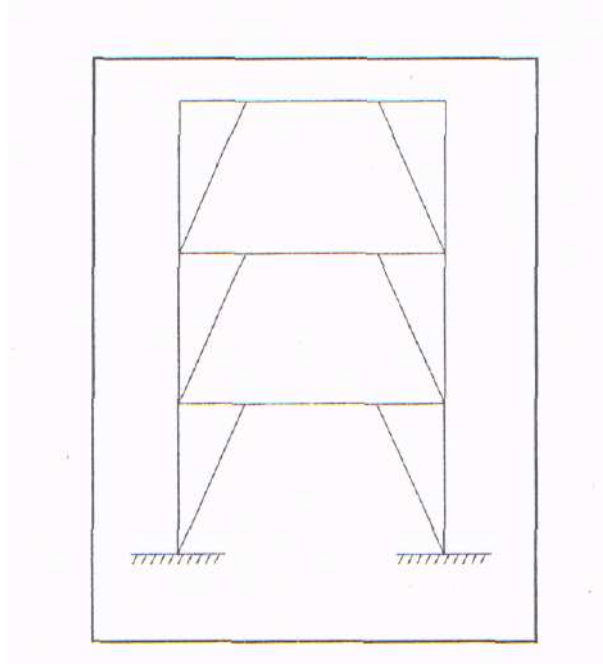
3.4.6. Bağlantı Kirişi - Kolon Birleşimleri

Malley ve Popov'un bulduğu deneysel sonuçlar göstermiştir ki, kısa bağlantı kirişleri için bağlantı kirişi ile kolon birleşimlerinin tümüyle kaynaklı olması gerekmektedir. Bu da hem başlığın hem de bağlantı kirişi gövdesinin kolona kaynaklanması demektir. Birleşimin gövdeye bulonla ve başlığa kaynakla yapılması durumunda, büyük kesme kuvvetlerine bağlı olarak büyük miktarda kayma oluşabileceğinden bulonlarda ani gevrek kırılma ortaya çıkar.

Uzun bağlantı kirişlerinin uçlarındaki yüksek eğilme gerilmelerine bağlı olarak, bağlantı kirişi ile kolon birleşiminin detayı uzun bağlantı kirişlerinin kapasitesini etkileyen ciddi bir faktördür. Aslında göçme biçimleri, bağlantı kirişi ile kolon birleşimindeki bağlantı kirişi başlığının kırılması veya birleşimin kendisinin yetersiz olmasıyla ortaya çıkar. Bağlantı kirişi başlıklarında üçgen levhaların kullanılmasıyla bağlantı kirişi ile kolon birleşiminin dayanımı artırılır [8] .

Bulonlu gövde birleşimlerinin kullanılması aynı zamanda uzun bağlantı kirişleri için de uygun değildir. Çünkü bu birleşimler başlık kırılması açısından kaynaklı gövde birleşimlerinden daha dayanıksızdır.

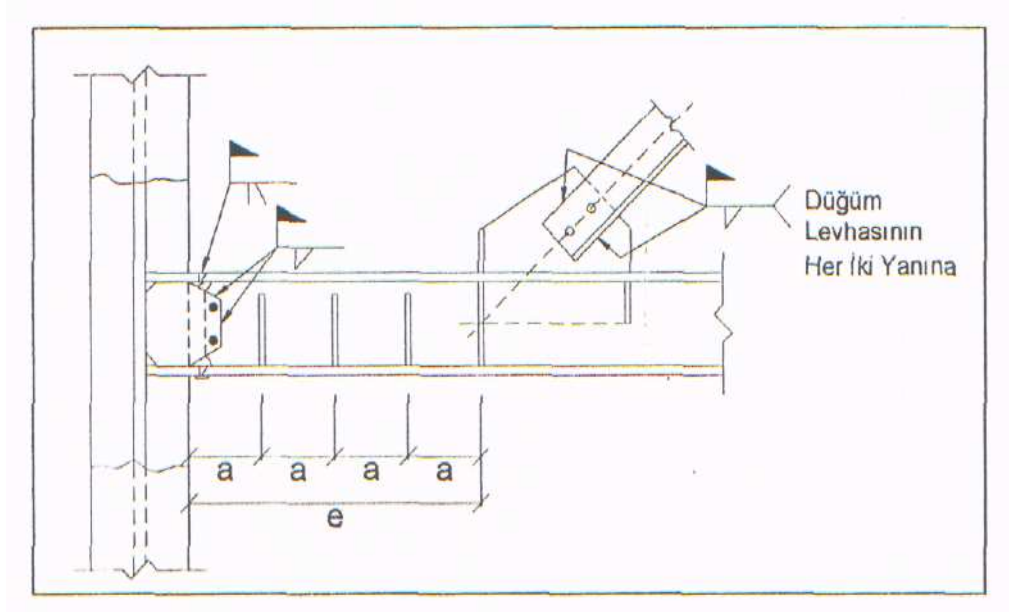
Kırılma önceden tahmin edilemediğinden çok ani ve tümenden göçmeye neden olur. Üstelik böyle bir durumda göçme düşük seviyedeki plastik dönmelerle olur. Bu nedenlerle önerilen, uzun bağlantı kirişlerinin iki çapraz eleman arasındaki açıklığın içerisine yerleştirilmiş dununda kullanılamayacağına dair deneysel bir kanıt olmadıkça, uzun bağlantı kirişlerinin kolonlara birleştirilerek kullanılmamasıdır (bkz. **Şekil 3.10**).



Şekil 3.10: Bağlantı Kirişinin İki Çapraz Eleman Arasına Yerleştirilmesi [6]

Herhangi bir durumda, eğer bağlantı kirişi - kolon birleşiminin bağlantı kirişinde ortaya çıkan gerekli plastik dönme için yeterliliği kanıtlanabilirse, orta ve uzun bağlantı kirişlerinin kolona doğrudan birleşimine izin verilir.

Sonuçta, kolonun zayıf ekseninde eğilmesine neden olan bağlantı kirişi - kolon birleşiminde birleşim kolonun gövdesine yapılmak zorundadır. Bu durumda, bağlantı kirişinin başlıkları kolon gövdesine yerleştirilen birleşim levhalarına tam penetrasyonlu kaynaklarla yapılmalıdır ve de gövde birleşimindeki kaynaklar, bağlantı kirişinin gövdesindeki eksenel, kesme ve eğilme tasarım dayanımlarını karşılayabilecek şekilde yapılmalıdır, (bkz. **Şekil 3.11**) [8].



Şekil 3.11: Bağlantı Kirişinden Kolon Gövdesine Olan Birleşimin Tasarımı [6]

Bağlantı kirişi ile kolon arasında detaylandırmadaki tüm bu dikkate rağmen, kolonun gövdesine birleştirilmiş bağlantı kirişlerinin sınırlı plastik dönme kapasiteleri olduğu deneysel sonuçlarla gösterilmiştir. Bu yüzden herhangi bir bağlantı kirişinin boy uzunluğu için bağlantı kirişi dönme açısının $0,015$ radyanı aşmasına izin verilmeyecektir. Kolon gövdesine yapılan birleşimlerdeki güvensizlikler nedeniyle, bağlantı kirişi - kolon gövdesi birleşimlerden kaçınılması önerilmiştir.

3.4.7. Kiriş ve Çapraz Eleman Tasarımı

Dışmerkez çaprazlı çerçevelerin deprem yükleri altındaki güvenilirliği, deprem enerjisinin tüketildiği bağlantı kirişlerindeki plastik şekildeştirmelerin sınırlandırılmasından dolayıdır. Bundan başka plastik kapasiteleriyle diğer elemanlara iletilen kuvvetlere kısıtlama sağlarlar. Bağlantı kirişinin akmasıyla sınırlanan tasarım, "kapasite tasarımı" genel kavramını uygulayarak elde edilebilir. Diğer tüm çerçeve elemanları bağlantı kirişlerinde tam akma ve pekleşme olduğu zaman meydana gelen gerilmelerin karşılanması için tasarlanırken, bağlantı kirişleri için kapasite tasarımına bağlı olarak yönetmelik kurallarına göre belirlenen yatay deprem yükleri esas alınır. Başka bir deyişle, diğer tüm elemanlar bağlantı kirişlerinin kapasitelerine göre boyutlandırılırlar [8] .

Kirişin bağlantı kirişi dışında kalan kısmının ve çapraz elemanın tasarımı, bağlantı kirişinin en büyük dayanımını sağlayabilecek şekilde tasarlanmalıdır. Bu

gereksinimin sağlanamaması durumunda, deneysel sonuçlarla da doğrulandığı üzere, hem toplam dayanımda hem de plastik şekil değiştirme kapasitesinde kabul edilemez bir azalma olur.

Kirişin bağlantı kirişi dışında kalan kısmının tasarımıyla ilgili olarak, kapasite tasarımı Yönteminin aşağıdaki ilişkiye uyması gerekir:

$$M_{p,kiriş}^* + M_{p,örgü}^* = M_{link}^{ult} \quad (3.21)$$

burada;

- $M_{p,kiriş}^*$, mevcut eksenel kuvvetten dolayı azalan kiriş plastik momenti;
- $M_{p,örgü}^*$, mevcut eksenel kuvvetten dolayı azalan çapraz eleman plastik momenti;
- M_{link}^{ult} , **Denklem (3.12) ve (3.14)'a** bağlı olarak bağlantı kirişinin dayanabileceği en büyük eğilme momentidir.

Kirişin maruz kalacağı büyük eksenel kuvvetten dolayı burkulma olayına Özel önem verilmelidir. Bu nedenle, güvenilir mesnetlenme davranışı sağlayan elemanların hesaba katıldığı düzlem dışı burkulma kontrolünün yapılması gerekir.

Eğer kiriş döşeme ile kompozit olarak çalışmıyorsa, yeterli yanal destekler kullanılmalıdır. Desteksiz uzunluk bağlantı kirişi ucundaki yanal destekten itibaren Ölçülmelidir. Burkulmuş uzunluklar için önerilen etkili uzunluk çarpanı deneylerle elde edildiği üzere 0,7 'dir [8].

Çapraz elemanların tasarımı, bağlantı kirişinin tam olarak aktığı ve pekleşme olduğunda (bu esnada kesme kuvveti 1,5VP değerine eşittir) üzerine etkiyen eksenel kuvvet esas alınarak yapılmalıdır. Tabi ki stabilite kontrolü, çapraz elemanların tasarımında sadece uçlarından yanal olarak mesnetlendikleri hesaba katılarak göz önüne alınmalıdır. Stabilite kontrollerinde genel olarak eğilme momentleri de düşünülmelidir.

3.4.8. Kolon Tasarımı

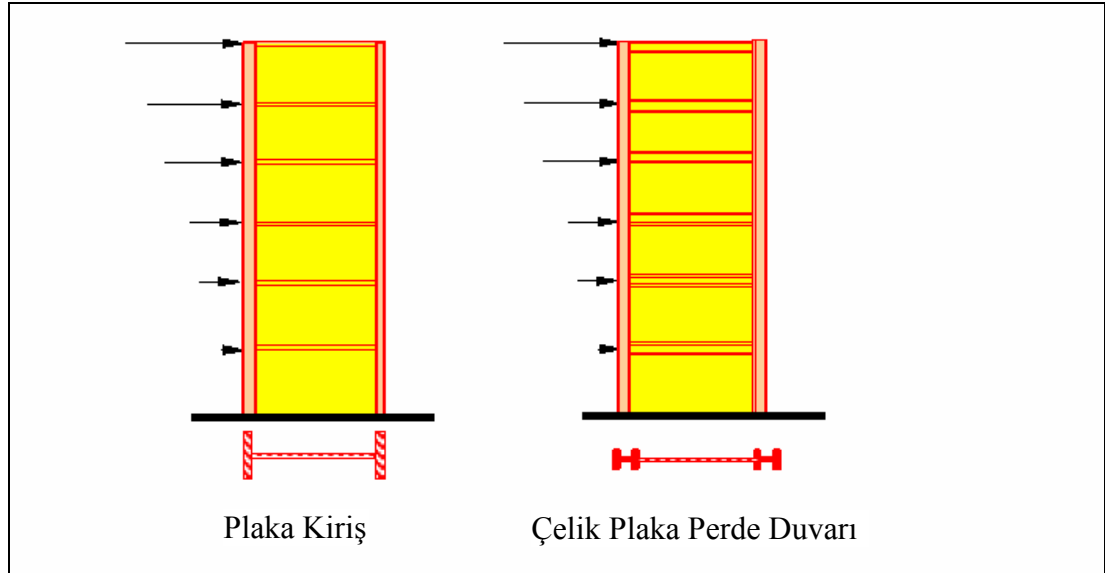
Güçlü kolon - zayıf kiriş genel kavramına uyumlu olarak, dışmerkez çaprazlı çerçevelerde bulunan kolonlarda döşeme kirişleri seviyesinde plastik mafsall oluşmamalıdır. Bu tür plastik mafsallar, bağlantı kirişindeki mafsall oluşumuyla

birlikte zayıf kata neden olabilirler, bu da engellenmek zorundadır. UBC'de [4] ve LRFD'nin deprem ile ilgili koşullarında [7] bunların olmasını engellemek için iki önemli tavsiye vardır. Birincisi, gereken eksenel kolon dayanımı arttırılmış bir deprem kuvveti (yatay tasarım kuvvetinin 4,5 katı) esas alınarak hesaplanmalıdır. İkincisi, kolon dayanımı bağlantı kirişi ile ve/veya çapraz eleman ile birleşimlerden dolayı oluşacak kuvvetlerin 1,25 değeriyle çarpılmasıyla bulunur. Başka bir deyişle, birleşen bağlantı kirişinin kesme dayanımı potansiyel olarak pekleşmeden dolayı normal dayanımdan daha büyüktür, gereken kolon dayanımı birleşen bağlantı kirişi veya çapraz elemanın arttırılmış kapasitelerini esas almaktadır.

4. ÇELİK PLAKA PERDE DUVARLARI

4.1. Tanım

Çelik plaka perdenin ana fonksiyonu yatay yükler altında yatay kat kesme kuvvetlerine ve devrilme (eğilme) momentine karşı koymaktır. Genelde, çelik plaka perde sistemi şunlardan oluşmaktadır: iki tane sınır kolonu ve yatay kirişler (**Şekil 4.1**). 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 4.1: Tipik bir plaka kiriş ve tipik bir çelik perde duvarı [20]

Yatay Yüklere Karşı Direnmede Çelik Plaka Perde Duvar Kullanmanın Bazı Avantajları:

1. Sistem, doğru detaylandırılıp tasarlandığında çok sünek olur ve göreceli olarak büyük enerji dağıtma kapasitesine sahip olur. Sonuç olarak, çelik perdeler çok etkili ve ekonomik, yatay yükleri karşılayacak sistemler olabilirler.
2. Çelik perde sistemleri göreceli olarak yüksek başlangıç rijitliğine sahiptirler. Bunun sonucunda yatay ötelemeyi önemli ölçüde sınırlandırır.

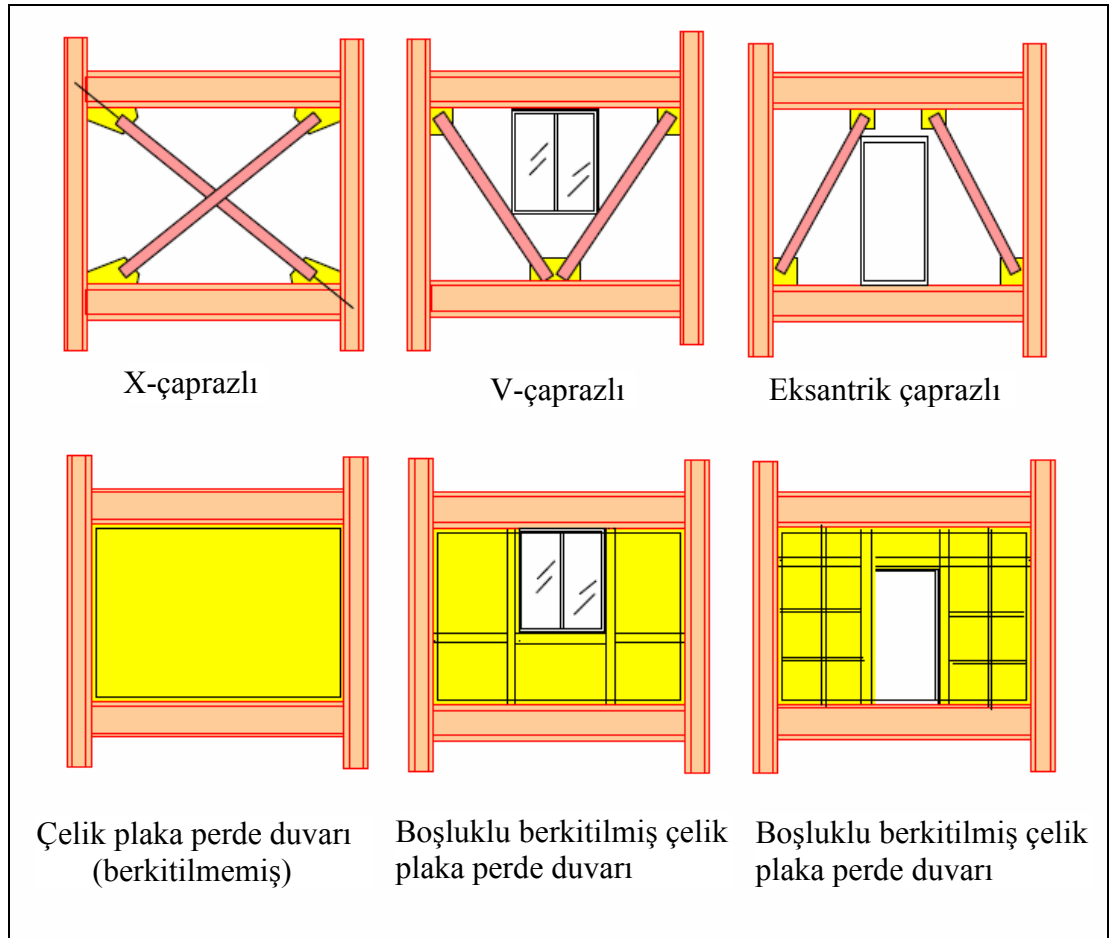
3. Betonarme perde duvarlarla karşılaştırıldığında, çelik perde duvar çok hafiftir. Bu ise kolonların ve temellerin daha az yük taşımasıyla sonuçlanır. Yapının ağırlığı azaldığı için daha az sismik yükü karşılar.
4. Atölyede kaynaklanmış, sahada bulonlanmış çelik perde duvarları kullanarak, yapı maliyeti azaltılabilir, inşa işlemi hızlandırılabilir, saha denetimi ve kalite kontrol, bu sistemlerin daha etkili olmasıyla sonuçlanabilir.
5. Betonarme perde duvarlara göre daha az kalınlığa sahip olduğu için , mimari açıdan bakıldığında çelik perde duvarları, eşdeğeri olan betonarme perde duvarlarına göre daha az yer kaplarlar. Yüksek yapılarda, eğer betonarme perde duvarlar kullanılırsa alt katlardaki duvarlar daha kalın olur ve kat alanında fazla yer işgal ederler.
6. Betonarme perde duvarlarla karşılaştırıldığında, var olan bir yapının güçlendirileceği zaman, çelik perde duvarları daha kolay ve hızlı inşa edilebilirler.
7. Atölyede kaynaklanmış, sahada bulonlanmış elemanlarla yapılmış olan çelik perde duvar sistemleri geleneksel yöntemlere göre çelik perde sistemlerini daha kullanışlı hale getiriyorlar. Bu sistemler betonarme yapmanın ekonomik olmayacağı soğuk havalarda da çok pratik ve kullanışlıdır.

1970’lerde Amerika Birleşik Devletlerinde ve Japonya’da, çelik plaka perde kullanılmış önemli birçok yapı tasarlanmış ve inşa edilmiştir. Bu yapılardan ikisi son yıllarda önemli ölçüde büyük depremler geçirmişlerdir ve hasarsız veya çok küçük hasarla atlatarak çok iyi performans göstermişlerdir. Amerika, Kanada ve Japonya’daki laboratuvarlarda, çelik plaka perde duvarının gerçek depremler sırasındaki davranışlarının incelenmesine ek olarak, çelik plaka perde duvarının tekrarlı yüklemeler altındaki davranışları birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir. Çelik plaka perde duvarının yapım ve tasarım teknolojilerinde yeterli derecede ilerlenilmesine rağmen (CCBFC, 1995) Kanada Kodu (yönetmeliği) dışında çelik plaka perde duvarının üzerine çok sınırlı miktarda sismik yönetmelik maddeleri vardır [20].

Bu bölümde anlatılacaklar aşağıda özetlenmiştir:

1. Birçok modern yapıda başarıyla kullanılmış çelik plaka perde duvarlar hakkında bilgi sağlamak.
2. Önemli depremler sırasında çelik plaka perde duvarlarının sismik davranışlarının elde edilebilir bilgilerini özetlemek.

3. Çelik plaka perde duvarları üzerine yayınlanmış laboratuvar testleri ve diğer çalışmaların özeti.
4. Çelik plaka perde duvarlarının sismik tasarımı ile ilgili yönetmelik maddelerinin tartışılmasını sağlamak. Günümüzdeki tasarım yönetmelik maddeleri çok sınırlı olduğu için, birçok tasarım maddesi önerilecek. Önerilecek olan bu maddeler çelik plaka perde duvarının sismik tasarımında ve tabii gözden geçirilerek, yönetmelik yazımı kurulu tarafından yapılacak modifikasyonlar ve yararlı ifadelerle, meslek adamlarının oy birliği ile, bu maddelerin bazıları sismik dizayn yönetmelikleri içine alınabilir.
5. Çelik plaka perde duvarları için sismik tasarım yöntemleri sunmak.
6. Çelik plaka perde duvarları için önerilmiş bazı detaylar sunmak. Bu detaylar, çelik plaka perdelerini sünek ve ekonomik, tasarımı ve yapımı kolay olan, yatay yüklere karşı direnen sistemlerde, etkili bir şekilde sonuçlanabilir.



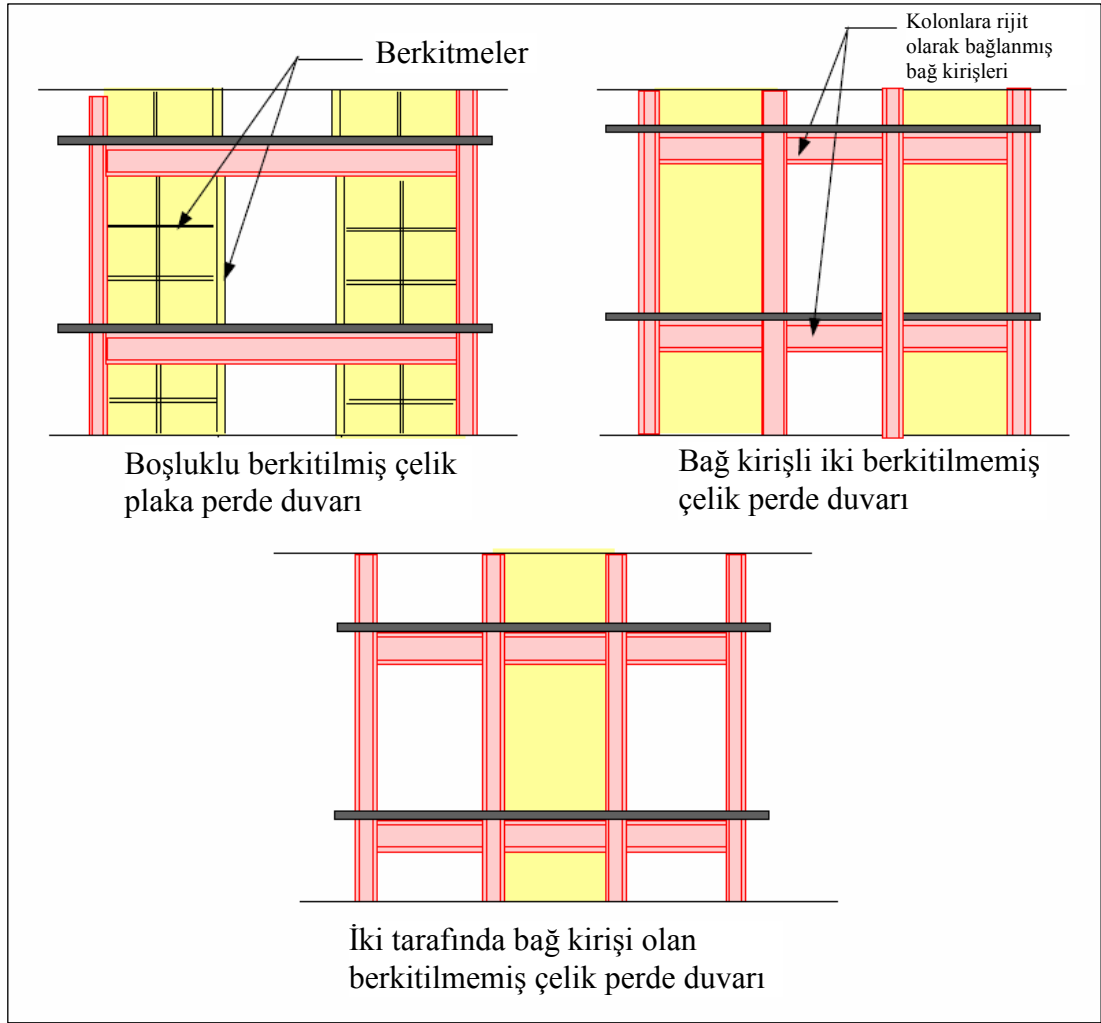
Şekil 4.2: Çaprazlı üç açıklık (yukarıdaki sıra) ve çelik perde duvarlı aynı açıklıklar

[20]

Çelik plaka perde kullanımında ek olarak göz önünde bulundurulması gerekenler:

1. Amerika Birleşik Devletleri'nde çelik plaka perdelerin ilk uygulamalarında, perdeler düşey ve yatay berkitmelere sahipti. Japonya'da hemen hemen tüm çelik plaka perdeleri berkitilmişti. Bu berkitmelerin perdelerle kaynaklanması, perdelerin makaslama mukavemetini artırır. Ancak, günümüzün çelik fabrikasyon işçiliğinde berkitmelerin perdelerle kaynaklanması zaman harcama olarak maliyetlendirilebilir. Son yıllarda, araştırmalar ve gerçekçi numunelerin testleri çelik plakaların yalnız başına (berkitmesiz olarak) çok sünek performans sergilediğini ve istenilir ve etkili davranış gösterdiğini belirtmektedir. Sonuç olarak, Amerika ve Kanada'da, son yıllardaki çelik perdelerin birçok uygulamasında berkitmesiz çelik plakalar etkili ve ekonomik bir şekilde kullanılıyor.

2. Pencere veya kapı boşluklarının bulunduğu çapraz kısımlarla karşılaştırıldığında, çelik perdelerde pencere veya kapı boşluklarının oluşturulabilmesi için **Şekil 4.2'**de gösterildiği gibi boşluğun çevresinin berkitilmesi gerekir. 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 çözüm de **Şekil 4.3'**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). Bölüm 4.4'de bu husus tartışılmıştır.



Şekil 4.3: Boşluklu çelik perde duvarlarının örnekleri [20]

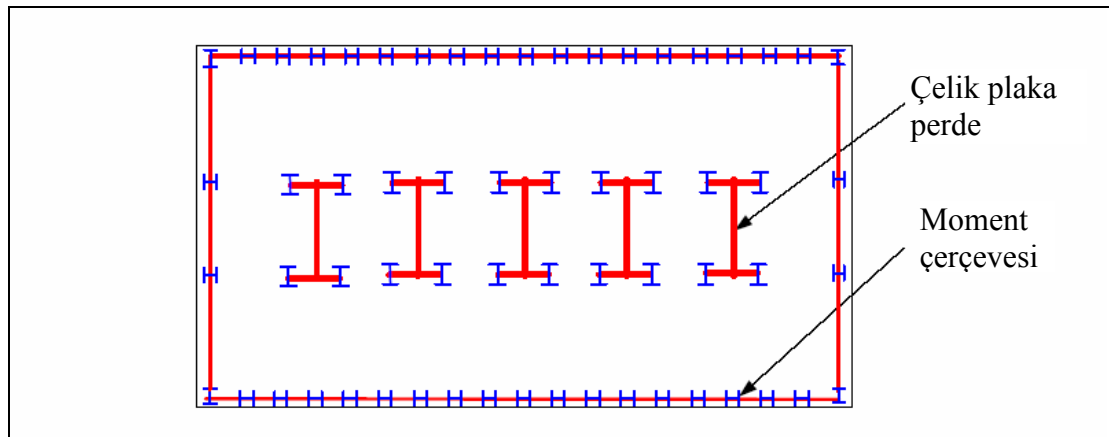
4.2. Çelik Perdelerin Kullanımı ve Sismik Davranışı

1970’lerde çelik plaka perdeleri birçok modern ve önemli yapılarda, yatay yüke karşı koyacak ana sistem olarak kullanıldı. Başlangıçta, ve 1970’lerde, Japonya’da yapılan yeni inşaatlarda ve Amerika’daki yeni yapılan yapılar kadar, var olan yapıları da sismik olarak güçlendirmek için berkitilmiş çelik plaka perdeleri kullanıldı. 1980’lerde ve 1990’larda, Amerika ve Kanada’da berkitilmemiş çelik plaka perdeleri kullanıldı. Birçok örnekte, çelik plaka perdeleri betonla kaplanarak bir şekilde kompozit perdeler yapıldı. Aşağıda, berkitilmiş veya berkitilmemiş çelik plaka perdelerinin uygulamalarının kısa özeti sağlandı.

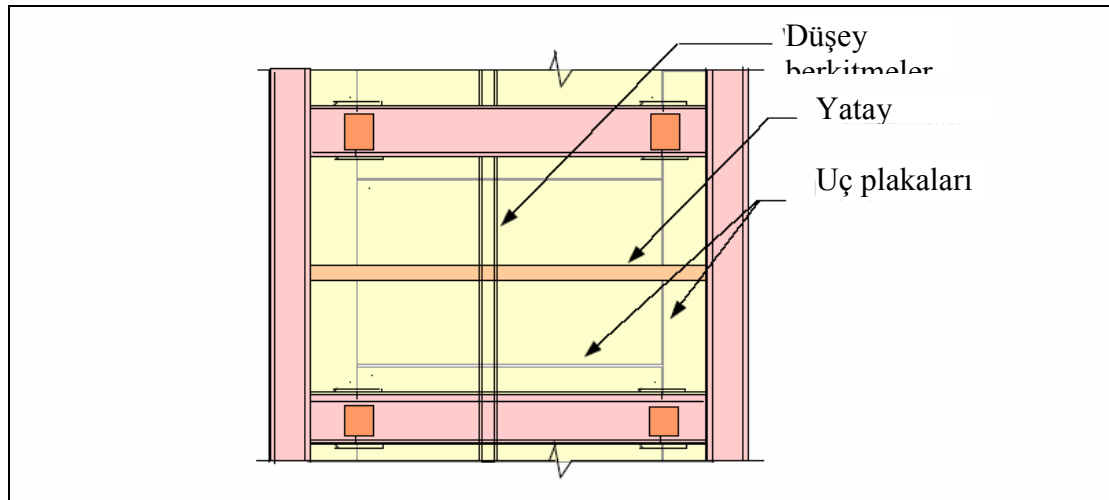
4.2.1. Japonya’da Tokyo’daki 20 Katlı Bir Ofis Binası

Thorburn et al.(1983)’a göre şuna inanılıyordu: bu bina Nippon çelik binası referans gösterilerek, çelik plaka perde kullanılmış ilk ana binaydı[20]. 1970’de tamamlanmış ve Tokyo’da bulunuyor.

Boyuna doğrultudaki yatay yük direnç sistemi, bir moment çerçevesi kombinasyonuydu ve, H konfigürasyonlu çelik plaka perde duvarı ve enine doğrultuda çelik plaka perde duvarından oluşuyordu. **Şekil 4.4** tipik bir planı gösteriyor. Çelik plaka perde panelleri yatay ve düşey berkitilmiş 9’a 12’-2’’ çelik plakalardan oluşuyordu. **Şekil 4.5**, çelik plaka perde sisteminin detaylarını gösteriyor. Çelik plaka perdelerin kalınlığı 3/16’’ den ½’’ e kadar değişiyordu. Tasarımda, yerçekimi kuvveti çelik plaka perdelerle yüklenmemişti ve perdeler burkulma yapmadan yatay yüklere karşı koyacak şekilde tasarlanmıştı.



Şekil 4.4: Nippon çelik binasının tipik kat planı [20]

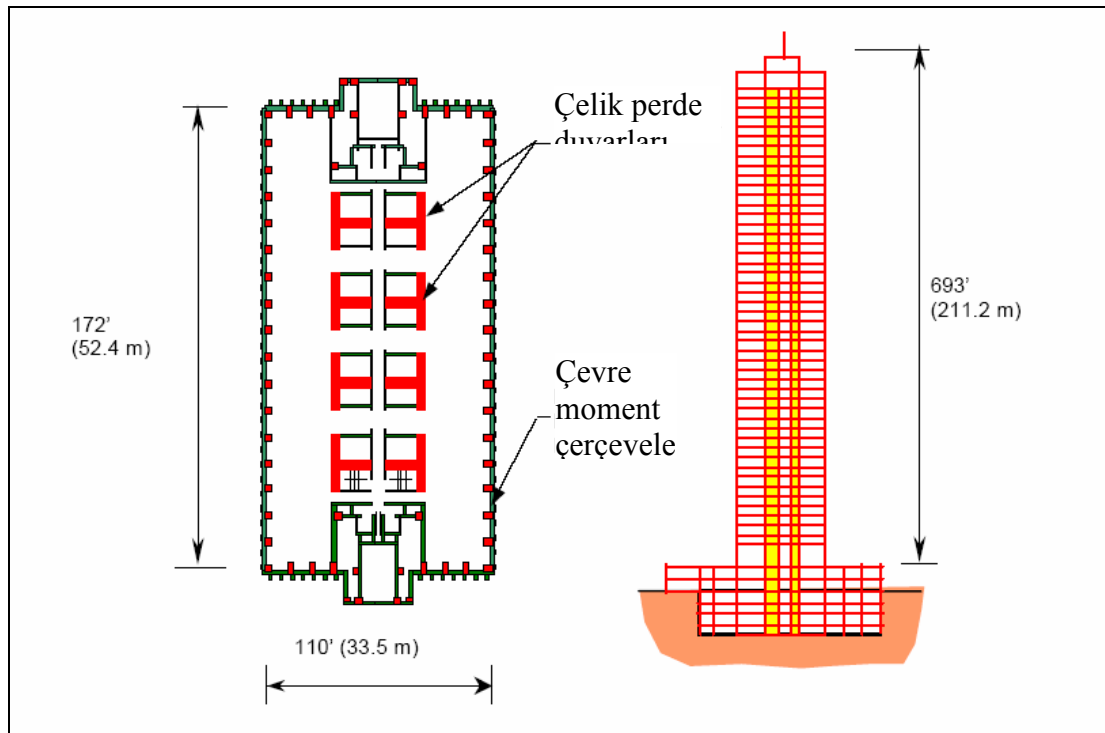


Şekil 4.5: Nippon çelik binasında kullanılan çelik plaka perdelerin detayları [20]

4.2.2 Tokyo’da 53 Katlı Yüksek Bir Yapı

Yapı başlangıçta betonarme perde duvarlı olarak tasarlanmıştı. Bununla birlikte, Engineering News Record’a(1978) göre, patent probleminden dolayı, betonarme perde duvarları çelik perde duvarlarına dönüştürüldü[20] . **Şekil 4.6**, yapının planını ve görünüşünü göstermektedir. ENR(1978) makalesine göre, çelik plaka perdeyle kıyaslayınca “yüklenici, çelik çaprazlı çekirdeği daha pahalı bulduğu için reddetti” [20].

Yapını çevresi moment çerçevesinden ve “T” şeklinde güçlendirilmiş çelik plaka perdelerden oluşuyordu. Perde panelleri 10-ft yüksekliğinde ve 16,5-ft uzunluğundaydı. Perde panellerinin bir yüzünde düşey berkitmeler, diğer yüzünde ise yatay berkitmeler vardı. Paneller sınır kutusuna ve “H” çelik kolonlarına bulonlarla bağlıydı. İnşaat müteahhidi bu durumda şöyle bir yorumda bulundu: “ bir sonraki yüksek yapıyı muhtemelen bulonlu sisimik çelik perdelerle tasarlamayacağız” (ENR 1978) [20]. ENR makalesine göre, Tokyo’daki bir diğer yüksek katlı yapıda müteahhit, gereken doğruluğu elde etmedeki hatadan sonra bulonlu çelik panellerden kaynaklı çelik panellere geçti.

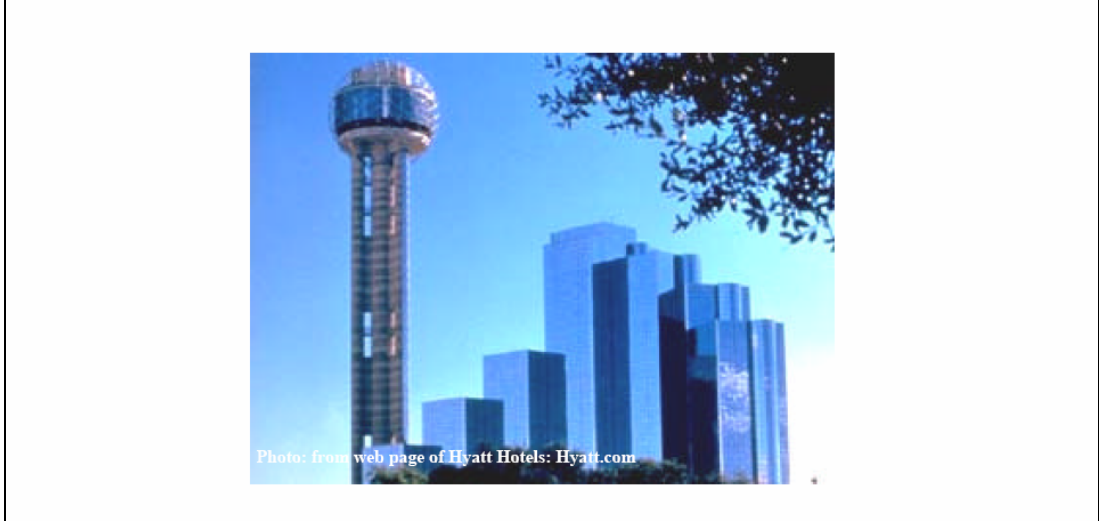


Şekil 4.6: Tokyoda’ki 56 katlı binanın planı ve enine kesiti. [20]

4.2.3 Teksas, Dallas'ta 30 katlı bir otel

Referans olarak tanımlanmış bu yapı (Troy ve Richard, 1988), çelik plaka perdelerin düşük sismisiteli fakat göreceli olarak büyük rüzgar yüklü bölgelerde etkili kullanımına çok iyi bir örnek teşkil etmektedir[20]. 30 katlı yapı boyuna doğrultuda çelik çaprazlara ve enine doğrultuda çelik plaka perde duvarlara sahiptir. Bu yapıdaki çelik perdeler yerçekimine bağlı olan yükün %60'ını taşıırken, geri kalan %40'lık kısmını çelik perdelerin sınırında bulunan geniş flanşlı kolonlar taşıyor.

Çelik plaka perdeleri yerçekimi yükü taşıyan elemanlar olarak kullanarak, tasarımcılar, kirişlerde ve kolonlarda önemli ölçüde çelik tasarrufu sağlamışlardır ve eşdeğer bir çelik moment dirençli çerçeve ile kıyaslandığında çelik perde duvar sistemi 1/3 oranında daha az çelik kullanmıştır (Troy and Richard, 1988) [20]. Dallas'ta bulunan rüzgar yükleri hakim yatay yüklerdi. Rüzgar yükü ile tasarım altında, maksimum yer değiştirme sadece 0.0025'di. Göreceli olarak düşük yer değiştirme, çelik plaka perde duvarlarının göreceli olarak yüksek düzlem rijitliğinden kaynaklanıyordu. **Şekil 4.7** yapının görünüşünü göstermektedir.



Şekil 4.7: Dallas'taki 30 katlı yapının görünüşü [20]

4.2.4. Los Angeles, Kaliforniya'da 6 Katlı Bir Hastane

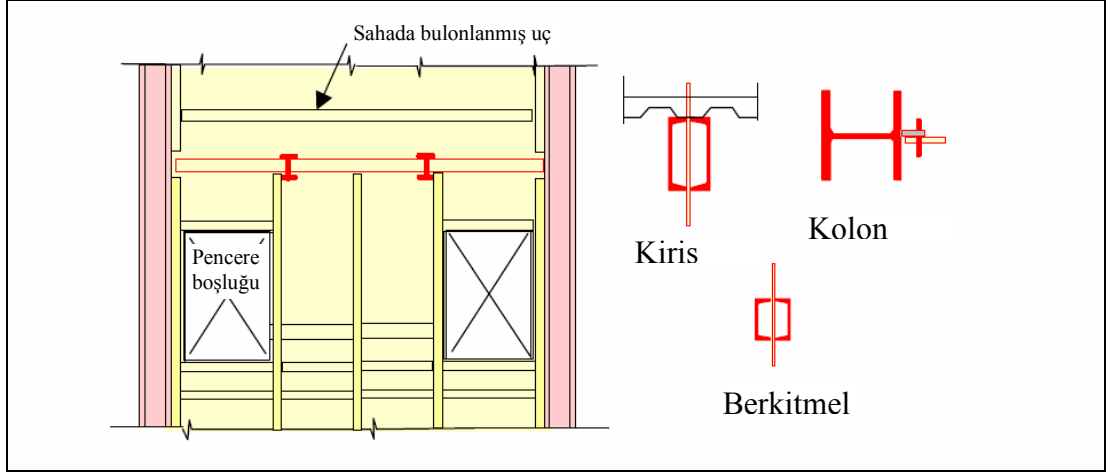
Şekil 4.8'de gösterilen bu yapı, Kaliforniya gibi sismisitenin çok yüksek olduğu bir alanda hastane gibi önemli bir yapıda çelik perde duvarlarının kullanımına çok iyi bir örnektir. Bu hastane yapısı, 1971 San Fernando depremi sırasında kısmen göçen ve yıkılmak zorunda kalan betonarme Olive View Hastanesi yerine yapılmıştır.



Şekil 4.8: Sylmar Hastanesi'nin bir görünüşü [20]

Şekil 4.8'de gösterilen yeni Sylmar Hastanesi'nde, yerçekimi yükü tamamıyla çelik uzay çerçeve ile karşılanıyor ve yatay yük ilk iki katta bulunan betonarme perde duvarları ve yukarıda bulunan dört kattaki çelik plaka perde duvarları ile karşılanıyor. Bu binadaki çelik perde duvar panelleri 5/8" (1,59cm) ve 3/4" (1,91cm) duvar kalınlıkları ile birlikte 25ft (762cm) genişliğinde ve 15.5ft (473cm) yüksekliğindedir. **Şekil 4.9**'da gösterildiği gibi duvarlar pencere boşlukları ve berkitmelere sahiptir. Çelik plaka panelleri kolonlar üzerindeki bayrak(kanat) panellerine bulonlanmıştır. Berkitmeler kadar yatay kirişler, çelik plakaya **Şekil 4.9**'da gösterildiği gibi kutu şekli oluşturmak için çift kanallı kaynaklanmıştır. Tasarımcılara (Youssef, 2000) ve (Troy ve Richard, 1988) göre, iki kanallı kutu kesitler, çelik plakaların sınırlarında burulmaya karşı rijit elemanlar oluşturmak ve plaka panellerinin burkulma kapasitelerini arttırmak için kullanıldı [20].

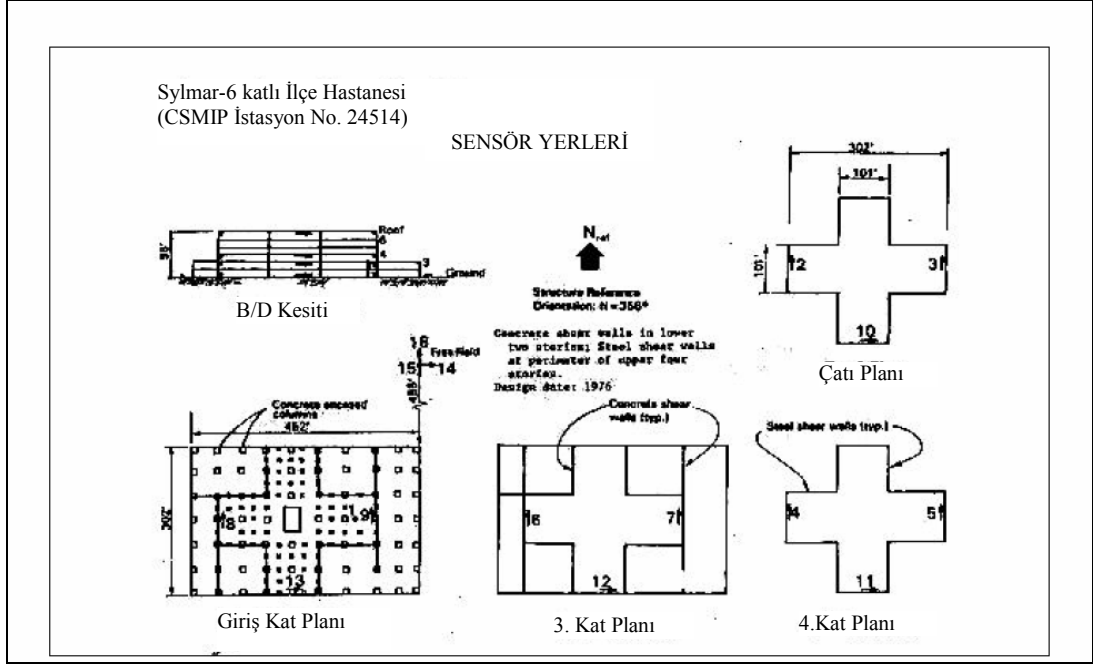
Duvarlar, berkitmelerle sınırlandırılmış panellerin yerel burkulma kapasiteleri kadar berkitilmiş duvarların genel burkulma kapasitesi için tasarlandı. Çekme bölgesi hareketinin kapasitesi, tasarımcıların çekme bölgesi hareketinin bulunduğunu onaylamalarına ve maksimum büyüklükte bir deprem olayında "ikinci savunma hattı" mekanizması gibi çekme bölgesi hareketinin mukavemetini göz önüne almalarına rağmen, kullanılmadı.



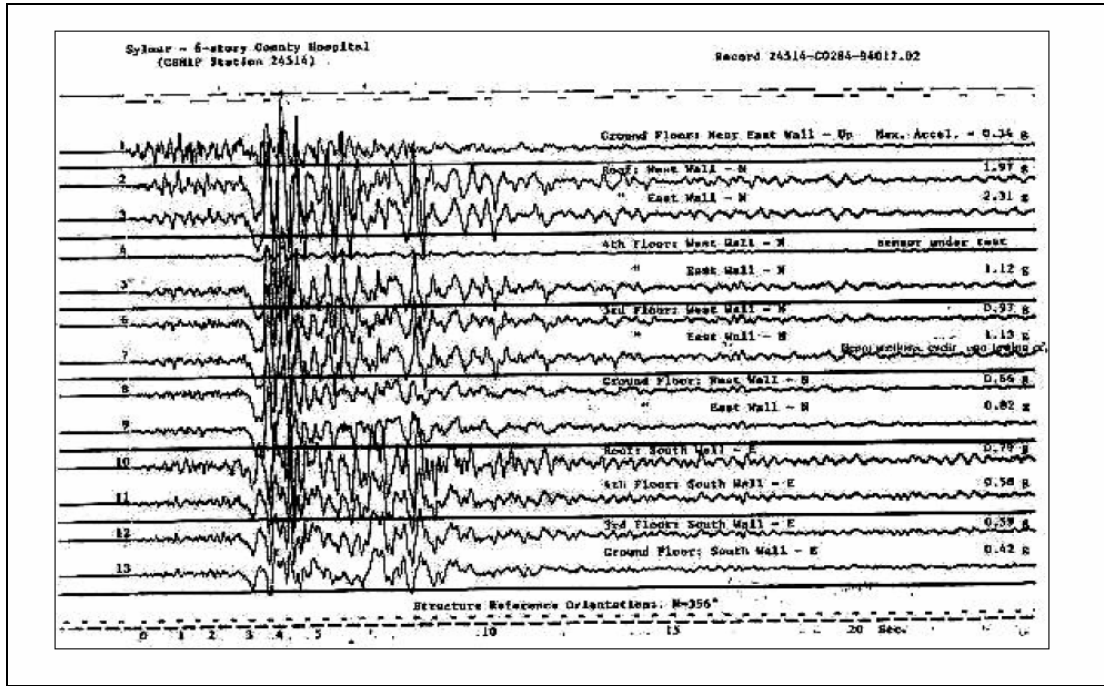
Şekil 4.9: Sylmar Hastanesi'nin berkitilmiş çelik perde duvarlarının bir görünüşü
[20]

Kaliforniya Dayanıklı Hareket Enstrüman Programı (CSMIP), Sylmar Hastanesi'ni aletlerle donatmıştır. **Şekil 4.10**, ölçülen ivmelerin doğrultusunu ve her eleman için Kanal Sayısını göstermektedir. 1987 Whittier ve 1994 Northridge depremleri bu yapıyı salladı ve yapının tepkileri üzerine önemli kayıtlar elde edildi. **Şekil 4.11**, 1994 Northridge depremi sırasında bu binada bulunan CSMIP aletleri tarafından kaydedilen verileri göstermektedir. Yer ivmesi yaklaşık olarak 0.66g iken çatı seviyesindeki ivmeler 2.3g'den fazlaydı.

Astaneh-Asl tarafından 1994 Northridge depreminin bu binaya verdiği kötü sonuç hasarlarının incelenmesi şunu gösterdi: asma tavan gibi yapısal olmayan elemanlarda ciddi hasar vardı ve su serpme sistemi, su serpme aletlerinin birçoğunun kırılmasıyla sonuçlandı ve bazı katları su bastı. Ek olarak, hastaların odalarının duvarına bulonlanmış birçok TV seti, duvardaki bağlantılarını kırıp döşemelere düşmüşlerdi. Yapısal olmayan hasar, açıkça bu yapının çok yüksek rijitliğinin göstergesidir. Bu aynı zamanda ivmenin yer seviyesinden çatı seviyesine göreceli olarak büyümesinin de sebebidir. Bu yapının sisimik tepkileri üzerine daha fazla bilgiye (Celebi, 1997)'de ulaşılabilir.



Şekil 4.10: Sylmar Hastanesi'nin aletlerle donatılmış hali, (CSMIP, 1994). [20]

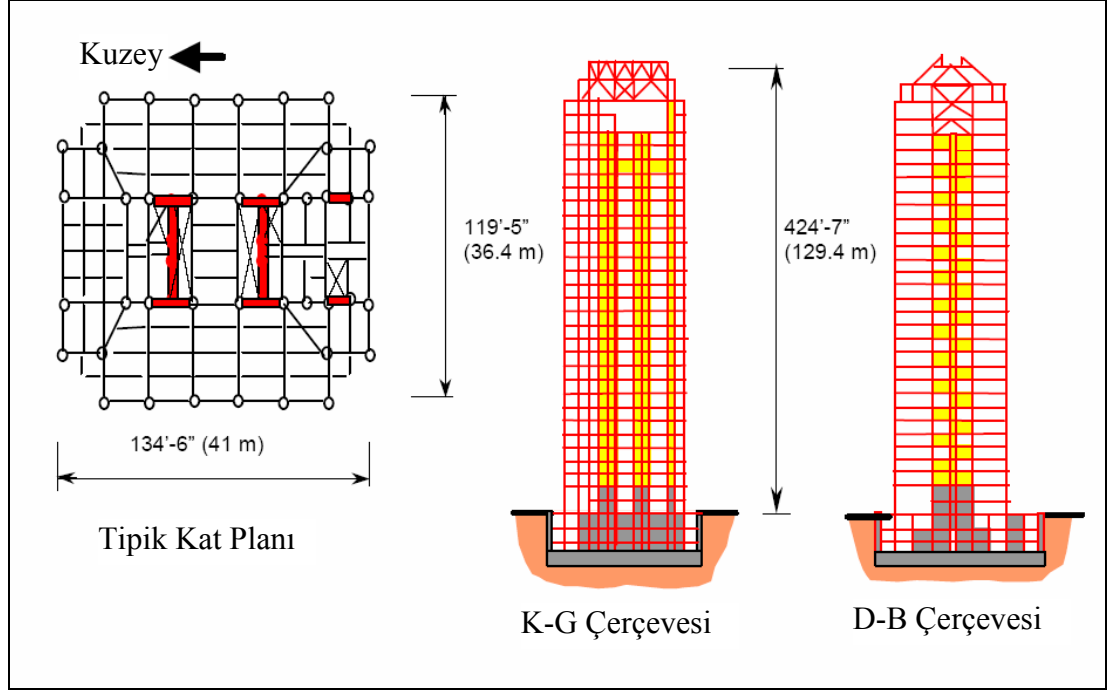


Şekil 4.11: Sylmar Hastanesi'nde aletlerden elde edilmiş kayıtlar,(CSMIP, 1994).

4.2.5. Japonya, Kobe'de 35 Katlı Bir Ofis Binası

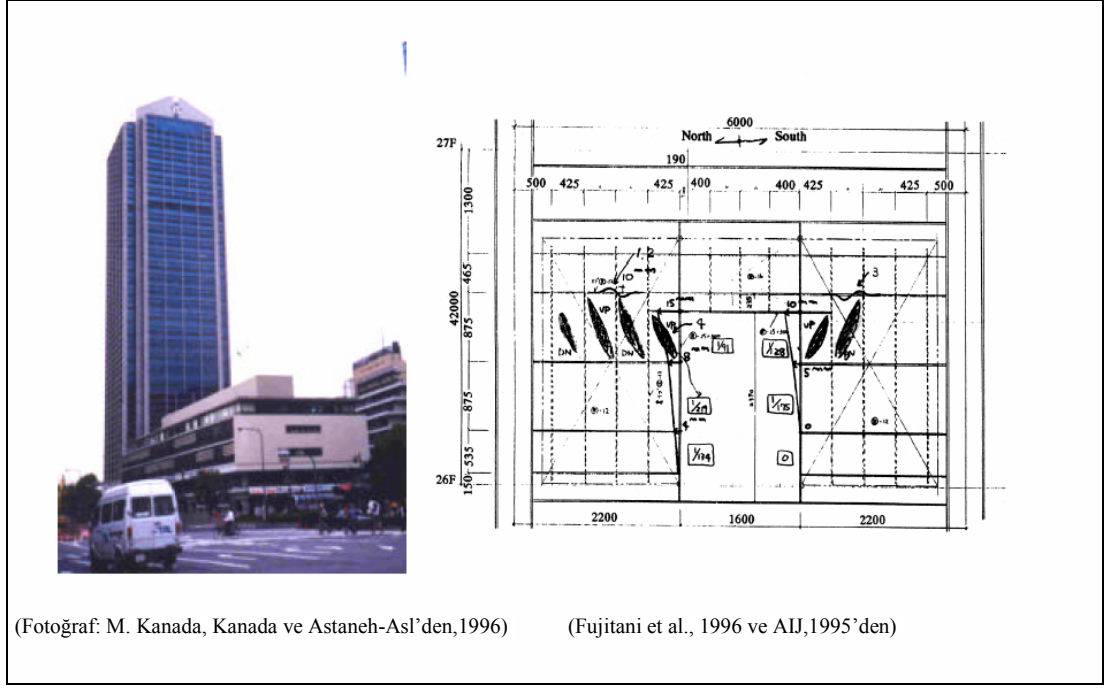
Depremseiliği çok yüksek olan bir bölgede çelik plaka perde duvarları ile yapılmış önemli yapılardan bir tanesi Japonya, Kobe'de bulunan 35 kat yüksekliğinde çok katlı bir yapıdır. Bu yapı 1988'de inşa edildi ve 1995 Kobe depremine maruz kaldı. Bu binadaki taşıyıcı sistem, çelik moment çerçeveleri ve perde duvarlardan oluşan

ikili bir sistemdir. Bodrum kat seviyesindeki perde duvarlar betonarme ve birinci ve ikinci katlardaki duvarlar kompozit ve ikinci katın üzerindeki duvarlar berkitilmiş çelik perde duvarlarıdır. **Şekil 4.12**, karkas planı ve tipik çerçeveleri göstermektedir. Astaneh-Asl, 1995 Kobe depreminden yaklaşık iki hafta sonra bu binayı ziyaret etmiştir ve gözle görülebilir hiçbir hasar bulamamıştır.

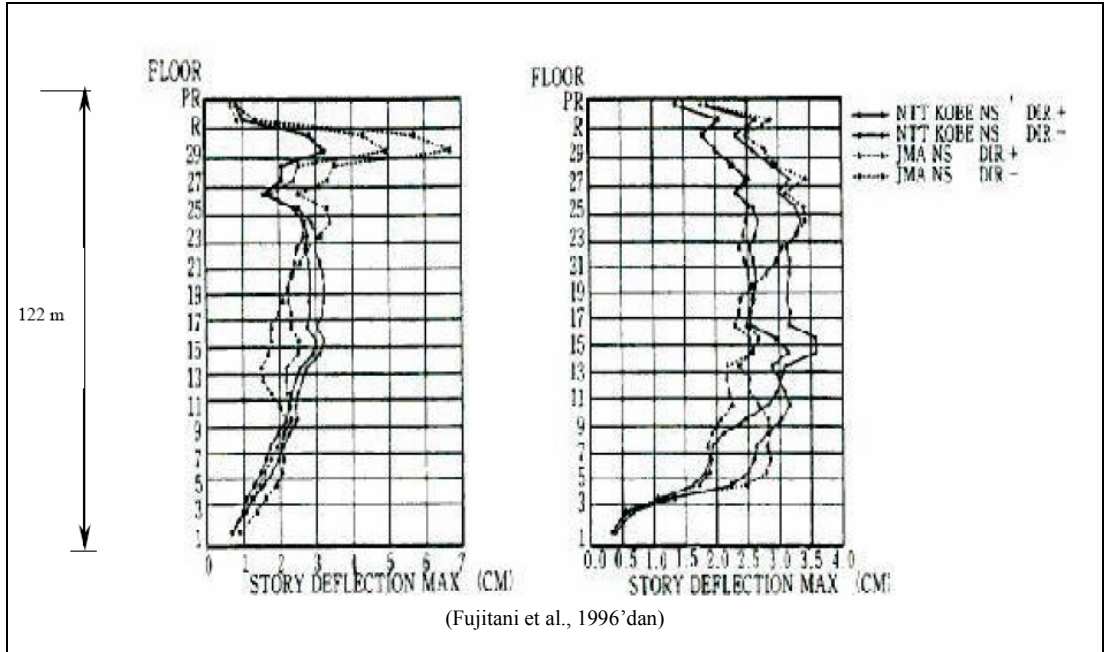


Şekil 4.12: Kobe'deki 35 katlı binanın yapısı ve görünüşü. [20]

Bu yapının çalışmaları (Fujitani et al., 1996) (AIJ, 1995) şunu göstermiştir: hasar küçüktü ve 26. kattaki berkitilmiş çelik plaka perde duvarının yerel burkulmasından oluşuyordu ve çatıda 225mm kuzeye ve 35mm batıya doğru kalıcı deplasman yapmıştı [20]. **Şekil 4.13**'da 26. kattaki perde duvarın hasarının eskizini göstermektedir. Yukarıdaki referanslar içerirsinde rapor edilen bu yapının elastik olmayan deprem sonrası analizlerinin sonuçları şunu göstermektedir: binanın 24. ve 28. katları arasında yumuşak katlar oluşabilirdi. **Şekil 4.14**, bu yapının elastik olmayan modelinin Kobe yer hareketlerinin (AIJ, 1995) ikisine maruz kaldığı zaman Kuzey-Güney ve Doğu-Batı doğrultularındaki kat yer değiştirmelerinin sonuçlarını göstermektedir. En büyük ara kat yer değiştirmesi yaklaşık %1.7 ile Kuzey-Güney çerçevesinin 29. katındadır.



Şekil 4.13: 35 katlı binanın bir görünüşü ve 26. katın perde duvarlarının hasarı. [20]



Şekil 4.14: Çok katlı Kobe yapısının KG ve DB çerçevelerindeki yer değiştirme sonuçları. [20]

4.2.6. 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. Bu yapı Skilling, Ward, Magnusson, Barkshire of Seattle tarafından tasarlanmış ve şu anda inşa

halindedir. Bina bir konut kulesidir ve tamamlandığında 48 katı yerin üzerinde ve dört katlı parkı bodrum seviyesinde olacaktır. Yapının temsili resmi ve tipik kat planı **Şekil 4.15**'de gösterilmiştir.



Şekil 4.15: Century binasının temsili resmi. [20]

Bu binada yerçekimi kuvveti taşıyıcı sistemi, çekirdekte dört büyük çelik tüpün betonla doldurulması ve çevresinde onaltı daha küçük çelik tüp kolonlarının betonla doldurulmasından oluşmaktadır. Çekirdeğin dışındaki katlar art-germeli düzlem döşemelerden oluşmaktadır; çekirdeğin içinde ve alt katlarda tipik kompozit çelik üzeri beton döşemeden oluşmaktadır. Temel, tekil betonarme hasır temelinden oluşmaktadır.

Yapının ana yatay yük taşıyıcı sistemi dört büyük beton alanlı her biri çekirdeğin bir köşesinde olan çelik tüplü çekirdek, ve çelik perde duvarlar ve bağ kirişlerinden 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.

4.2.7. Seattle, Washington’da 22 Katlı Bir Ofis Binası

Şekil 4.16 bu binanın bir görünüşü göstermektedir. Bu yapı, Skilling Ward Magnusson Barkshire tarafından tasarlanmıştır. Tipik kat karkası, geniş flanşlı kiriş ve kolonlarla desteklenen tipik çelik-betonarme döşemesinden oluşmaktadır.



Şekil 4.16: Seattle binasının temsili resmi. [20]

Yatay yük taşıyıcı sistemi, dört büyük beton ile doldurulmuş tüplü bir çekirdek ve çelik plaka perde duvarları ve tüpleri birbirine bir doğrultuda ve diğer doğrultuda çelik çaprazlı çerçeveleri bağlayan bağ kirişlerinden oluşmaktadır.

Önceki bölümde tartışılan 52 katlı yapıya benzer olarak, bu yapıdaki çelik plaka perde duvar sistemi de öncelikle hazır kaynaklı, şantiyede bulonlanmış çelik plakalar ile dairesel kolonlara şantiyede kaynaklanmış kirişlerden oluşmaktadır. Dört beton ile doldurulmuş dairesel tüp binanın içindeki yerçekiminin büyük bir çoğunluğunu taşımaktadır. Çelik kutu çekirdeğinin içindeki I şekilli kolonlar yerçekiminin taşınmasına katkıda bulunmamaktadır ve öncelikli olarak, çelik perde duvarın ve özel moment taşıyıcı çerçevenin oluşturduğu ikili sistem olarak göz önüne alınan yatay yük taşıyıcı sistemin bir parçasıdır.

4.2.8. Japonya’da “Düşük Akmalı” Çelik Perde Duvarların Kullanımı

Son yıllarda, “Düşük Akma Noktalı (LYP)” çelik plakalar Japonya’da geliştirilmiştir ve çelik plaka perde duvarlar olarak başarıyla kullanılmaktadır[20]. Düşük akmalı çelik, A36 çeliğinin yarısı kadar bir akma noktasına ve daha büyük bir sünekliğe sahiptir ve son uzaması A36 çeliğinin son uzamasının iki katından fazladır. Japonya’da şu sergilenmiştir: bu gibi çelikler, yapının enerji dağıtan elemanı olarak

çok etkili bir şekilde kullanılabilir. Daha sonra bölüm 4.3’de, düşük akmalı çelik ve özellikleri ve döngüsel davranışı hakkında daha fazla bilgi sağlanacaktır. Aşağıda, Japonya’da çelik plaka perde duvarlar kadar düşük akmalı çelik plakaların kullanımı tartışılacaktır. **Şekil 4.17**, düşük akma noktalı çeliğin yapının asansör ve merdiven boşluğunda kullanıldığı bir yapıyı göstermektedir. LYP panelleri berkitilmiş, hazır kaynaklıdır ve sahada bulonlanmıştır.



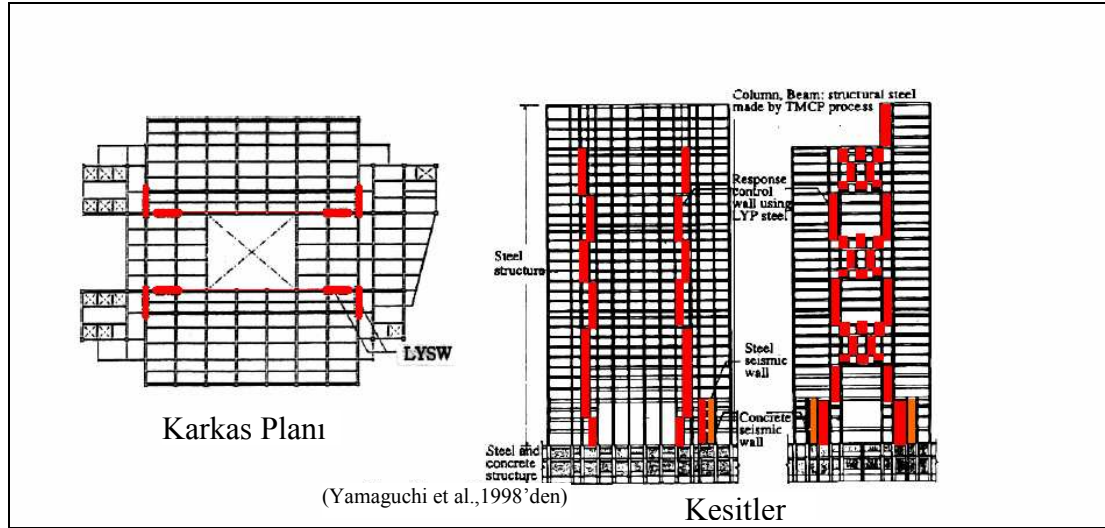
Şekil 4.17: Düşük Akma Noktalı (LYP) çelik plaka perde duvarlı binanın bir görünüşü ve duvarların yakın görünüşü. [20]

Şekil 4.18, Japonya’da 31 katlı bir binada düşük akma noktalı çelik plaka perde duvarların son uygulamalarının bir diğer örneğini göstermektedir. Yamaguchi et al. (1998)’e göre, bu yapıda kullanılan LYP çelik, 11.6 –17.4ksi’lik akma noktası gerilmesinden ve 29-43.5ksi’lik çekme mukavemetinden %2’lik bir sapmaya ve kırılmada %50’yi aşan uzamaya sahiptir [20].

Duvarlar yaklaşık olarak $\frac{1}{4}$ inch’den bir inch’e kadar kalınlıktaydı ve yaklaşık 14’-9” a 9’-10” yatay ve düşey berkitmelerle berkitilmişti. Prefabrik LYP duvar üniteleri sınır kirişlerine ve sürtünme bulonları kullanan kolonlara bağlanmışlardı. Duvarlar rüzgar yükü altında elastik kalacak şekilde fakat “1. Derece” depremlerde akacak şekilde tasarlanmışlardı.

Tasarımcıların raporu şunu belirtmektedir: düşük akmalı çelik kullanılması sonucunda yer değiştirme değerleri %30 azalmıştır. (Yamaguchi et al, 1998)

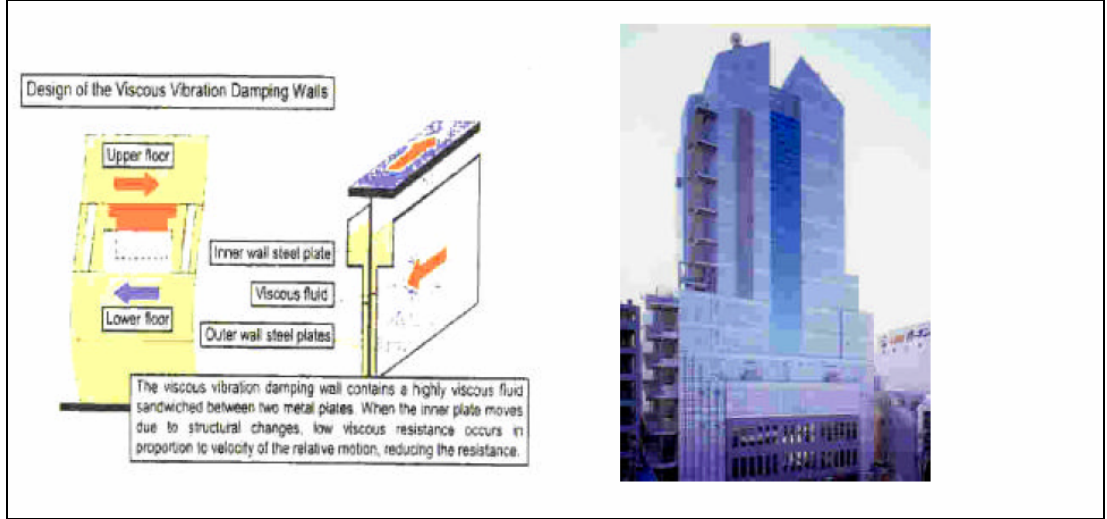
kaynağında verilenlerden, şu sonuç çıkarılabilir: LYP çelik perde duvarlarının değişik biçimde düzenlenmesinin görünen sebebi eğilme etkilerinin azaltılmasıdır [20]. Şu gözükmemektedir: bu gibi değişik biçimler duvarlarda biriken yerçekimi yükünden de koruyabilir. Sonuç olarak, bu gibi duvarlar öncelikle kesmeye ve göreceli olarak küçük eğilme etkilerine maruzdur. Moment çerçeveleri yatay yüklerden dolayı devrilme momentlerini taşırlar.



Şekil 4.18: Düşük akmalı çelik plaka perde duvar kullanılarak yapılan Japonya'daki 31 katlı binanın karkas planı ve kesitleri. [20]

4.2.9 Japonya'da "Viskoz Duvar Perdeli" Çelik Perde Duvarların Kullanımı

Japonya'nın Oiles şirketi, basitçe viskoz perde olarak hareket eden çelik plaka perde duvar sistemi geliştirmiştir. **Şekil 4.19**, bu sistemin bir eskizini gösterdiği gibi bu sistemin kullanıldığı bir yapı olan Media City Shizuoka binasını göstermektedir. Shimoda et al (1996) tarafından yapılan çalışmalar, bu sistemin sismik davranışı geliştirdiğini ve sismik etkilerin oldukça düşürüldüğünü göstermektedir [20].



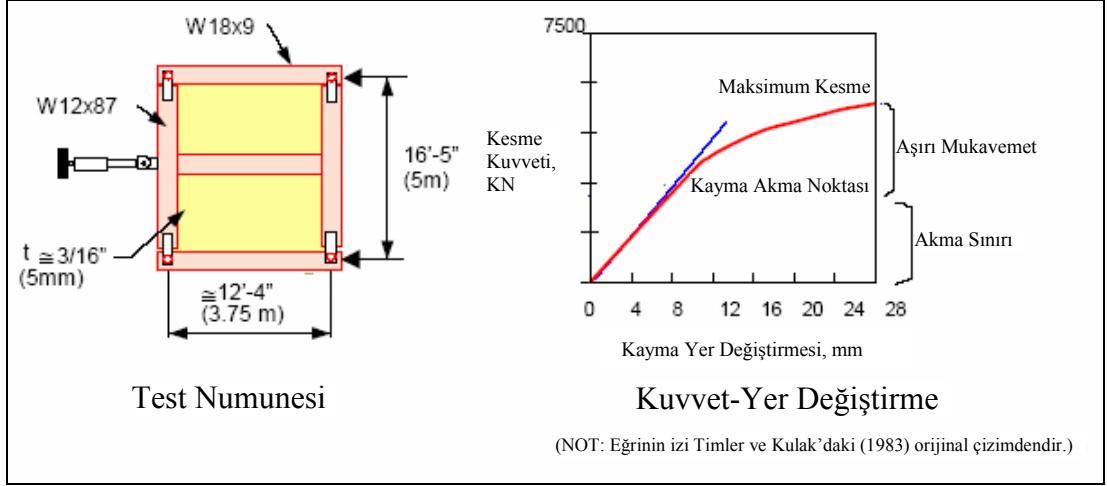
Şekil 4.19: “Oiles Viskoz Duvar Perdeli” sistem ve bu sistemin kullanıldığı bir bina.[20]

4.3. Çelik Perde Duvarlarının Laboratuvar Testleri

ABD, Japonya, Kanada ve İngiltere’de birtakım araştırmacılar çelik perde duvarlarının davranışlarını incelemişlerdir. Bu bölüm çelik perde duvarlarının testleri ve deneysel çalışmaların kısa özetlerini içermektedir.

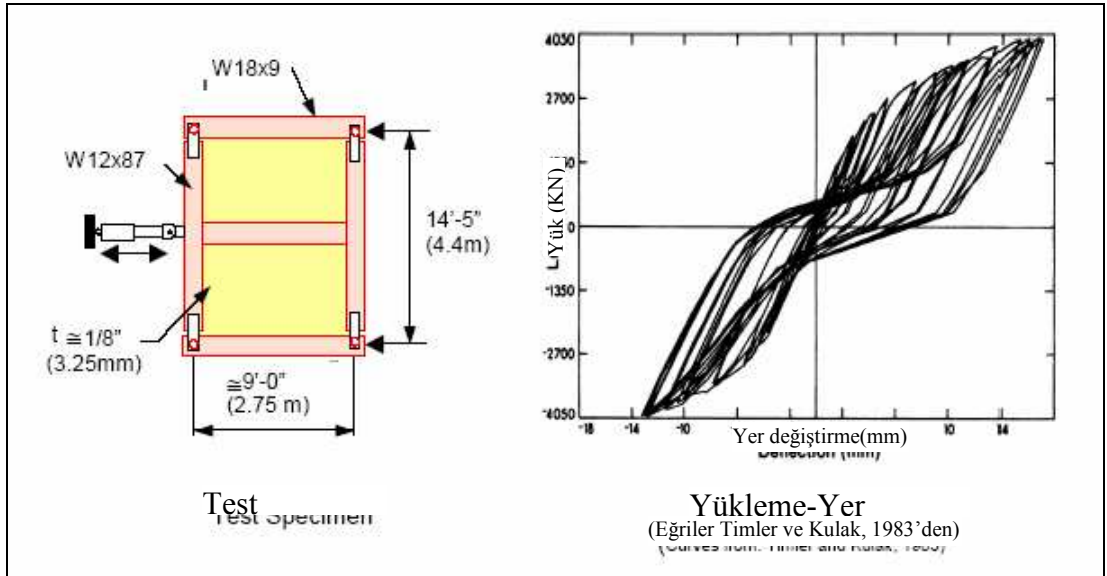
4.3.1. Çelik Perde Duvarlarının Kanada’daki Testleri

Alberta Üniversitesi’ndeki araştırmacılar, (Timler ve Kulak, 1987), (Kulak, 1991) ve (Drivet et al., 1996), çelik perde duvarlarının monotonik ve döngüsel (cyclic) deneylerini yönetmişlerdir [20]. Bu testlerin özetleri şu şekilde verilmiştir. **Şekil 4.20**, Timler ve Kulak (1983) tarafından yapılan, numune ve statik monotonik test için yük yer değiştirme eğrisini göstermektedir. Yük yer değiştirme eğrisi sünek davranış ve önemli aşırı mukavemete işaret etmektedir. Numune sünekliğin 4.0’ı aştığını göstermektedir. Önceleri, Thorburn et al. (1983) analitik araştırmaları temeline dayanarak çekme bölgesinin eğim açısı için bir denklem önermişti. Bu test önerilen denklemin yeterli doğruluğu sağladığını göstermektedir.



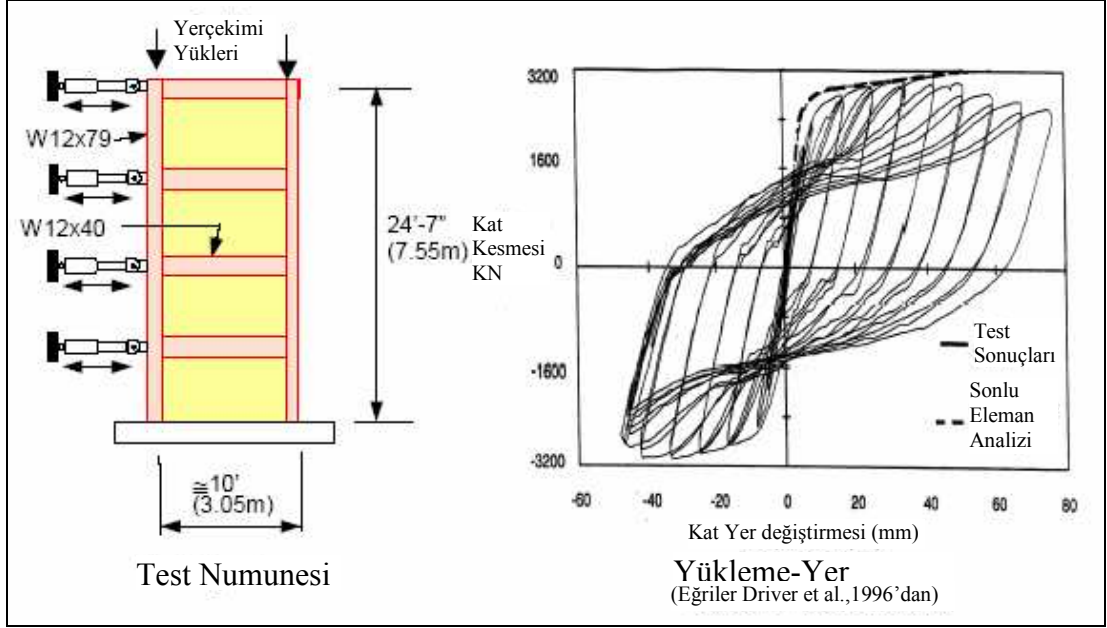
Şekil 4.20: Alberta Üniversitesi'nin ilk testi (statik yükleme) [20]

Şekil 4.21 Timler ve Kulak'ın (1983) döngüsel (tekrarlı) yükler altında test ettiği numuneyi gösteriyor. Şekil aynı zamanda yük-döngüsel histerik (ardıl izlem) yer değiştirme tepkisini göstermektedir. Test sonuçları 2.0'dan daha fazla aşırı mukavemet olduğunu ve sünekliğin 3.5 den daha fazla olduğunu göstermektedir.



Şekil 4.21: Alberta Üniversitesi'nin ikinci testi (döngüsel yükleme) [20]

Driver et al (1996 ve 1998) dört katlı bir çelik perde duvar numunesinin döngüsel testinin sonuçlarını rapor etmiştir [20]. **Şekil 4.22**'te gösterilen numune özel moment taşıyabilen çerçeveye kaynaklanmış çelik plaka perde duvar ile oluşturulmuş ikili sistemin 1/2 ölçekli gösterimidir.

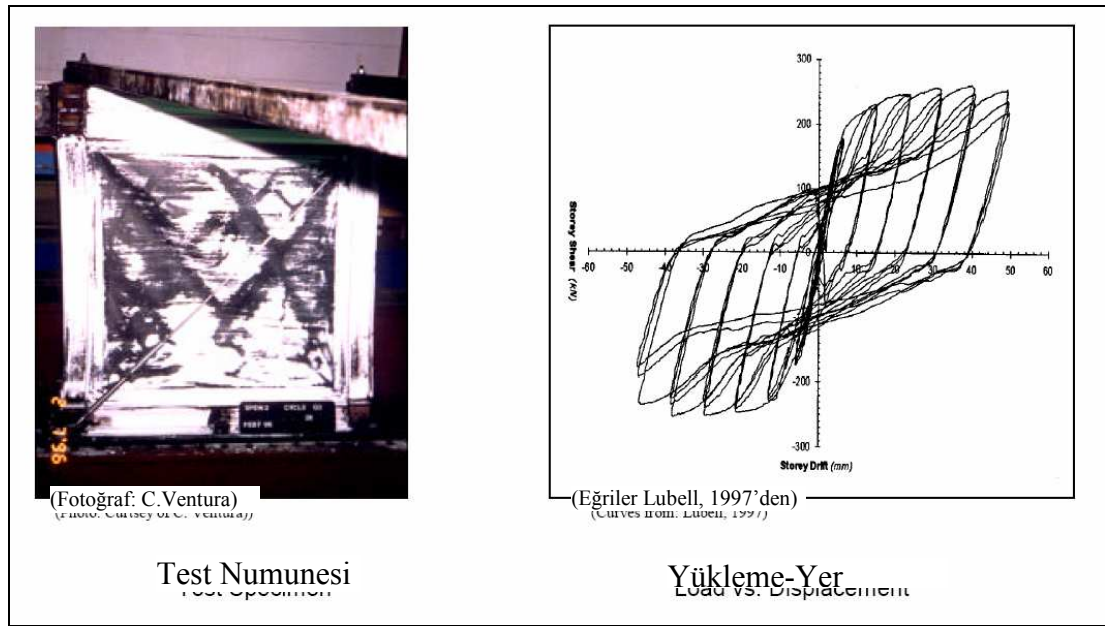


Şekil 4.22: Alberta Üniversitesi'nin test düzeneği ve histerik davranışın bir örneği [20]

Şekil 4.22 çelik perde duvar panelinin ilk katının döngüsel tepkisini göstermektedir. Göçme modu taban levhasına kaynaklanmış kolonun ısıyla etkilenmiş bölgesinde bulunan sol kolonun çatlamasıydı. Araştırmacılar (Driver et al, 1998) 20 döngü sırasında meydana gelmiş, kolon flanşının yöresel burkulmuş alanlarında geniş deformasyon büyüklüklerine sebep olan, kolon yerel burkulmasının göçme modu ile ilgilendiler [20]. Çatlamadan önce, numune çok sünek bir şekilde davranmıştır. Ne yazık ki, bu numunenin göçme modu ne duvarın kendi göçmesiyle ne de sistemin bir bütün olarak davranmasıyla doğrudan ilişkilidir. Reaksiyon kirişine bağlı kolonun tabanındaki göçme muhtemelen reaksiyon döşemesine ve test takımına bağlı numunenin tabanındaki stres yoğunluğundan dolayıdır. Bu şekildeki stres yoğunluklarının gerçek bir yapıda oluşması beklenmez. Ancak, bu numunedeki kolonun tabanı erken göçmüş olsa bile, döngüsel davranış, aşırı mukavemetin 1.3 ve sünekliğin 6.0'dan büyük olduğunu göstermektedir.

Son zamanlarda British Columbia üniversitesindeki araştırmacılar bir seri çelik plaka perde duvarlarının sallama tablası ve döngüsel testlerini gerçekleştirmektedirler. [(Lubell, 1997), Rezai, 1999) ve (Rezai et al.1988 ve 2000)] [20]. Bu çalışmalarda, döngüsel kesme(makaslama) kuvvetleri 2 adet tek katlı numuneye uygulanmıştır. **Şekil 4.23**, numunelerden birinin testten sonraki halini ve numunenin histerik davranışını göstermektedir. Numunelerdeki sınır çerçeveler “ikili” yapı sistemi ile

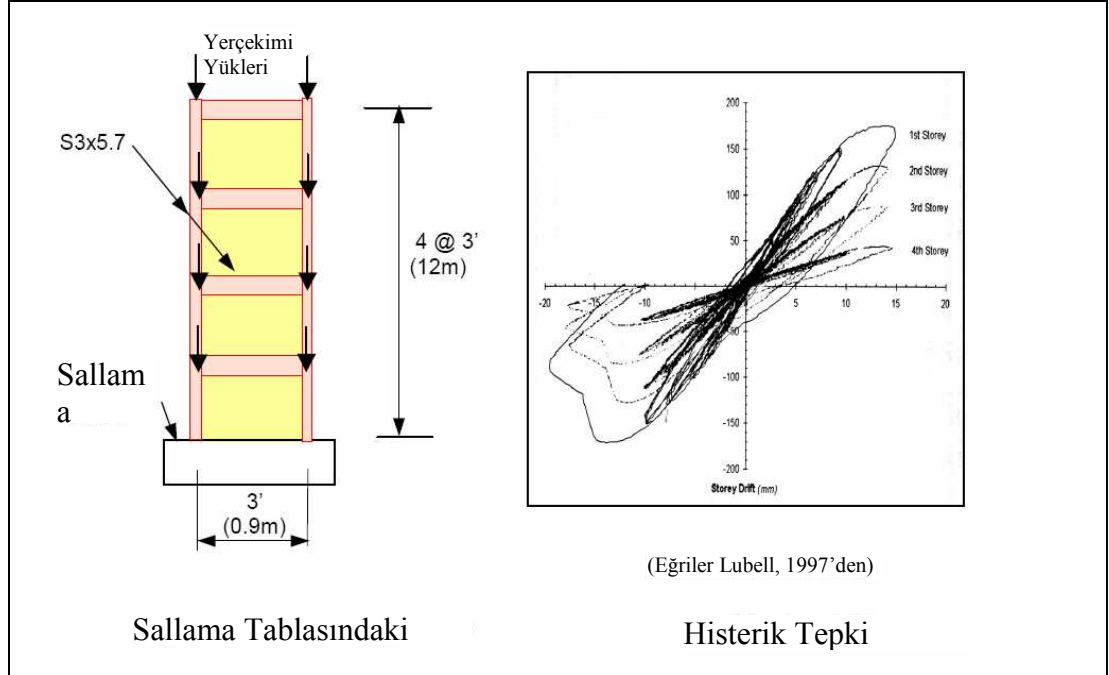
sonuçlanan moment çerçeveleriydi. İki numune birbirinden ancak taban köşebent plaka detayıyla ve üst kiriş ile farklılaşıyordu. İkinci numune için, daha kuvvetli taban bağlantıları ve üst kirişi kullanıldı. Tek katlı numuneler 6 civarında sünekliğe kadar önemli elastik-olmayan deformasyonlar gerçekleştirdiler. Aşırı mukavemet 1.5 civarındaydı. Araştırmacılar şu sonuca vardılar: “2 adet tek katlı numuneler şunu sergilemiştir: İçi dolu çelik plakalar, kiriş kolon birleşimlerinde meydana gelen dönme isteğini azaltan diyagonal kat çaprazları üretimini azaltarak önemli ölçüde moment taşıyabilen çerçeve talebini azaltıyor.”



Şekil 4.23: British Columbia Üniversitesi'nin iki numunesinden birisi ve histerik döngüsü[20]

Sallama tablası testlerinde, (Lubell, 1997), %30 oranında küçültülmüş 4 katlı bir konut binasının iç çekirdeği modellenerek, numune olarak kullanılmıştır [20]. **Şekil 4.24** numunenin bir görüntüsünü ve deney düzeneğini göstermektedir. Her katın boyutları neredeyse tek katlı numunedekilerle aynıydı. Çerçeveyi rijit çerçeveye kaynaklayarak ikili bir sistem elde edilmiştir. Elemanlar S3x5.7'dir (Canadian S75x8). Çatı seviyesi kirişi S8x23'dir (Canadian S200x34). Numunenin her bir panelinde, 1.5'in maksimum yer değiştirme sünekliği, kolonlar tarafından üretilen genel stabil olmayan göçmeden önce elde edilmiştir. Numune aşırı mukavemeti 1.20 civarında göstermiştir. Numune bir katlı numunelerden daha esnek olduğunu ispatlamıştır. **Şekil 4.25**, 1. kat için, kuvvet-şekil değiştirme histerik döngülerini

göstermektedir. Döngüsel testlerin tüm detayları için Lubell (1997) and Rezai (1999) kaynağına bakabilirsiniz [20].



Şekil 4.24: British Columbia Üniversitesi'nde test edilen numune ve tepkisi [20]

4.3.2. Çelik Perde Duvarlarının Japonya'daki Testleri

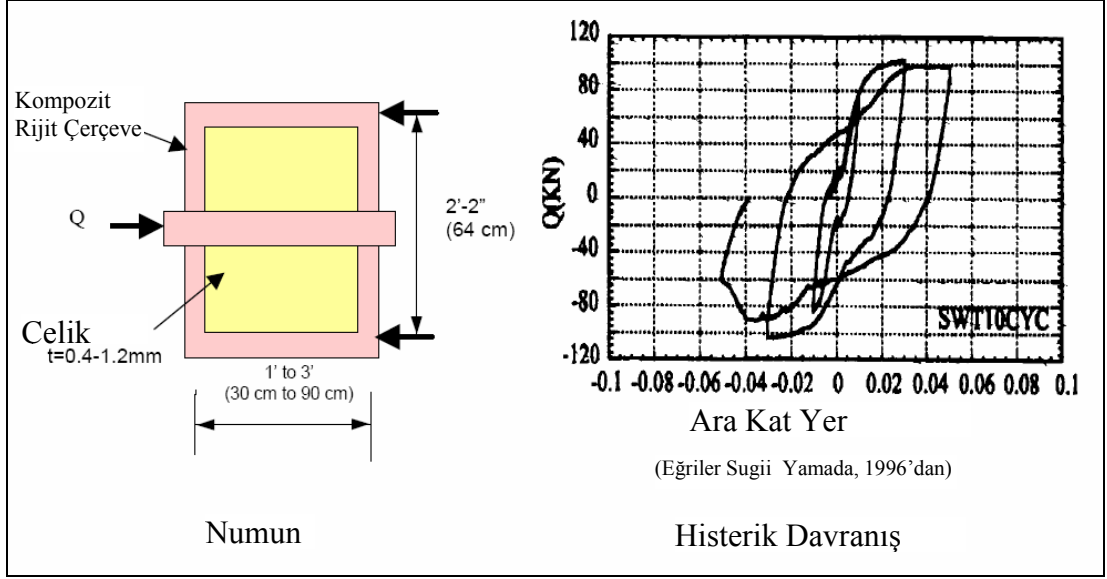
Takanashi et al. (1973) ve Mimura and Akiyama (1977), çelik perde duvarlarının erken testlerinin bazılarını yürütmüşlerdir [20]. Takanashi et al. 12 adet tek katlı ve 2 adet iki katlı numunelerin döngüsel testlerini yürütmüştür. 12 adet tek katlı numune yaklaşık 6'-11" (2.1 m) genişliğine ve 2'-11" (0.9 m) yüksekliğine sahipti. Yaklaşık olarak 1/32", 1/8" ve 3/16" (2.3mm, 3.2mm ve 4.5mm) kalınlığında çelik plakalar kullandılar. Tipik bina boyutları ile kıyaslandığında, numunelerin boyutları örnek duvarların 1/4 'ü olarak göz önüne alınabilir. Numunelerden birisi hariç, numunelerin hepsi düşey veya düşey ve yatay berkitmelerle bir veya iki tarafından çelik plakaya kaynaklıdır. Sınır çerçeveler çok rijit bağlanmış çerçevelerdir. Numuneler panellerde nerdeyse sadece kesme kuvveti oluşturmak için diyagonalleri ile birlikte yüklendiler. Numunelerin davranışları çok sünekti ve bazı durumlarda 0.1 raydanı geçen kaymış açılara sahipti. Numunelerin kesme mukavemetleri sadece kesme için $V_y = A(F_y / \sqrt{3})$ olarak hesaplanan Von Mises akma kriteri ile tahmin edilmiştir.

Takanashi et al (1973) tarafından test edilen 2 adet iki katlı numuneler bu tezin 4.2.5 bölümünde tartışılan çok katlı yapının perde duvarlarını temsil etmek için tasarlandı.

Numuneler bire bir oranındaydılar. Numunelerden birisi boşlukları da temsil ediyordu, diğeri boşluksuzdu. Boşluklu numune yaklaşık ¼” (6mm) duvar kalınlığına sahipken boşluksuz numune yaklaşık 3/16 (4.5mm) duvar kalınlığına sahipti. Bir defa daha, Von Mises akma kriteri ile tahmin edilen keseme sınır mukavemeti test sonuçları ile çok yakın olduğu ortaya çıktı. Araştırmacılar şu sonuca vardılar: geleneksel kiriş teorisi, berkitilmiş perde duvarlarının sertlik ve mukavemetinin hesaplanmasında kullanılabilir.

Yamada (1992) çelik ve kompozit perde duvarlarının döngüsel testlerinin sonuçlarını rapor etmiştir. İki numune berkitilmemiş çelik plaka perde duvarından oluşmaktadır. Numuneler 3’-11” (1.2m) genişliğinde ve yaklaşık 2’ (0.6 m) yüksekliğindedir. Duvarların kalınlığı da 3/64” (1.2mm) veya 3/32” (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.

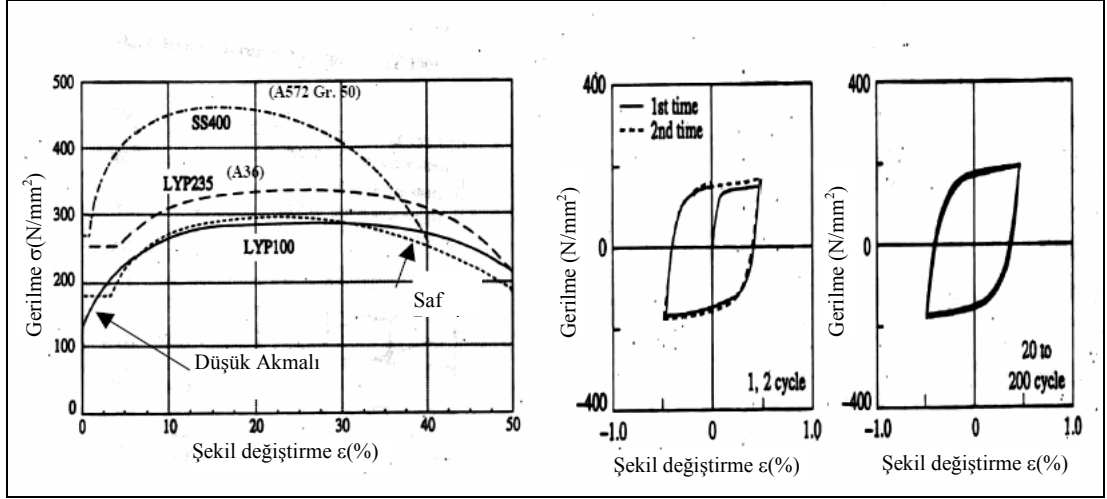
Sugii and Yamada (1996), 14 adet çelik plaka perde duvarlarının döngüsel ve monotonik testlerinin sonuçlarını rapor etmişlerdir. Numuneler 1/10 ölçekli modellenmiş ve 2 kat yüksekliğindeydi. Sınır çerçeve dikdörtgen betonarme kesitlerin içerisine gömülmüş I çelik profilli rijit kompozit çerçevelerdi. **Şekil 4.25**, tipik bir numuneyi ve histerik döngüleri göstermektedir. Tüm numuneler basınç bölgesinin burkulmasından dolayı histerik döngülerin sıkıştığını göstermektedir.



Şekil 4.25: Tipik test numunesi ve 1mm’lik plaka için tipik histerik döngüler [20]

Torii et al (1996) çok katlı yapılardaki “düşük-akmalı” çelik perde duvarlarının uygulamaları üzerine çalıştılar. Son yıllarda, sismik tepkileri kontrol etmek amaçlı, düşük akmalı çeliklerin perde duvarlarında kullanılması için Japonya’da önemli ölçüde araştırma ve geliştirme çabaları bulunmaktadır. Bu gibi çabalar, bu sistemi kullanan yapıların birçoğunun tasarımı ve yapımına öncülük etmiştir (Yamaguchi et al, 1998) [20]. Yayınlanan verilerden şu gözükmektedir: bu sistem çok umut verici ve bu alanda daha çok araştırma ve geliştirmeye ihtiyaç vardır.

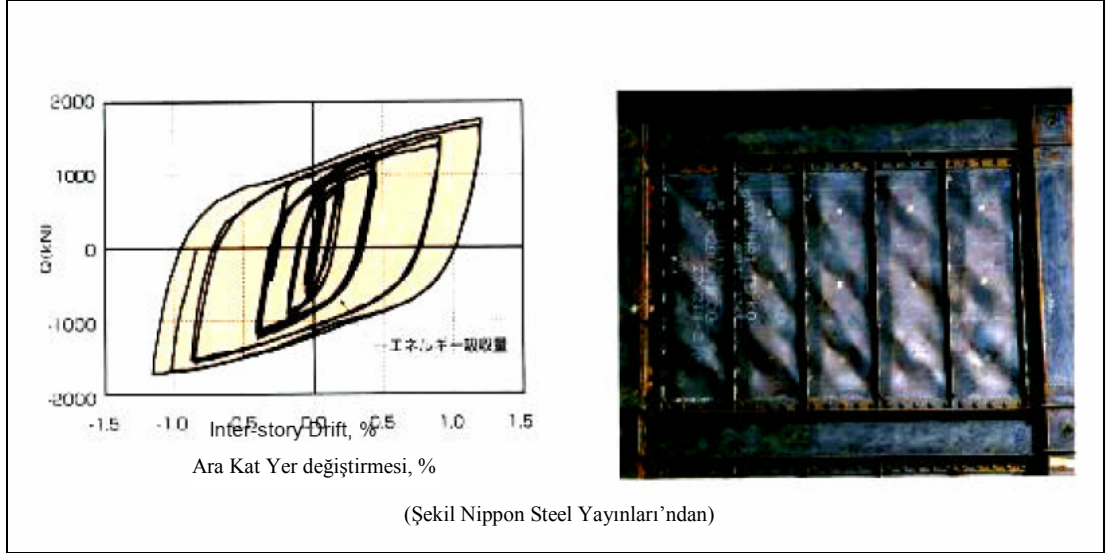
Nakashima et al. (1994 ve 1995) “düşük-akmalı” çelikten yapılan çelik perde duvar panellerinin döngüsel davranışları üzerine testler yapmış ve raporlar sunmuştur. **Şekil 4.26**, yumuşak çelik (A36’ya benzer), yüksek mukavemetli çelik (A572’ya benzer, Gr. 50) ve Japonya’da Nippon Steel tarafından geliştirilen “düşük akmalı çelik” için gerilme-şekil değiştirme eğrilerini göstermektedir. Genellikle güncel düşük akmalı çeliğin akma noktası A36 çeliğinin yarısı ve kopma uzaması A36 çeliğinin kopma uzamasının iki katından fazladır. Bu özellikler göreceli olarak bu tip çeliğin erken akması ve bunun uzun sürmesi ve göreceli olarak büyük enerji dağıtma kapasitesiyle sonuçlanmaktadır. Döngüsel yüklere maruz kalan düşük akmalı çeliğin testleri, çok kararlı histerik döngüleri ve göreceli büyük enerji dağıtma kapasitesini göstermiştir. **Şekil 4.26**, bu gibi eğrilerin bir örneğini göstermektedir.



Şekil 4.26: Gerilme-şekil değiştirme eğrileri ve düşük akmalı çeliğin histerik davranışı (Nippon Steel, 1998) [20]

Şekil 4.27 Nippon Steel tarafından desteklenen bu program içerisindeki numunelerin tipik histerik davranışlarını göstermektedir. Numuneler, tek katlı berkitilmemiş ve düzeneğe yukarıdan ve aşağıdan bulonlanmış berkitilmiş duvarlı ve döngüsel kesme kuvvetlerine maruz bırakılmıştır. Paneller yaklaşık 3'-11" e 3'-11" (1.2mx 1.2m)'dir. Tüm panellerin kalınlıkları yaklaşık 15/64" (6mm)'dir. **Şekil 4.27'** de test sırasındaki bir paneli göstermektedir.

Japonya'daki düşük akmalı çelik perde duvarlarının testlerinin sonuçları, dinamik yatay yüklerin dayanımında çeliğin daha iyi kullanılmasındaki önemli gelişmelerdir. Japon tasarımcılar düşük akmalı çelik panellerini yapılarda kullanmaya başlamışlardır. (Bu tezin bölüm 4.2.8'ine bakabilirsiniz)

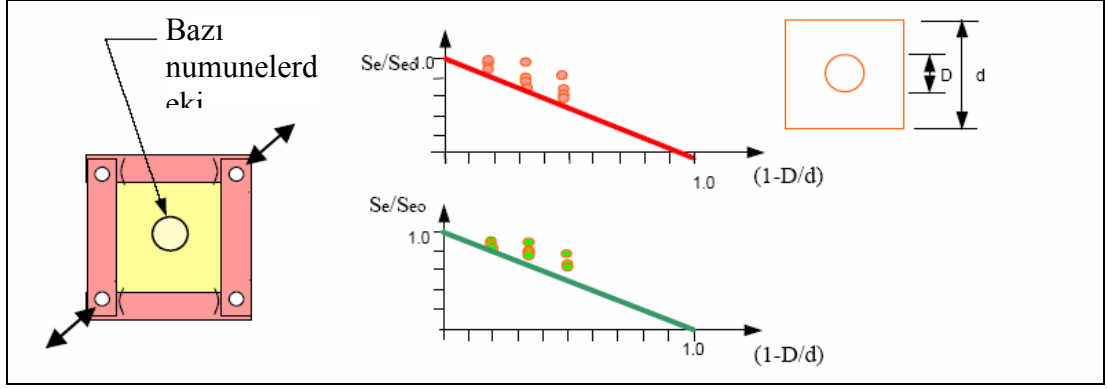


şekil 4.27: Numunelerin tipik histerik davranışlarını ve test sırasındaki bir paneli göstermektedir. [20]

4.3.3. Çelik Perde Duvarlarının İngiltere’deki Testleri

İngiltere’de Sabouri-Ghomi ve Roberts (1992) ve Roberts (1995) diyagonal olarak yüklenmiş çelik perde panellerinin 16 testinin sonuçlarını rapor etmişlerdir[20]. Bu testlerdeki numuneler, 4 menteşeli çerçeve içerisine yerleştirilmiş ve buna bulonlarla bağlanmış çelik plakalardan oluşmaktaydı. Bazı paneller deliklere sahipti (**şekil 4.28**).

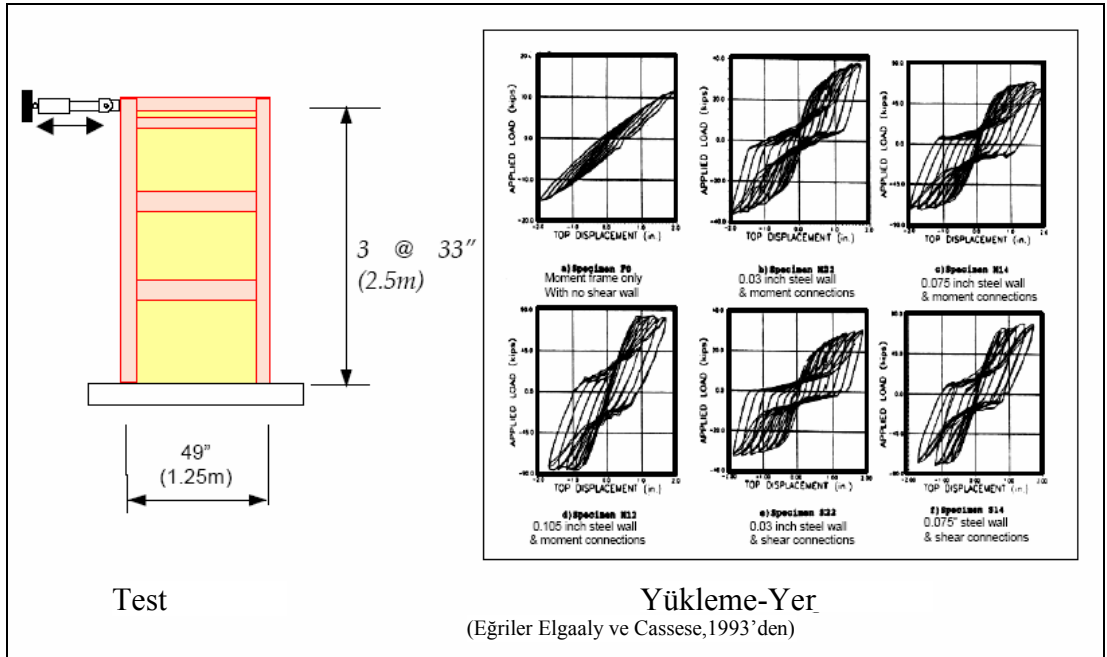
Numuneler, her biri 12”x12” veya 12”x18” olan, **şekil 4.28**’de b ve d boyutlarıyla gösterilen küçük ölçekli çelik panellerden oluşmaktadır. Çelik panellerin kalınlığı 1/32” veya 3/64” dır. Döngüsel yük, çelik plakanın sadece kesmeye maruz bırakılıp sonuçlanmasıyla, diyagonal aks boyuca uygulanmıştır. Testler şunları göstermiştir: tüm paneller yeterince sünekliğe ve uzun süreli dört büyük elastik olmayan döngüye sahiptir. Roberts (1992)’ta sunulan tipik histerik 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 4.28**’de gösterildiği gibi, mukavemet ve sertlik lineer olarak $(1-D/d)$ ’in artmasıyla azalmaktadır.



Şekil 4.28: İngiltere’de test edilen numuneler ve mukavemet ve çelik plaka panellerinin rijitliği üzerine deliklerin etkileri (Roberts,1992) [20]

4.3.4. Çelik Perde Duvarlarının ABD’deki Testleri

ABD’de, Elgaaly ve araştırma ortakları, (Caccese et al, 1993), (Elgaaly and Caccese, 1993) çelik plaka perde duvarlarının birçok çalışmalarını yürütmüşlerdir[20]. Araştırmalarının deneysel kısmı, çatı seviyesinde döngüsel yatay yüklere maruz üç katlı ve tek açıklıklı numunelerin döngüsel testlerini içeriyordu. Numuneler yaklaşık ¼ ölçekli ve çelik plaka perde duvarları berkitilmemişti. **Şekil 4.29**, test düzeneğini ve bu altı test için histerik döngüleri göstermektedir. Çalışmalar önemli analitik araştırmaları ve çelik plaka perde duvarlarının histerik davranışlarının analitik modellerinin gelişmesinin sonuçlanmasını da içermektedir.



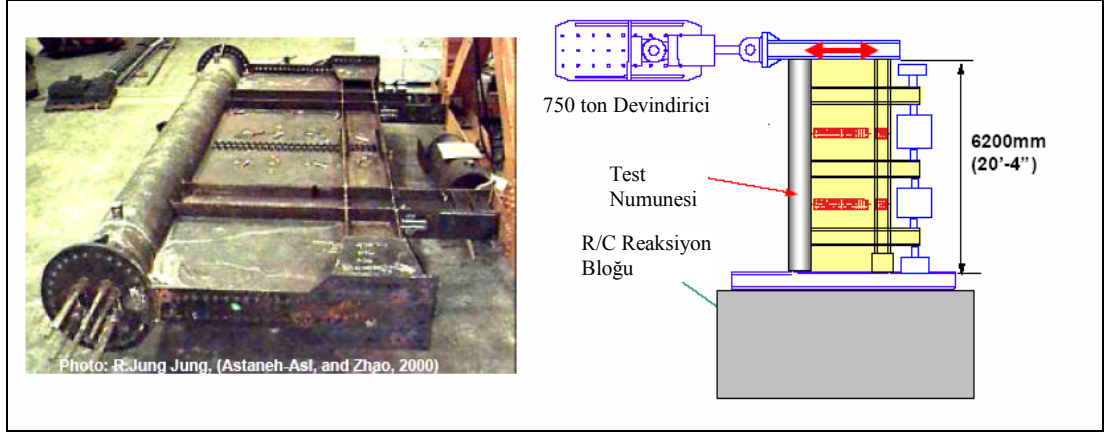
Şekil 4.29: Test düzeneği ve numunelerin histerik davranışı [20]

Bu altı numunenin davranışlarına dayanarak, Elgaali and Caccese (1993) şu sonuca varmışlardır: berkitilmemiş ince plaka perde duvarı olarak kullanıldığı zaman, elastik olmayan davranış, duvarın akması ve sistemin mukavemetinin kolonlarda oluşan plastik mafsallar tarafından yönetilmesiyle başlıyor [20]. Ayrıca şu sonuca da ulaşmışlardır: göreceli olarak kalın plakalar kullanıldığı zaman göçme modu, kolonun stabil olmaması ve duvarın kalınlığının artmasıyla sistemin mukavemetinde sadece ihmal edilebilir artışların meydana gelmesi tarafından yönetiliyor. Araştırmacılar şu ifadeyi öne sürmüşlerdir: “...Bir yapı, küçük sismik olaylara veya büyük rüzgarlara elastik olarak cevap verebilmek için ince çelik plaka perde duvarı ile dizayn edilebilir. Yapı büyük sismik olaylara maruz kaldığı zaman daha az narin plakalı duvarlar, plaka tüm mukavemetini geliştirmeden önce kolon burkulmasından dolayı stabil olmama eğilimi içerisine giriyorlar.” Genel olarak, araştırmacılar kolon burkulmasından önce plakanın akmasının ortaya çıktığı daha ince berkitilmemiş plakaların kullanılmasını tavsiye ettiler. Bu oransal felsefe bölüm 4.5’te önerilen tasarım tavsiyelerinde birleştirilmiştir.

4.3.5. Çelik ve Kompozit Perde Duvarlarının UC-Berkeley’deki Güncel Testleri

Halen Kaliforniya Berkeley Üniversitesi’nin İnşaat ve Çevre Mühendisliği Bölümü’nde iki tane birbirine paralel perde duvarları üzerine araştırma projesi yürütülmektedir. Bir proje kompozit perde duvarları (Astaneh-Asl and Zhao, 1998-2000) üzerine ve diğer proje çelik plaka perde duvarları (Astaneh-Asl and Zhao, 2000-2001) üzerinedir [20]. Kompozit perde duvarları üzerine olan proje National Science Foundation tarafından finanse edilmiştir. Kompozit perde duvarları hakkında daha fazla bilgi (Astaneh-Asl and Zhao, 2001)’da bulunabilir [20]. Kompozit perde duvarlarının davranış ve tasarımın bilgileri Steel TIPS raporunda (Astaneh-Asl, 2001) vardır. Aşağıdaki tartışma, çelik plaka perde duvarlarının UC-Berkeley’deki testleri ile sınırlandırılmıştır (Astaneh-Asl and Zhao, 2000) [20].

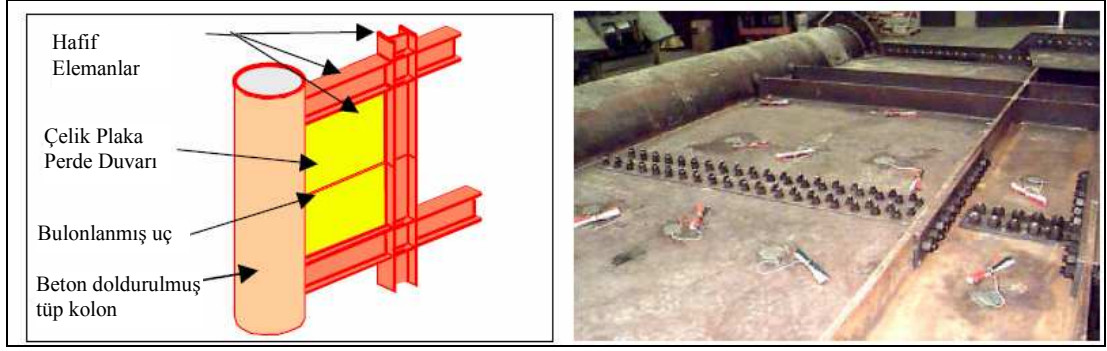
Çelik plaka perde duvarları testleri için numuneler 1/2 ölçekliydi. 3 katlı çelik perde çerçevesi montajı Şekil 4.30’da gösterilmektedir.



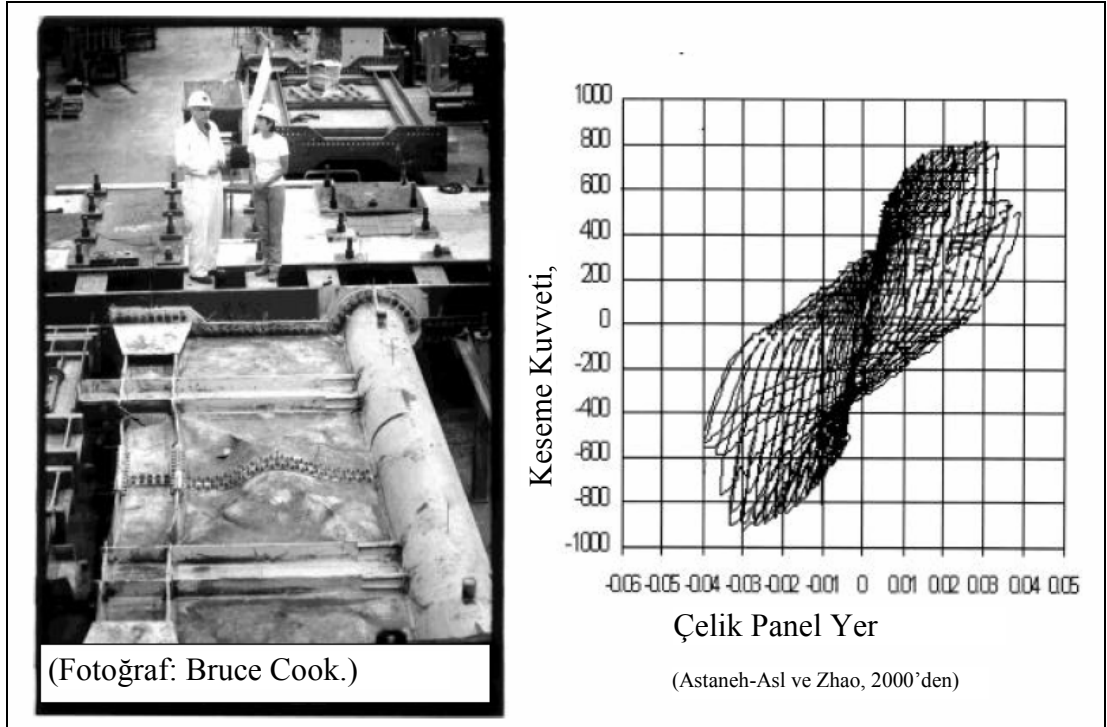
Şekil 4.30: Tipik numune ve test düzeneği (Astaneh-Asl ve Zhao, 2000). [20]

Bu makalede (Temmuz 2001) iki numune test edilmişti. Numune bir ve iki. **Şekil 4.31**'de gösterilen ilk numunenin yüksekliğinin genişliğine oranı yaklaşık 1,5 iken duvardaki ikinci numunenin yüksekliğinin genişliğine oranı 1,0'dı. Numuneler, yüksek yapılarda kullanılan çelik perde duvarlı ve moment çerçevesi (ikili sistem) sistemin yarı ölçekli gerçekçi temsiliydi. Bu tip çelik perde duvarıyla yapılmış birçok yapı Skilling Ward Magnusson Barkshire tarafından tasarlanmış ve ABD'nin Batı sahillerinde inşa edilmiştir. Bu tip duvara sahip en önemli yapı, yapım aşamasında olan San Francisco'daki 51 katlı yapıdır (Bu tezin bölüm 4.2.7'sine bakınız). Aşağıda, ilk numunenin davranışının kısa özeti verilecektir. **Şekil 4.32**, Astaneh-Asl and Zhao (2000) tarafından çalışılmış ve test edilmiş sistemin temel detaylarını göstermektedir.

Birinci numune çok sünek ve arzu edilir şekilde davrandı. Ara katların yaklaşık 0.6%'lık yer değiştirmesine kadar numune neredeyse elastikti. Bu yer değiştirme seviyesinde, hem duvar plakalarda bazı akma çizgileri ortaya çıkmıştır hem de WF kolonlarında (ağırlıksız kolonlarda). Ara katların 2.2%'lik yer değiştirmesine kadar, duvar panellerindeki diyagonal basınç burkuluyordu ve diyagonal çekme bölgesi akıyordu. Bu seviyede, WF kolonu yerel burkulma gösterdi. Numune, 79 döngüye kadar dayanabildi ki, ara kat yer değiştirmesi 3.3%'e ulaşmadan önce, 39 döngüsü elastik değildi ve maksimum kesme mukavemeti yaklaşık 917 kips'di. Yer değiştirmenin bu seviyesinde, üst döşemeye bağlı kiriş, kolonun yüz tarafından (düşük döğüsel yorulmadan dolayı) çatladı ve numunenin kesme mukavemeti, numunenin maksimum kapasitesinin yaklaşık olarak 60%'na düştü. **Şekil 4.32**, testin sonunda numuneyi göstermektedir (Astaneh-Asl and Zhao, 2000) [20].



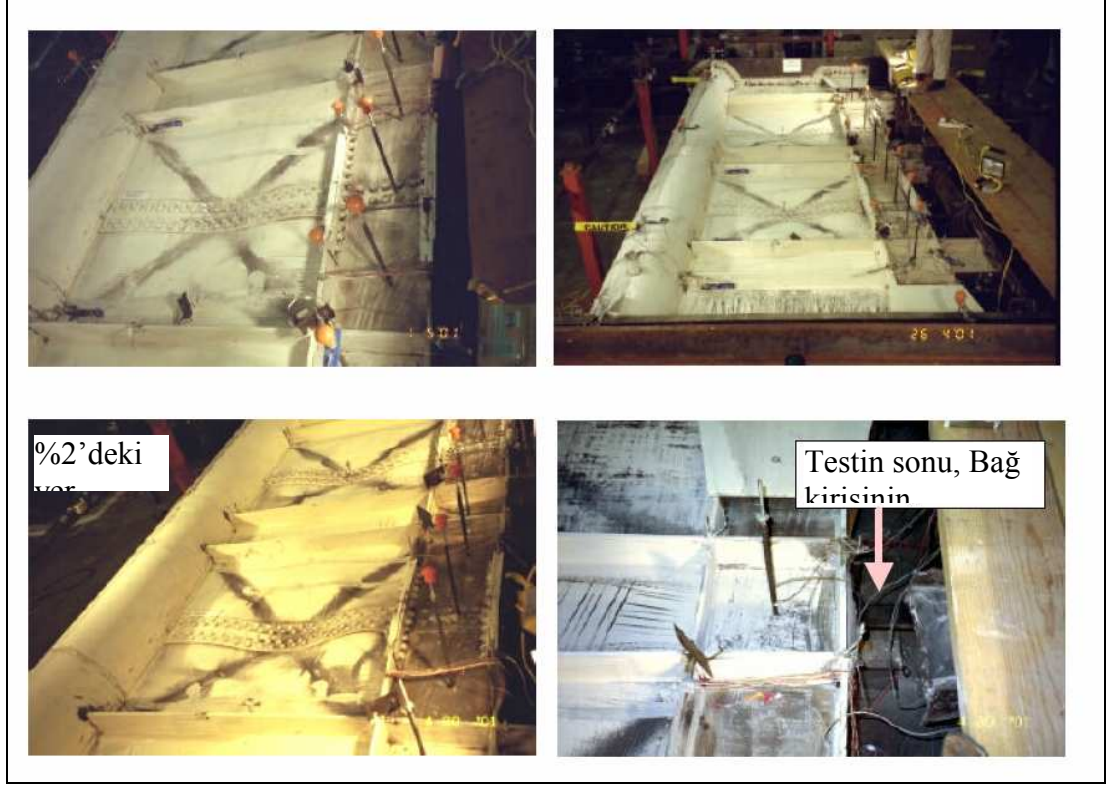
Şekil 4.31: Test edilen sistemin bileşenleri ve bulonlanmış uç. [20]



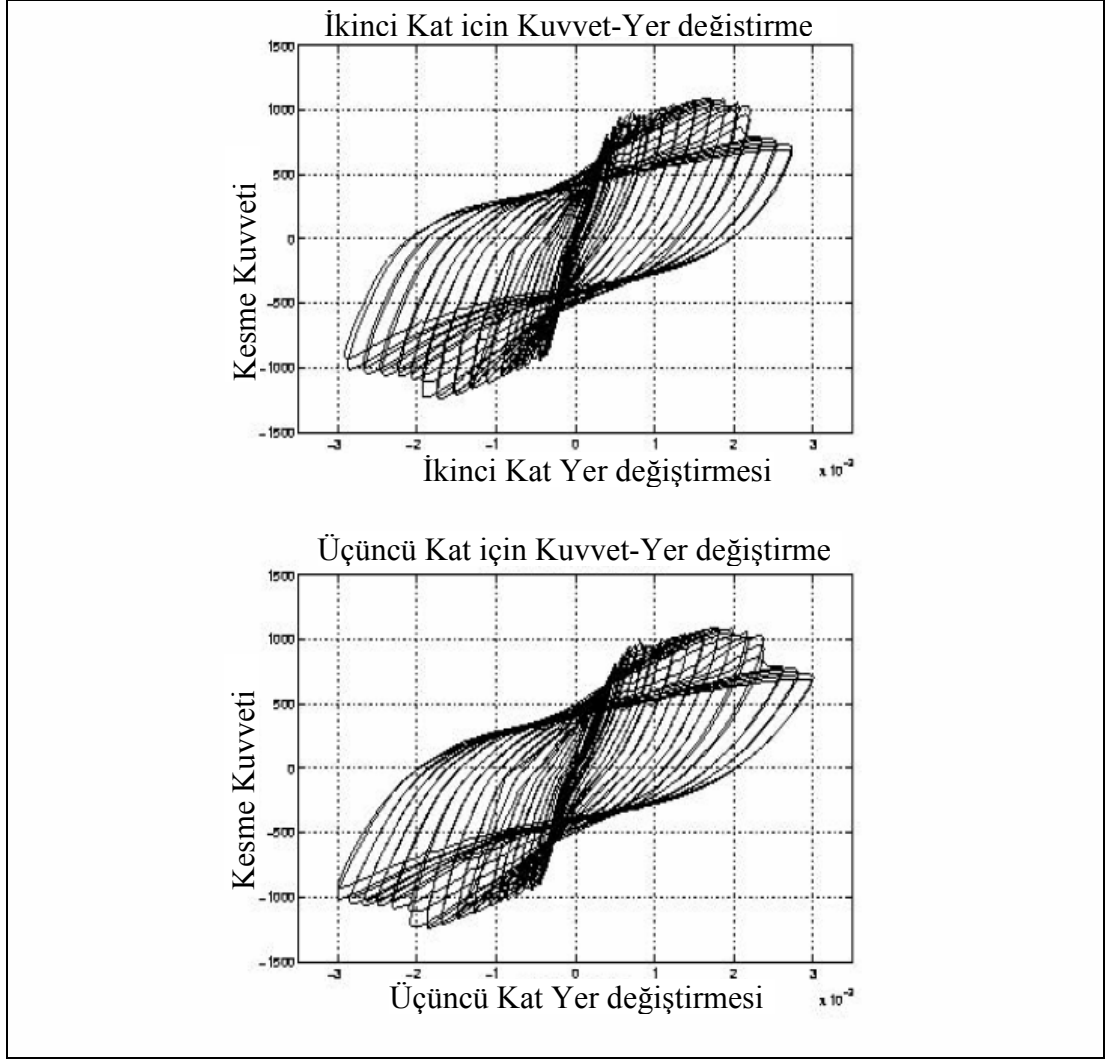
Şekil 4.32: Testin sonundaki UCB-1 numunesi (Astaneh-Asl ve Zhao, 2000). [20]

Birinci numuneye benzer biçimde, numune iki de sünek ve arzu edilir biçimde davrandı. Ara katların yaklaşık 0.7%'lık yer değiştirmesine kadar numune neredeyse elastikti. Bu yer değiştirme seviyesinde duvar plakası üzerinde bazı akma çizgileri oluştu ve kuvvet-yer değiştirme eğrisi doğrusal elastik çizgisinden sapmaya başladı. Sonraki döngüler sırasında belirgin X şekilli akma çizgisi **Şekil 4.33**'te gösterildiği gibi çelik plaka perde duvarı üzerinde açıkça görünür hale geldi. Numune, 15 döngüsü elastik olmayan 29 döngüye dayanabildi. Numunenin ara kat yer değiştirmesi 2.2%'den daha fazlaya ulaştı ve maksimum kesme kuvveti 1,225 kips'ti. Yer değiştirmenin bu seviyesinde, üst döşemeye bağlı kiriş, kolonun yüz tarafından (düşük döngüsel yorulmadan dolayı) çatladı ve numunenin kesme mukavemeti, önceki döngülerde ulaşılan numunenin maksimum kapasitesinin (1,225 kips)

yaklaşık olarak 75%'ne düştü. Kapasite, maksimum mukavemetin 80%'in altına düştüğü için, numune başarısız olarak dikkate alındı ve test durduruldu. **Şekil 4.34**, bu numunenin birinci ve ikinci katlarındaki duvarların histerik döngülerini göstermektedir. Bu testler hakkındaki daha fazla bilgiye Astaneh-Asl ve Zhao (2001)'da ulaşılabilir [20].



Şekil 4.33: Numune ikinin test sırasında ve sonrasında görüntüleri
(Astaneh-Asl ve Zhao, 2000). [20]



Şekil 4.34: Numune ikinin, iki katı için Kesme Kuvveti-Yer değiştirme histerik döngüleri (Astaneh-Asl ve Zhao, 2000). [20]

4.4. Yönetmelik Maddeleri

Şu anda, literatürde ve çelik perde duvarlarının akılcı sismik tasarımı için kullanılan ABD yönetmeliklerinde önemli bilgi bulunmaktadır. Bununla birlikte, şu anki ABD'deki sismik yönetmelikler, çelik perde duvarlarında sismik tasarım parametreleri için spesifik değerler sağlamamaktadır. Özellikle, ABD yönetmelikleri, çelik plaka perde duvar sistemleri için tepki modifikasyon faktörü R ve sistem aşırı mukavemet faktörü Ω_0 gibi sismik tasarım parametreleri için spesifik değerler sağlamamaktadır. Aynı zamanda, çelik perde duvarlarının detaylarına ilişkin maddeler neredeyse ABD yönetmeliklerinde bulunmamaktadır. Aşağıdaki bölümler, ABD'deki çelik plaka perde duvarlarıyla ilgili yönetmeliklerin yürürlükteki sismik

tasarım maddelerinin bir özetini sağlamaktadır. Ek olarak, her ne zaman ABD yönetmelikleri anahtar parametre veya önemli bir madde sağlamadığında, Astaneh-Asl, parametrenin ılımlı bir değerini önermiştir.

Bu bölüm öncelikle UBC-97 (ICBO, 1997), IBC-2000 (ICC, 2000), SEAOC Mavi Kitap (SEAOC, 1999) ve AISC Sismik Maddeleri (AISC, 1997)'deki yönetmelik maddelerini tartışmaktadır[20]. UBC-97, SEAOC-99 veya IBC-2000 yönetmeliği ve AISC-97 Sismik Maddeleri'nden en azından birisi ile aşına olduğu varsayılmaktadır. Burada alıntı yapılan yönetmelik maddeleri sadece tartışmak içindir. Güncel sismik tasarımda, kullanıcılar güncel yönetmelik dokümanlarına başvurmalıdırlar. Astaneh-Asl, kullanıcıları şu konuda uyarmak istemektedir: bu bölümde tavsiye edilen tasarım tavsiyeleri sadece bilgilendirmek içindir. Kim bu bilgileri kullanırsa kullanımdaki tüm sorumluluğu üzerine almaktadır.

4.4.1 Çelik Perde Duvarlarının Sismik Tasarımı ile İlgili Yönetmelik Maddeleri

Şu anda ABD'de sismisitesi yüksek olan bölgelerde yapı mühendisleri sıkça Uniform Building Code (ICBO, 1997) kullanmaktadırlar. Birkaç yıl önce, International Building Code, IBC-2000'nin ilk basımı çıkmıştır(ICC-2000) [20]. IBC-2000'in daha artırılmış ve UBC-97'e göre daha güncel olmasından beri şu hissedilmiştir: IBC-2000'nin yetkilerinin benimsenmesi, daha çoktur ve gelecek yıllarda UBC-97 ile yer değiştireceği umulmaktadır. Bu yüzden, gelecek bölümlerde, IBC-2000'nin çelik plaka perde duvarlarıyla ilgili yönetmelik maddeleri tartışılacaktır. Her ne zaman uygun olursa, Kanada'nın Ulusal Yapı Yönetmeliği (CCBFC, 1995), Tavsiye Edilen Yatay Kuvvet Gereksinimleri ve Açıklamaları (SEAOC-99) ve AISC-Sismik Yönetmelikleri (AISC, 1997) gibi diğer sismik tasarım yönetmeliklerindeki bilgiler ve maddeler de tartışılacaktır[20].

4.4.2 ABD Yönetmeliklerini Kullanarak Çelik Plaka Perde Duvar Sistemleri için Deprem Yüklerinin Belirlenmesi

UBC-97, SEAOC-99 ve IBC-2000, yapı sistemi ile ilgili bilgileri içeren sismik yük etkileri E ve E_m 'ye sahiptir. E ve E_m IBC-2000 (hem de diğer ABD yönetmelikleri)'deki sismik tasarım için özel olan yükleme kombinasyonlarında kullanılmıştır. E ve E_m 'nin değerleri aşağıda verilmiştir. Bunlar, IBC-2000'in 16-28, 29 ve 30. eşitlikleridir.

$$E = \rho Q_E \pm 0.2 S_{DS} D \quad (4.1)$$

$$E_m = \Omega_o Q_E \pm 0.2 S_{DS} D \quad (4.2)$$

Yukarıdaki eşitliklerde, negatif işaret, yerçekimi kuvveti ve sismik etkiler ne zaman karşı etki yaratırsa ikinci terim için kullanılmalıdır. Bu tezdeki tüm eşitliklerin terimlerinin tanımları için, sembol listesine bakınız. Yukarıdaki eşitliklerdeki tüm terimler, ρ , Q_E ve Ω_o dışında kullanılan yapı sisteminden bağımsızlardır. Bundan dolayı, çelik plaka perde duvar sistemi için, sistemin bağımsız parametreleri, çapraz çerçeve veya moment çerçeve sistemleri gibi diğer yapı sistemleri için uygulanan yolun aynısı kurulabilir. Çelik plaka perde duvarları için sisteme bağımlı parametreler ve değerleri aşağıda tartışılacaktır.

4.4.2.1. Çelik Plaka Perde Duvarları için ρ değeri:

ρ parametresi, sistem fazlalığına dayanarak güvenilirlik katsayısıdır ve IBC-2000’de şu şekilde verilmiştir (UBC-97’de de) [20]:

$$\rho_i = 2 - \frac{20}{r_{\max_i} \sqrt{A_i}} \quad (4.3)$$

$r_{\max_i}$ ve A_i çelik perde duvarları için IBC-2000(ve UBC-97) tarafından tanımlanmıştır. Bu ve diğer terimlerin tanımları için bu tezin sembol listesine bakabilirsiniz.

4.4.2.2. Çelik Plaka Perde Duvarları için Q_E (ve R-Faktörü) Değeri:

Q_E terimi yatay sismik kuvvetlerin etkilerini göstermektedir. Q_E teriminin kurulmasında, eğer yönetmeliğin “Eşdeğer Yatay Kuvvet” işlemi kullanılırsa, ilk taban kesme kuvveti V kurulmalıdır. Birçok sismik tasarım yönetmelikleri V ’nin kurulması için bir yonteme sahiptir. IBC-2000 V için aşağıdaki eşitliği sağlamaktadır:

$$V = C_s W \quad (4.4)$$

Ve ;

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_E} \right)} \quad (4.5)$$

Bu tezdeki bütün eşitliklerin terimlerinin tanımları için sembol listesine bakınız. Yukarıdaki eşitlikteki, tepki modifikasyon faktörü R dışındaki tüm terimler, sismik kuvvet dayanımlı sistemlerden bağımsızdır. IBC-2000 (UBC-97 ve SEAOC-99 da) 70’den fazla farklı sismik kuvvet dayanımlı sistemlerden için R değerlerini sağlamaktadır [20]. Ancak, şu andaki ABD yönetmelikleri çelik perde duvarlar için R ’nin hiçbir değerini vermemektedirler.

Şu anda, 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 [20] . Kanada Yönetmeliği sadece, kirişlere ve kolonlara sınırları boyunca kaynaklanmış berkitilmemiş göreceli olarak ince çelik plaka perde duvarlarını tartışmaktadır. Kanada Yönetmeliği (CCBFC, 1995), özel moment çerçevesi içindeki çelik plaka perde duvarlar için (Kanada notasyonu içerisinde) R ’nin değerini 4.0 olarak sağlamaktadır. Kanada’nın 4.0 olan R ’si ABD yönetmelik terminolojisine eşdeğer olarak çevrildiği zaman R yaklaşık olarak 8.0 olmaktadır.

Yönetmeliklerdeki R faktörü, daha erken parametre olan K ’nin üzerinden yıllar geçtikçe yavaş yavaş gelişmektedir. Sismik tasarımın ilk günlerinde, yapı mühendisleri şunu tam olarak anlamışlardır: büyük veya orta dereceli depremler sırasında, yapının birçok elemanı akıp, deforme olup, deprem enerjisini dağıtabilmektedir. Bu çok önemli, henüz göreceli olarak kompleks fenomen, yapının tamamıyla elastik olarak kalması durumu ile kıyaslandığında yapıdaki sismik kuvvetlerin azaltılması ile sonuçlanmıştır. Ancak bugün bile birçok yapı, yapıda oluşacak gerçek kuvvetlerden daha çok sismik kuvvetin oluşmasıyla sonuçlanan elastik analiz yöntemleri kullanılarak analiz edilmektedir. Geçek sismik kuvvetleri hesaplamak için, modern sismik tasarımın ilk günlerinde, elastik kuvvetler, genellikle 1.0’ın altında olan bir K faktörü ile çarpılırdı. K faktörleri, birçok ortak sistem için sezgiyle ve oybirliği ile yapı ve deprem mühendisliği topluluğu tarafından tespit edilmiştir. Daha sonra, faktörize edilmiş yük tasarımı için K faktörü R_w ile (gerilme seviyesi tasarımı ile çalışmak için) ve daha sonra da, R faktörü ile değiştirilmiştir.

Deprem sırasında yapıların performansı, laboratuvar sonuçları ve analitik çalışmaların verilerinin incelenmesi suretiyle yapılan hiçbir özel araştırma R ’yi etkileyen tüm parametrelerin tanımlanması üzerine yapılmamış olmasına rağmen, şu

gözükmektedir: R faktörü öncelikle sünekliğe bağlı olmak üzere , aşırı mukavemete, vibrasyonun periyoduna ve sistemdeki fazlalığa bağlıdır (ATC, 1995). R’yi etkileyen diğer parametrelere ek olarak gözükenler 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, destekleyen zeminin özelliği, yerin dinamik etkileşimi, temel sistemi ve yapının etkileşimi olduğu kadar sistemdeki sönümlemenin etkileşimi.

Şu anda, yönetmeliklerde verilen R’nin birçok değeri, hala sismik tasarımın ilk günlerindeki K faktörlerinin içindeki köklere sahiptir. Son yıllarda eklenen diğer R faktörleri, örnek olarak, kompozit sistemler için R faktörleri, mühendislik kararları, sezgileri ve sismik davranışı yeni sisteme benzeyen diğer yapı sistemleri için yayınlanmış R faktörünü kullanarak yönetmelik komiteleri tarafından yayınlandı. Bu çok “bilimsel” gözükmebilir ancak, Astaneh-Asl’ın düşüncesi içerisinde, toplanmış bilgiler, deneyimler ve yapı tasarımında yapı mühendisliği komitesinin görüşleri ve yapıların performanslarının deprem sırasında ve laboratuvarlarda gözlemlenmesinden beri, yaklaşım gerçekçidir. Şu gözükmektedir: tasarımda, güvenilir ve yaygın geçmiş deneyimlere dayanan daha az doğruluğu olan yöntem, doğruluğu çok iyi olan yöntemden daha iyi olabilir ancak birkaç testten sınırlı veri kullanılmasından veya saf analizden daha kötü olabilir. Henüz güvenilir bir biçimde çok iyi anlaşılmamış ve tespit edilmemiş R’yi etkileyen birçok karmaşık parametreyi göz önüne aldığımızda, R’yi tespit etmek için saf matematiksel yaklaşım bu süreçte en çok güvenilir bir yaklaşım olmayabilir.

Son yıllarda, sezgiye veya mühendislik kararlarına tam güvenmek yerine R faktörlerini mantıklı temellere dayanarak tespit edip geliştirmek için birçok girişimde bulunulmuştur. Bu yöntemler hakkında daha fazla bilgiye ulaşmak ve şu anki yönetmeliklerde olmayan çelik plaka perde duvarları gibi yeni sistemler için R faktörleri nasıl belirleneceği konusunda Applied Technology Council yayınları ATC-19, (ATC, 1995) ve SEAOC Blue Book (SEAOC, 1999)’a bakınız [20].

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

$$R = R_o R_d \quad (4.6)$$

R_0 , R 'nin aşırı mukavemet kısmını ve R_d , yapıdaki elastik olmayan hareketlerden dolayı sismik kuvvetlerdeki azaltmayı göstermektedir. SEOAC (1999) tarafından listelenen yapı karakteristiklerini göz önünde bulundurarak R_0 ve R_d değerleri belirlenebilir[20].

1. Güçlü yer hareketi altında gözlenmiş ve/veya tahmin edilmiş yapı performansı
2. Elastik olmayan şekil değiştirme kapasitesinin seviyesi
3. Düşey yük taşıyıcı sistemin narinliği
4. Yatay yük taşıyıcı sistemin fazlalık derecesi
5. Destekleyici çerçevelerde olduğu gibi dirençte çok kat çizgileri

Çelik plaka perde duvarlarının yukarıda sıralanan karakteristiklikleri yapabilmesi aşağıda kısaca gözden geçirilmiştir.

1. Güçlü Yer Hareketi Altında Gözlenmiş ve/veya Tahmin Edilmiş Yapı Performansı:

Bu tezin **4.2.** bölümünde geçmiş depremler sırasında çelik plaka perde duvarlı yapıların performansları üzerine elde edilmiş bilgilerin bir özeti verildi. Geçmiş depremlerde sadece iki çelik perde duvarlı yapının ciddi şekilde sallanmasına rağmen, bu yapılar aşırı derecede iyi performans göstermişlerdir. İki yapıdaki hasar çok küçüktü veya yapıya hiç hasar vermemişti ve yer çekimi yüklerini taşıyıcı sistemlere hasar vermemişti.

Bölüm **4.3**'de özetlenen, döngüsel ve sallama tablası laboratuvar testleri, çelik plaka perde duvar sistemleri için çok sünek ve arzu edilen davranış sergilediğini göstermiştir. Döngüsel Testler öncelikle Takanaski, Elgaali, Kulak, Ventura, Astaneh-Asl ve onların araştırma takımları tarafından yürütülmüştür. Bu deneylerde kullanılan numuneler birden dört katlıya kadar olan ve ölçekli numunelerdi. Şu ana kadar olan en geniş numune $\frac{1}{2}$ ölçekli üç katlı numunedir (Astaneh-Asl and Zhao, 2000) [20]. Bölüm **4.3**'de özeti verilen bu testlerden elde edilen veri ve gözlenen davranış, açıkça şunu göstermektedir: tüm durumlarda çelik perde duvar sistemleri “çok arzu edilebilen” sistem olmanın iki karakteristiğini sergilemiştir. Bu iki karakteristik: (a) sistemler hemen hemen elastik kaldığı sırada, düşük ve orta dereceli depremler kadar rüzgar yüklerine dayanacak sertliğe ve mukavemete sahipti; (b) yüksek dereceden hiperstatik sistemler çok sünekti ve büyük sismik olaylar sırasında

umulabileceğın ötesinde, çok büyük sayıda döngüsel elastik olmayan yük tersine çevirimleri sırasında enerjinin büyük miktarını dağıtacak kapasiteye sahipti.

2. Elastik Olmayan Şekil Değıştirme Kapasitesinin Seviyesi :

Bölüm 4.2’de tartışılan gerçek depremler sırasında çelik plaka perde duvarlarının performansları ve bölüm 4.3’de özetlenen çelik perde duvarlarının sallama tablası ve döngüsel testleri şunu göstermiştir: bu sistemler büyük sayıda elastik olmayan döngülere göreceli olarak izin verebilmiştir. $\mu = \Delta_u / \Delta_y$ ile ifade edilen test sistemlerinin sünekliğı göreceli olarak yüksekti ve 5’den 8’e doğru sıralanmıştı. Test sonuçları şunu göstermiştir: süneklik noktası açısından bakıldığında, çelik plaka perde duvar sistemi, şu anda sismik tasarım yönetmeliklerinde sıralanan ve R faktörleri atanmış olan diğer tüm yapı sistemlerinden daha büyük sünekliğe sahiptir.

3. Düşey Yük Taşıyıcı Sistemin Narinliğı:

Bölüm 4.2 ve 4.3’de kısaca özetlenen, depremler sırasında çelik perde duvarların gerçek davranışları üzerine veriler ve laboratuarlarda döngüsel yüklere maruz kaldıklarındaki davranışları şunu göstermiştir: bu sistemlerde elastik olmama öncelikli olarak sistemin gravitasyonel yük taşımayan elemanlarındadır ki, bu çelik duvarın kendisidir. Yerçekimi yüklerini taşıyıcı sistemler hasarsız kaldığından beri, bu gibi çok arzu edilen akma davranışları, sismik olay sırasında ve sonrasında, düşey yükleri taşıyabilir ve göçmeyi engelleyebilir.

Sınır kolonların yerçekimi yüklerini taşıdığı çelik perde sistemli yapılarda, deprem sırasında kolonların göçmesi yerçekimi yükü taşıyan sistemin kabul edilemez narinliğı ile sonuçlanabilir. Bu, yer çekimi kuvvetlerine ek olarak devirme momentlerinden dolayı sınır kolonlarının aksenal kuvvetlere direndiğı, neredeyse tüm çelik ve betonarme perde duvar sistemlerinin problemidir. Yerçekimi yükü taşıyıcı sınır kolonlarının göçmesini engellemek için, bir “hiyerarşik” sismik tasarım yöntemi takip edilmelidir. Hiyerarşik tasarım yönteminde göçme modlarının sıraları şunun gibi olmalıdır: yerçekimi yükü taşıyıcı elemanlara zarar verebilecek göçme modları, perdelerde çekme bölgesi alanlarının akması gibi daha çok arzu edilen göçme modları gözükmeden oluşmamalıdır. Sınır kolonlar gibi daha kritik olan yerçekimi yükü taşıyıcı elemanlara aktarılabilen gelen kuvvet miktarını sınırlamak için, yerçekimi yükü taşımayan elemanların akmasını, bir sigorta gibi davrandırarak tasarlanabilir. Bölüm 4.5’de Astaneh-Asl tarafından “çelik plaka perde duvar

sistemleri için “hiyerarşik” sismik tasarım yöntemi geliştirilip, önerilmiştir. Eğer önerilen yöntem kullanılırsa, elastik olmama durumu başlıca, yerçekimi kuvveti taşıyıcı elemanları (kolonların burkulması veya çekme akması gibi) korumak için yerçekimi kuvveti taşıyıcı olmayan elemanlarda meydana gelen plastik sigortalar gibi davranan çelik plakanın akması şeklinde sonuçlanması olarak beklenir.

Sınır kolonları gibi yerçekimi yükü taşıyıcı sistemlerin narin olmamasını garantilemek için bir diğer yaklaşım da perde duvarın sınır kolonlarını, elastik olmama durumuna imkan vermeyecek veya sınır kolonlarına aktarılan yerçekimi yükünden tümüyle kaçınacak şekilde çok güçlü tasarlamaktır. SWMD, çelik plaka perde duvar sistemlerinin gelişmesinde bu kavramı başarılı bir şekilde uygulamıştır. A. Astaneh-Asl ve Zhao (2000) son zamanlarda sistemi test etmiş ve oldukça sünek olarak bulmuşlardır. Bu tezin 4.4. bölümü bu sistemin davranışının özetini içermektedir.

4. Yatay Yük Taşıyıcı Sistemin Fazlalık Derecesi:

Bir yapının fazlalık derecesi iki seviyede hesaba katılabilir: (a) yapının genel seviyede, yapıda kaç tane yatay kuvvet sistemi olduğu ve planda ve yapının yüksekliğinde ne kadar iyi dağıtıldığı hesaplanarak, (b) yatay yük direnç sistemi yerel seviyede, yapının ne kadar fazlalık ve ne kadar, verilen kat içinde ve yüksekliğinde yatay kuvvet direnç sisteminin kuvvet dağıtma kapasitesi olduğu hesaplanarak. Şu anda, genel fazlalık konusu yönetmelikler tarafından ρ faktörünün tanıtılması ve R faktörü ile doğrudan birleştirilmemesiyle ele alınmaktadır. ρ ve çelik plaka perde duvar sistemleri için ρ 'nın tespit edilmesine ilişkin yönetmelik maddeleri bölüm 4.2.'de daha önce tartışılmıştı.

Yatay yük direnç sistemi içerisindeki fazlalık konusu çok önemlidir ve R faktörünü etkiler. Bölüm 4.3'de özetlenen, çelik plaka perde duvar sistemlerinin birden dört katlıya kadarki testleri şunu göstermiştir: plakaların çok belirsiz sistemler olduğu gerçeğiyle birlikte çelik perde duvarları çok yüksek dereceden fazlalığa sahiptir. Çelik plaka perde duvarının diyagonal alanı aktığı zaman, takip eden döngüler sırasında, akmış alan çeliği, kuvvetlere direniyor ancak ekstra yük, plakanın komşu bölgelerine aktarılıyor ve akma plakanın daha çok alanına yayılmak için devam ediyor. Astaneh-Asl ve Zhao (2000) tarafından yürütülen testler sırasında, çok sonraki döngülerin davranışlarında ve çelik plakanın diyagonal çekme aksı üzerinde

birkaç inch sonrasında çatlamış duvar, uygulanan yükü taşıyordu. Bu, çekme diyagonal kuvvetine plakanın diyagonal aksı dışındaki, hala elastik veya akmış fakat çatlamamış alanları tarafından karşı koyması gerçeğindendir.

5. Destekleyici Çerçevelerde Olduğu Gibi Dirençte Çok Kat Çizgileri:

Çelik plaka perde duvarı “ikili” sistemin bir parçası olmadığı zaman, yapı mühendisi genel olarak çerçeveleri sabit bağlayarak modelleme yapar. Gerçekte, çerçeveler kayma bağlantılarına sahiplerdir ve sismik etkilere maruz kalan kayma bağlantılarının çalışmaları (Liu ve Astaneh-Asl, 2000) açıkça şunu göstermektedir: bu bağlantılar daha fazla veya daha az yarı-rijit olarak davranıyor ve bağlı kirişlerin plastik moment kapasitesinin sırasıyla 20%-70%’i kadar önemli moment kapasitesine sahip. Şu anda pratikte bulunan yapı mühendisleri tasarımda bu gibi moment kapasitelerini hesaba katmamalarına rağmen, gerçekte bu kapasiteler vardır ve yatay yük direnç sistemine katkıda bulunur. Basit bağlantılar ile bir çerçevenin bağlantısı olan çelik plaka perde duvarları olması durumunda, basit çerçeveler, çelik perde duvarları için iyi destekleyici sistemler sağlayan yarı-rijit çerçeveler olarak davranırlar. Bu destekleyici sistemler tasarımda göz önünde bulundurulmaz ancak göreceli olarak daha az kapasiteye sahip olsalar bile, yatay yük direnç sisteminde ilave olarak bulunurlar.

1994 Northridge depreminin kötü sonuçlarında, A. Astaneh-Asl (1995), hasarlı çelik moment çerçeveleri üzerinde çalıştı ve birkaç yapı mühendisinin inançsızlığı ile ilk başta bir sonuca vardı: incelenmiş tüm yapıların kaynaklı moment bağlantıları çatladıktan sonra bile, yapılar hala, artçı şoklardan veya diğer depremlerden dolayı hemen çökme tehlikesi içerisinde değildi. Diğer araştırmacılar da daha sonra bu bulguları onaylamışlardır. Hasarlı moment çerçevelerinin stabilitesi için ana sebep Astaneh-Asl et al. (1998) tarafından bir nedene bağlanmıştır: döşeme levhaları ile kayma bağlantılarının katkısının yarı-rijit birleşim gibi davranması ve döşeme sistemi ve moment çerçevelerinin dışında bulunan yerçekimi kolonları bağlantılarından oluşan yarı-rijit çerçevelerin üretilmesidir. Moment çerçeve sistemlerine yaptığı gibi, bunun gibi bir sistem çelik plaka perde duvarları için çok iyi bir destekleyici sistem olarak davranır.

İkili perde duvar sistemleri durumları için, yatay yüklere karşı koymak için çelik perde duvarları moment çerçeveleri ile birleştirilir. Açıkça, çelik perde duvarlarının

yüksek elastik sertliğinden; davranışının elastik aralığı sırasında ve duvarda bazı sınırlı akma olduğu zamanda bile, duvar, yatay kuvvetlerin çoğunluğuna karşı koyacaktır. Akma, duvarın diyagonal alanlarının dışında çok yayıldığı ve çelik duvarın sertliği yeterli miktarda düştüğü zaman, moment çerçevesinin sertliği karşılaştırılabilir duruma gelir ve çelik duvar ve moment çerçevesi daha dengeli bir biçimde yatay yükleri paylaşırlar. Bu olgu, Astaneh-Asl ve Zhao (2000) tarafından yapılan son çelik perde duvar testlerinde açıkça gözlenmiştir ve kaydedilmiştir.

İlgi çekici nokta şudur: eğer çelik plaka perde duvar moment çerçevesi içerisine yerleştirilirse (ona paralel olmak yerine ve başka bir çerçeve çizgisi üzerinde), moment çerçevelerinin köşelerinde bulunan duvar plakalarının varlığı, moment çerçevelerinin bağlantılarında dönme talebinin azaltılmasına yardım edebilen destekler gibi köşebent plakası yaratır. Aynı zamanda, çelik duvar moment çerçevesinin içerisine yerleştirildiği zaman, duvar ve moment çerçevesi arasındaki yük paylaşımı doğrudan olur. Bu durumda, perde duvar ve moment çerçevesi arasında yük transferi için berkitme ve güçlü döşeme diyaframına ihtiyaç yoktur. Bu iki avantajdan dolayı, Astaneh-Asl'ın görüşü içerisinde, çelik plaka perde duvarlarının moment çerçeveleri içine yerleştirildiği ikili sistemler tercih edilir ve iyi davranış sergilemesi umulur.

R faktörleri üzerine yukarıda yapılan tartışmaları göz önünde bulundurduğumuzda, laboratuvarlarda ve depremler sırasında çelik plaka perde duvarının gerçek davranışı üzerine bilginin kullanılmasıyla, Astaneh-Asl tarafından aşağıda, çelik plaka perde duvarları için kesin olmayan R faktörleri geliştirilip, önerilen bir çalışma yapılmıştır. Yönetmelik yazım topluluğu bu R faktörlerini kapsamak için sismik yönetmeliklerde bu kesin olmayan R faktörlerini yapı mühendisliği topluluğunun oybirliği ile onaylayıp kabul edildikten ve emsalleri gözden geçirildikten sonra göz önünde bulundurabilirler.

Tablo 4.1 perde duvarları ile ilgili seçici sismik kuvvet dayanım sistemleri için diğer tasarım parametreleri gibi R'nin değerlerini göstermektedir. Tablodaki değerler IBC-2000 (ve UBC-97 tarafından)'dekine benzer değerlerdir ancak daha yaygındır [20].

Tablo 4.1: Basit sismik Kuvvet direnç sistemleri için tasarım katsayıları ve faktörleri
[20] (Tablodaki değerler IBC 2000 tarafından verilmiştir)

Basit Sismik Kuvvet Direnç Sistemi	Tepki modifikasyon Faktörü R	Sistem aşırı mukavemet faktörü Ω_0	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 bağlantılı	8	2	4	SY	SY	160	160	100
Eksantrik çaprazlı çelik çerçeve, linklerden uzaktaki kolonlarda moment direnç bağlantısı yok	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 perde duvarları	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 çerçeveleri	8	3	5.5	SY	SY	SY	SY	SY
Özel betonarme moment çerçeveleri	8	3	5.5	SY	SY	SY	SY	SY
Özel moment çerçevesi ve eksantrik çaprazlı çelik çerçevesi ikili sistem, linklerden uzaktaki kolonlarda moment	8	2.5	4	SY	SY	SY	SY	SY
Özel moment çerçevesi ve merkezi çaprazlı özel çelik çerçevesi ikili sistem	8	2.5	6.5	SY	SY	SY	SY	SY
Özel moment çerçevesi ve özel betonarme perde duvarlı ikili sistem	8	2.5	6.5	SY	SY	SY	SY	SY
Özel moment çerçevesi ve kompozit çelik plaka perde duvarlı ikili sistem	8	2.5	6.5	SY	SY	SY	SY	SY

Notlar:

1.Bu tablo sadece birkaç sistemi göstermektedir ve gerçek tasarımda kullanılmamalıdır. Tasarım için IBC 2000 1617.6'daki tabloya bakınız.

2. SY:Sınır Yok [20]

Tablo 4.2 çelik perde duvarlarının ortak birkaç tipi için R'nin önerilen değerlerini, tepki modifikasyon faktörünü göstermektedir. Test verisi şunu göstermiştir: eğer ikili çelik perde sistemleri şu şekilde tasarlanırsa; sistemin diğer elemanları göçmeden önce çelik plakanın akması gözükürse (çekme bölgesi içerisindeki hareket), duvar çok sünek hareket edecektir ve çok büyük sayıda elastik olmayan döngülere, sismik kuvvete dayanma kapasitesini veya yerçekimi yükü taşıma kapasitesi yitirmeden dayanabilecektir (bakınız Astanah-Asl ve Zhao, 2000) [20]. Bu yüzden, diğer sistemler için yönetmelikler tarafından yazılmış R faktörleri ile tutarlı olabilmek için, R'nin 8.0'dan 8.5'a eşit olan değeri özel ikili çelik plaka perde sistemleri için önerilmiştir (Tablo 4.2'ye bakınız). Tablo 4.2'de ikili çelik plaka perde sistemlerinin gereksinimleri verilmiştir. Bununla birlikte, bu gibi sistemlerin iki gereksinmesinden bahsedilebilir: (a) destekleyici moment çerçevesi özel moment çerçevesi olmalı ve (b) göçme modlarının hiyerarşisi öyle olmalı ki akma göçme modları, elastik olmayan davranış gösteren tüm elemanlardaki çatlama göçme modundan önce gözükmeli ve (c) tüm birleşimler, elastik olmayan davranış gösteren elemanlardan daha güçlü olmalıdır.

Tablo 4.2: Çelik perde duvarları sismik kuvvet direnç sistemleri için önerilen tasarım katsayıları ve faktörleri [20]
(Tablodaki değerler A.Astanah-Asl tarafından geçici olarak önerilmiştir.)

Basit Sismik Kuvvet Direnç Sistemi	Tepki modifikasyon Faktörü R	Sistem aşırı mukavemet faktörü Ω_0	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
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	7.0	2	5	SY	SY	160	160	160
3. Özel çelik moment çerçevesi ve berkitilmemiş çelik plaka perde duvarlı ikili sistem	8	2.5	4	SY	SY	SY	SY	SY
4. Özel çelik moment çerçevesi ve berkitilmiş çelik plaka perde duvarlı ikili sistem	8.5	2.5	4	SY	SY	SY	SY	SY

Notlar: SY:Sınır Yok

İkili sistemin bir parçası olmayan fakat basit desteklenen çerçevenin içine yerleştirilmiş berkitilmemiş çelik plaka perde duvarları için R faktörünün değeri 6.5 olarak önerilmektedir. Basit desteklenmiş çerçevelerin içindeki çelik perde duvarları üzerine çok sınırlı sayıda test vardır. Sezgiyle, bu gibi sistemlerin davranışları şu şekilde beklenir: IBC-2000 (ve UBC-97)'de verilen R değeri 6.5 olan özel merkezi çaprazlı çerçeve sistemlerine eşit veya daha iyi davranış gösterir. İkili sistemin bir parçası olmayan berkitilmiş çelik perde duvarları için R faktörünün 7.0 olması, berkitmelerin b/t 'si hem de plaka panelleri sismik tasarımda sıkıştırılmış paneller için şu anki sınır olan $52/\sqrt{F_y}$ sağlaması koşuluyla, önerilir.

4.4.2.3. Çelik Plaka Duvarlar İçin Ω_o 'ın Değeri:

IBC-2000 (ICC, 2000), sismik kuvvete direnen sistemlerin çeşitleri için aşırı mukavemet faktörü olan Ω_o 'ın değerini sağlamaktadır. Bu faktör belirli yapısal elemanlar ve bunlara bağlanan elemanların tasarımında sismik kuvvetleri büyütmek için kullanılırdı (SEAOC, 99) [20]. Ancak, şu anda, ABD yönetmeliklerinde çelik perde duvarları için Ω_o bir değer yoktur. Tablo 4.1 Ω_o 'ın değerlerini ve IBC-2000 (ve UBC-97) tarafından verilen birçok tipik sistemler için diğer tasarım parametrelerini göstermektedir. Diğer sistemler kıyaslanarak ve mevcut testlerin sonuçları göz önüne alındığında, Ω_o 'ın değeri ikili sistemin veya standart sistemin bir parçası olan berkitilmiş ve berkitilmemiş çelik perde duvarları için 2.5 olarak önerilmiştir (Tablo 4.2).

4.4.2.4. Çelik Plaka Duvarlar İçin C_d 'nin Değeri:

Çelik perde duvar sistemlerinin birçoğu için önerilen yer değiştirme artırma faktörü C_d Tablo 4.2'de verilmiştir. Bu değerlerin seçimi, benzer sertlik, mukavemet ve akama sonrası davranış ve süneklik sergileyen sistemler için tutarlı olan C_d değerleri temeli üzerine oturtulmuştur. Benzer sistemler için C_d değerleri Tablo 4.1'de verilmiştir.

4.4.3. Çelik Plaka Perde Duvarlar İçin Sismik Maddeler:

Önceki bölüm tasarım eşitliğinin (*Talep* < *Kapasite*) *Talep* ile ilgili olan kısmı ve çelik plaka perde duvarlar için deprem yüklerini nasıl almamız gerektiği üzerine tartıştı. Bu bölüm tasarım eşitliğinin *Kapasite* kısmı ile ilgili olan kısmını tartışacaktır. Çelik yapıların sismik tasarımı ile ilgili konular şu anda “Çelik Yapılı

Binalar için Sismik Maddeler”(AISC, 1997) tarafından yönlendirilmiş, geliştirilmiş ve American Institute of Steel Construction Inc. tarafından yayınlanmıştır. Bu dokümanda çelik plaka perde duvarları üzerine özel maddeler bulunmamasına rağmen, çelik plaka perde duvarlarına eşit olarak uyarlanabilecek diğer sistemlerin sismik tasarımı için birçok madde vardır. Sonraki bölümlerde bu maddeler tartışılacak ve profesyonel revizyon sağlandıktan sonra bazı öneriler sismik tasarım yönetmeliklerine konulabilecektir.

4.4.4. Çelik perde duvarlar ile doğrudan ilgili AISC Sismik Maddeleri:

Çelik Yapılar için AISC Sismik maddeleri (AISC, 1997), moment çerçeveleri, dışmerkezi çapraz çerçeveler ve diğer sistemler için aşırı mukavemet faktörü Ω_0 'nın değerini sırasıyla 3, 2,5 ve 2 olarak vermektedir. Çelik perde duvarları için önerilen Ω_0 değerleri Tablo 4.2’de verilmiştir.

Çelik Yapılar için AISC Sismik maddeleri (AISC, 1997), belirli birleşimler veya ilgili elemanların tasarımında kullanılması için aşağıdaki eşitlikle tanımlanan Beklenen Akma Mukavemeti’ne(F_{ye}) sahiptir. Bölüm 4.5’de, çelik plaka perde duvarları için tasarım tavsiyeleri tartışıldığı zaman, bazı durumlarda, belirlenmiş akma gerilmesi yerine Beklenen Akma Mukavemeti kullanılacaktır.

$$F_{ye} = R_y F_y \quad (4.7)$$

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), Notch-toughness Steel (AISC, 97, bölüm 6.3) tarafından verilen maddeler eşit olarak çelik plaka perde duvarlarına uygulanır[20].

AISC (1997)’nin Bağlantılar, Birleşimler ve Bağlantı Elemanları (AISC-97, Bölüm 7) ve Kolonlar (AISC-97, Bölüm 8) ilgili maddeleri eşit olarak çelik plaka perde duvarlarına uygulanır[20].

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 gereksinimlerini sağlamalıdır. Sıradan moment çerçevesi, Orta seviyede moment çerçevesi veya Özel Makaslama moment çerçeveleri ile birleştirilen çelik perde duvarlı ikili bir sistemin

performansının verisi neredeyse bu zamanda olmadığından dolayı ve bu gibi kombinasyonların daha çok verisi mevcut olana kadar bu tezde yönlendirilmeyecektir. Bu şu anlama gelmemektedir: bu gibi kombinasyonlar ayakta duramayan sistemlerdir; kullanıcı sadece gerçekçi testlerden gerçek performansını tespit etmeye ihtiyacı vardır.

AISC Sismik Maddeleri (AISC, 1997), çelik plaka perde duvarlarına eşit olarak uygulanabilecek Kalite Güvencesi (Quality Assurance) üzerine maddelere sahiptir. AISC Sismik Maddeleri incelendiğinde, şu açıkça gözükmemektedir: moment çerçeveleri ve çapraz çerçevelerin birçok çeşidinin sismik tasarımıyla ilgili bölümler 11,12,12,14 ve 15'e benzer olarak Çelik Perde Duvarları ile ilgili belgelerde acil bir ihtiyaç vardır[20].

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

Kanada'nın Ulusal Yapı Yönetmeliği (CCBFC, 1995) çelik plaka perde duvarlarının modellenmesi ve tasarımı üzerine maddelere sahiptir [20]. Kanada yönetmeliğindeki çelik plaka perde duvar sistemi göreceli olarak ince plakalı ve yatay veya düşey berkitmesizdir. Kat kesmeleri, ince plaka burkulduktan sonra, ince plakanın çekme bölgesinin hareketiyle taşındığı kabul edilir. Plakada diyagonal basıncın göreceli olarak küçük burkulma kapasitesi ihmal edilir.

Kanda yönetmeliği, çelik plaka perde duvarları üç kategoriye böler: Sünnek, Sözde Sünnek ve Sıradan. Tablo 4.3, bu üç sistemin R faktörleri ile ilgili ana karakteristiklerini göstermektedir. Şu hatırlanmalıdır: Kanada Yönetmeliğinde kullanılan R faktörleri ABD yönetmeliklerinde kullanılan R faktörlerinin yaklaşık olarak $\frac{1}{2}$ 'si civarındadır. Bu iki yönetmelikteki terimlerin tanımından ve içerdiği parametrelerin değerlerinin ufak farklılığından kaynaklanmaktadır. Bu sebepten, aşağıdaki tabloda, Kanada ve ABD yönetmeliklerindeki R faktörleri sırasıyla R_{CAN} ve R_{US} olarak gösterilmiştir.

Tablo 4.3: Kanada Yönetmeliği'ndeki çelik plaka perde duvarları ve R faktörleri [20]

Çelik plaka perde duvarının tipi	Gereksinim	R _{CAN} (Kana- da)	R _{US} (ABD eşiti)
Sünek	Duvarı içeren çerçeve sünek moment çerçevesi olmalı	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'nın Ulusal Yapı Yönetmeliği'nin (CCBFC, 1995) M Eki, çelik plaka perde duvarları için tasarım gereksinimlerine adanmıştır. Bu ek şunu söylemektedir: çelik plaka perde duvarının davranışı çelik plaka kirişlerinin davranışına benzerdir. Bu ek, çelik plaka perde duvarının sabitlenmiş çubuk diyagonaller ile nasıl yer değiştireceği ve bu çubukların eğiminin açısının ne olması gerektiği üzerine maddelere sahiptir. Bu ek, birleşimlerin tasarımına ilişkin maddelere sahiptir. Bu ek, ayrıca şunu söylemektedir: çelik plakanın birleşimlerini çevreleyen kiriş ve kolonlar çelik plakayı geliştirmeli.

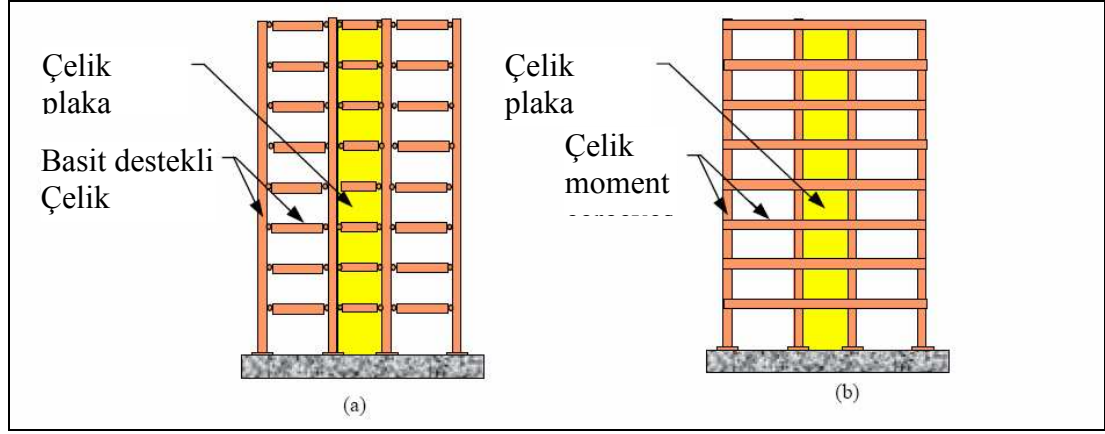
4.5. Çelik Perde Duvarların Sismik Tasarımı

Bu bölüm, çelik perde duvarların sismik tasarımı ve modellenmesini tartışacaktır ve sismik tasarım önerilerini sergileyecektir.

4.5.1. Çelik Perde Duvar Sistemlerinin Çeşitleri

Şekil 4.35'de çelik perde duvarların iki tipi gösterilmiştir. Bunlar *standart* ve *ikili* sistemlerdir. Standart çelik perde duvar sisteminde kiriş-kolon birleşimleri basit bağlantılıdır. Sonuç olarak, çelik perde duvarları, tasarımda, sistem içerisinde yatay yükleri karşılayan tek eleman olarak kabul edilir. Önceki bölümde bahsedildiği gibi, (Liu and Astaneh-Asl, 2000) şu kurulmuştur: çelik yapılarıdaki basit bağlantılar önemli moment kapasitesine sahiptirler ve şu anki pratik varsayımların söylediği gibi sabit bağlantıdan daha çok “yarı rijit” şekilde davranırlar [20]. İkili çelik perde duvar

sisteminde, çelik perde duvar düzlemine paralel veya perde duvarın düzlemi içerisinde moment çerçeveleri bulunmaktadır. Bu durumda, moment çerçeveleri, öncelikli yatay yük taşıma sistemi olan çelik perde duvarına destek sistem gibi davranırlar.



Şekil 4.35: Çelik plaka perde duvarların iki tipi: (a) standart ve; (b) ikili sistem[20]

Çelik perde duvarları berkitilmiş veya berkitilmemiş olabilir. ABD'deki çelik perde duvarların erken uygulamalarında, özellikle sismik güçlendirme için, duvarlar berkitiliyordu. Var olan literatüre göre, Japonya'daki neredeyse tüm çelik plaka perde duvar uygulamalarındaki çelik plakalar da berkitilmişti. Ancak son on yılda, birçok çelik perde duvarları, ABD ve Kanada'da berkitilmemiş çelik plaka perde duvarlar olarak tasarlanmış ve inşa edilmiştir.

Berkitilmiş plaka kullanımında, amaç, akmadan önce çelik plakanın burkulmasını önlemektir. Berkitilmemiş çelik plaka perde duvarlarda, plakanın burkulmasına izin verilir ve amaç, kat kesmesini taşımak için duvarda diyagonal çekme bölgesi hareketini kullanmaktır. Sonuç olarak, berkitilmiş ve berkitilmemiş duvarlar aynı kesmeyi karşılayacak şekilde tasarlandığı zaman berkitilmiş çelik perde duvarlar, berkitilmemiş çelik plaka perde duvarlarla karşılaştırıldığında daha az kalınlıklı olma eğilimindedir.

Berkitilmiş veya berkitilmemiş çelik perde duvar seçiminde, tasarımcının, sismik performansı, mimari gereksinimleri, ekonomiyi, üretim kolaylığını, nakliye ve inşa edilebilirliği göz önünde bulundurması gerekmektedir. Sismik performans önceki bölümlerde dile getirildi. Hem berkitilmiş hem de berkitilmemiş çelik plaka perde duvarlar gerektiği gibi tasarlandığı zaman, çok arzu edilen bir performans sergilemesi beklenir. Ekonomik açıdan bakıldığında zaman, çelik plakaya kaynaklanan

berkitmeler çok yoğun iş gücü aktivitesi gerektirdiğinden dolayı, berkitilmemiş perde duvarların daha az maliyetli olması beklenir. Tabiki aynı kalınlıktaki çelik plakalar için, berkitilmiş perde duvarları, berkitilmemiş perde duvarlarının sağladığı kesme mukavemetinden daha fazlasını sağlarlar. Aynı zamanda, berkitilmiş perde duvarlarında, devrilme momenti, sınır kolonları tarafından paylaşılır ve perde duvarı daha çok eğilme etkilerinin büyük bir çoğunluğunun flanş tarafından karşılandığı ve gövdenin bazı eğilme momentlerini ve kesmenin büyük bir kısmını karşıladığı I şeklindeki kirişe benzer.

Berkitilmemiş duvarda, diyagonal basıncın başlangıç burkulmasından dolayı, çelik plaka devrilme momentinin önemli bir kısmının taşınmasında katkıda bulunamamaktadır. Devrilme momentlerinden ve çekme bölgesinin biçiminden dolayı sınır kolonlarındaki ilave basıncın sonucu olarak, berkitilmemiş bir perde duvarında sınır kolonları, aynı koşullar içerisindeki ancak berkitilmiş duvarlı kolonlardan biraz daha ağır olmasıyla sonuçlanabilir. Ancak, günümüzün üretim atölyelerinde kaynaklı berkitmelerin maliyeti, duvardaki mukavemet kazancını ve duvarın berkitilmesi tarafından kolonlar üzerinde maruz kalınan kuvvetlerin azaltılması kazancını oldukça aşmaktadır. Bu yüzden Astandeh-Asl, açıklıklar ve bu açıklıkların berkitmelere olan ihtiyacı, berkitilmiş perde duvarının daha ekonomik olması var olmadığı sürece, kullanımı yaygın olan berkitilmiş perde duvarlarının kullanımını önermemektedir.

4.5.2. Çelik Perde Duvarının Kesme Uygulandığındaki Davranışı

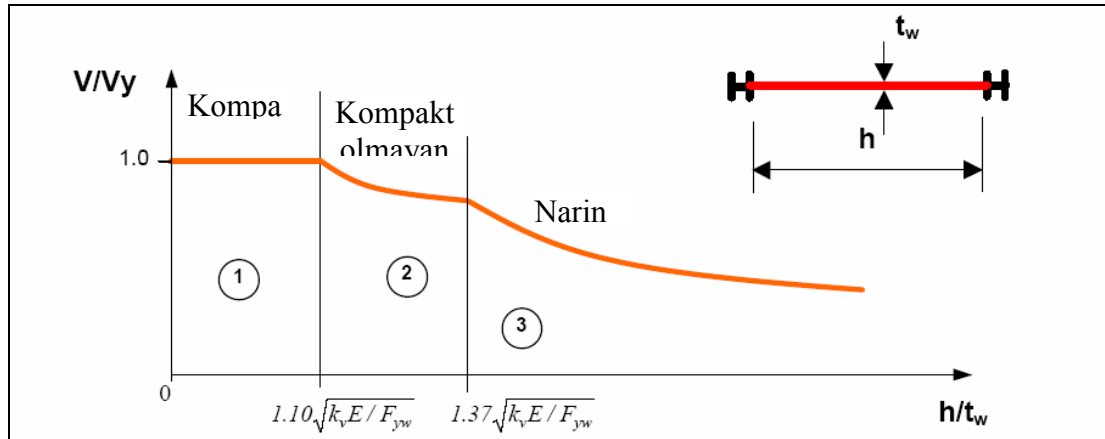
Şekil 4.36, çelik perde duvarının kesme mukavemetine karşı narinlik oranının şematik değişimini göstermektedir. Çizim, aslında plaka kiriş davranışı için kurulmuş bilgi temeli üzerinedir ve AISC Şartnamesindeki (AISC, 1999) tasarımıdır, ancak çelik plaka perde duvarlara yaklaşık olarak uygulanabilir[20]. Bir perde duvarının narinliğine bağlı olarak, perde duvarı, kompakt, kompakt olmayan ve narin olarak **Şekil 4.36**'da gösterildiği gibi kategorize edilebilir. Her bir kategori takip eden bölümlerde tartışılacaktır.

1. Kategori 1: h/t_w tanımlanan duvarın narinliği, $\lambda_p = 1.10 \sqrt{k_v E / F_{yw}}$ 'den küçük olduğu zaman. Terimlerin tanımları için semboller listesine bakınız. Bu kategorideki çelik perde duvarları “kompakt” olarak gösterilmiştir. Şu beklenmektedir: **Şekil 4.37**'de gösterildiği gibi uygulanmış kesme altında çelik plaka, burkulma

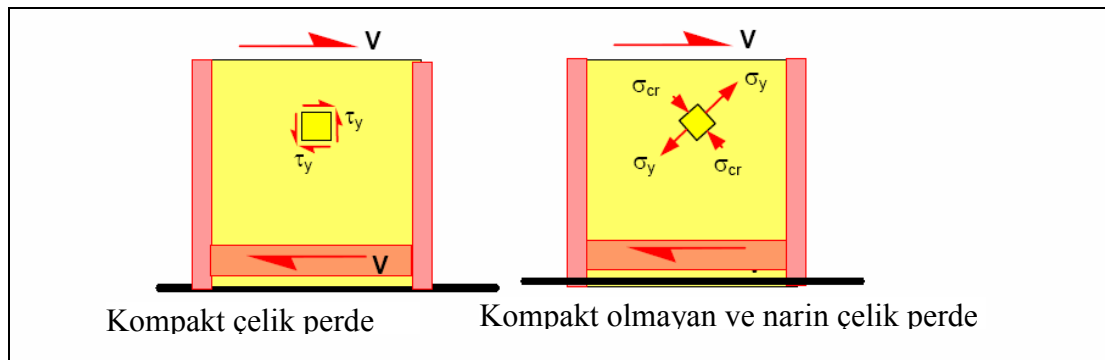
gözlenmeden önce kesmede akacaktır. Bu, berkitilmemiş çelik plaka perde duvarlarının kompakt ve plastik davranacak şekilde tasarlanması ve h/t_w 'nin λ_p 'den daha küçük olmasını sağlamak için ne ekonomik olarak uygulanabilir ne de gereklidir. Ancak, berkitilmiş çelik perde duvarları, bu durumu geliştirmek için tasarlanabilir. Bu konu ve çelik perde duvarların tam plastik davranış durumuna ulaşması için nasıl tasarlanması gerektiği daha sonra bu bölümde tartışılacaktır.

2. Kategori 2: h/t_w 'nin λ_p 'den büyük olduğu ancak $\lambda_r=1.37\sqrt{k_v E / F_{yw}}$ 'den küçük olduğu zaman. Bu kategori “kompakt olmayan” olarak gösterilmiştir. Şu beklenmektedir: bu kategori içerisine giren duvarlar, bazı kesme akmaları meydana gelmişken burkulması beklenir. Bu durumda, kat kesmesi, **Şekil 4.37**'de gösterildiği gibi çekme ve basınç diyagonal kuvvetlerinin yatay bileşenleri tarafından karşılanır.

3. Kategori 3: duvar çok narindir ve h/t_w 'si λ_r 'den büyüktür. Bu kategori içerisindeki perde duvarları “narin” olarak adlandırılırlar ve neredeyse elastik iken burkulması beklenir.



Şekil 4.36: Çelik perde duvarlarının davranışının üç bölgesi[20]



Şekil 4.37: Kesmeye direnen çelik perde duvarlarının “kesme akması” ve çekme bölgesi hareketi[20]

4.5.3. Çelik Plaka Perde Duvarlarının Performansa Dayalı Tasarımı İçin Tasarım Kriteri

Çelik perde duvarları, bölüm 4’de verilen R , Ω_0 ve C_d değerleri kullanılarak tasarlandığı zaman, tasarım kriteri öyle olmalı ki; sistem yeterli süneklikte ve yeterince aşırı mukavemete sahip olmalıdır. Böyle yüksek süneklikli ve aşırı mukavemetli bir tasarıma ulaşmak için, aşağıdaki tasarım yöntemi geliştirilip önerilmiştir. Genel olarak bu yöntemin temeli şunu temin etmektedir: sünek göçme modları, gevrek göçme modlarından önce gözükür ve elastik olmama durumu sistemin yerçekimi yükü taşımayan elemanlarında önce başlar ve daha sonra eğer gerekliyse yerçekimi yükü taşıyıcı elamanlara sismik olayın sonuna doğru ve kontrollü bir şekilde, yani aşamalı göçme gözükmeyecek şekilde yayılır.

4.5.4. Çelik Perde Duvar Sistemleri İçin Sismik Tasarım Yöntemi Geliştirilmesi

Çelik plaka perde duvarları için sismik tasarım yöntemi geliştirilmesindeki adımlar aşağıda verilmiştir. Bunlar, Astaneh-Asl’in kesme bağlantıları için tasarım yönteminin (Astaneh-Asl et al, 1989), bulonlu moment çerçevelerinin (Astaneh-Asl, 1995), kolon ağacı moment çerçevesinin (Astaneh-Asl, 1997) ve güçlendirme plakalarının (Astaneh-Asl, 1998) geliştirilmesinde izlediği adımların aynısıdır[20].

Önerilen tasarım yöntemlerinin geliştirilmesindeki adımlar:

1. Kapsamlı bir literatür incelemesi, sistemin gerçek davranışı üzerine bilginin toplanması için yürütülür.
2. Sistemin göçme modları (limit durumları) belirlenir.
3. Göçme modları “sünek” ve “gevrek” olmak üzere gruplandırılır. Akma göçme modu, nadir olarak plastik akma üzerindeki kısıtlamalardan dolayı akma arzu edildiği ölçüde sünek olmadıkça, genelde sünek olarak göz önünde bulundurulur. Diğer taraftan kırılma göçme modları genel olarak gevrek olarak göz önünde bulundurulur. Burkulma göçme modu, elastik veya elastik olmayan burkulma olup olmamasına bağlı olarak, sırasıyla sünek veya gevrek olarak göz önünde bulundurulur. Bulonların kayması, sünek ve sismik tasarım için en çok arzu edilen limit durum olarak göz önünde bulundurulur.
4. Göçme modları şunun gibi hiyerarşik sıraya yerleştirilir: (a) elastik olmayan davranışa sahip olabilecek elemanlar için, sünek göçme modları, gevrek göçme modlarından önce gözükmeli ve; (b) duvar plakası gibi yerçekimi kuvveti taşıyıcı

olmayan elemanlar, yerçekimi taşıyan elemanlar limit duruma ulaşmadan, limit duruma ulaşırlar.

5. Tasarım eşitlikleri, maddeleştirilmiş göçme modlarının hiyerarşik sırası gibi tüm göçme modları için geliştirilmiştir.

Aşağıda, çelik perde duvarlarının sismik tasarımı için yukarıdaki adımlar açıklanacaktır. Önerilen tasarım yöntemlerinin sonuçları bu bölümün sonunda verilmiştir.

4.5.4.1. Ana Göçme Modu

Tipik çelik plaka perde duvarların göçme modları:

Çelik plaka duvarın göçme modları:

1. Bulonların kayması (sünek).
2. Çelik plakanın burkulması (sünek).
3. Çelik plakanın akması (sünek).
4. Duvar plağının kırılması (gevrek).
5. Çelik duvarın sınır kolonları ve kirişlerinin birleşimlerinin kırılması (gevrek).

Yukarıdaki ve aşağıdaki kirişlerin göçme modları

6. Yukarıdaki ve aşağıdaki kirişlerde kayma akması (sünek).
7. Yukarıdaki ve aşağıdaki kirişler içerisinde plastik mafsall oluşması (sünek).
8. Yukarıdaki veya aşağıdaki kirişlerin flanşlarında veya gövdesinde yerel burkulma (sünek eğer $b/t \leq \lambda_p$).
9. İkili sistem içerisindeki kirişlerin moment birleşimlerinin kırılması (gevrek).
10. Kirişlerin tamamen veya yatay burulmalı burkulması (gevrek).
11. Kirişlerin kesme bağlantılarının kırılması (gevrek).

Sınır kolonlarının göçme modları

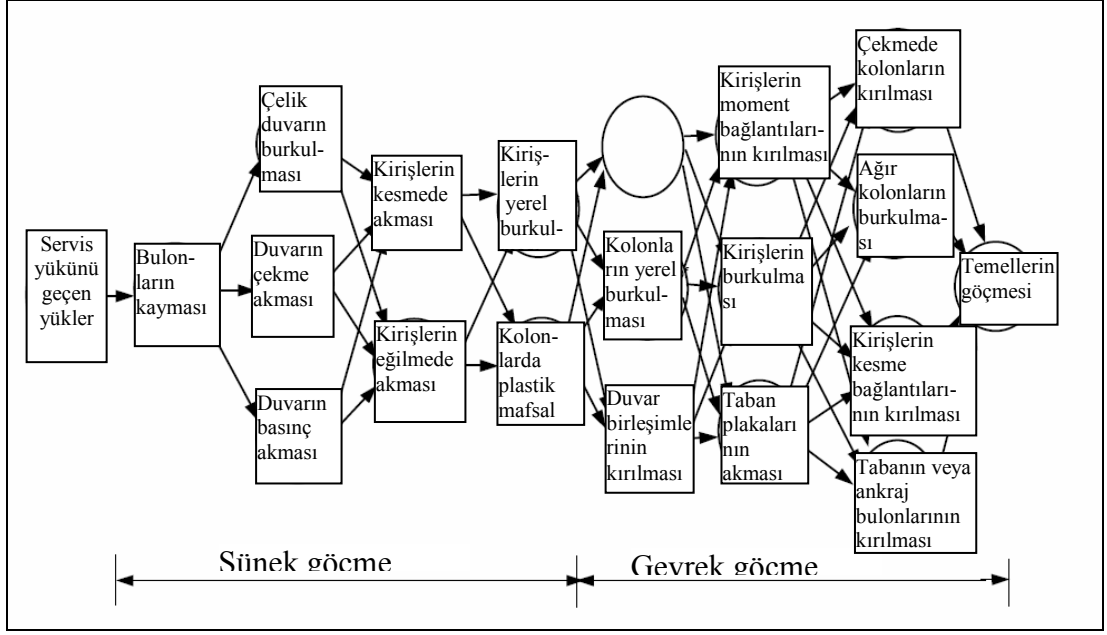
12. Kolonların yukarısında ve aşağısında plastik mafsall oluşması (sünek).
13. Sınır kolonlarının yerel burkulması (sünek eğer $b/t \leq \lambda_p$).
14. Sınır kolonlarının tamamen burkulması (sünek eğer $\lambda_c = (KL/\pi r) \sqrt{(F_y / E)} \leq 1.0$).
15. Sınır kolonlarının veya ek yerlerinin çekme çatlağı (gevrek).
16. Negatif mesnet kuvvetleri içerisinde sınır kolonlarının taban plaklarının akması (sünek)
17. Negatif mesnet kuvvetleri içerisinde taban kolonlarında ankraj bulonlarının veya taban plaklarının kırılması (gevrek)

18. Eğilmede ve/veya negatif mesnet kuvvetleri içerisinde kolon taban plaklarının kırılması (gevrek)
19. Duvarın temellerinin göçmesi (gevrek).

4.5.4.2. Göçme Modlarının Hiyerarşik Sırası

Arzu edilebilir ve sünmek performans elde etmek için, yukarıdaki göçme modları, aru edilme durumuna göre sıralanabilir. Göçme modlarının bu hiyerarşik sırası **Şekil 4.38**'de gösterilmiştir. Hiyerarşik, sıra şu şekilde düzenlenir: genellikle yer çekimi kuvveti taşımayan eleman olan duvarın kendisinin göçme modları ilk olarak ortaya çıkar ve yukarıdaki ve aşağıdaki kirişlerin sünek göçmesi takip eder ve son olarak sınır kolonlarının sünek göçme modları meydana gelir. Gevrek göçme modları genellikle, sünek göçme modlarından sonra oluşacak şekilde düzenlenir. Tekrar, gevrek göçme modları arasında da, şu arzu edilir: duvarın gevrek göçme modları kirişler ve kolonlar için olan göçme modlarını yönetsin.

Duvar sınır bulonlarının veya uçlarının kayması birbirini izleyen göçme modu olarak göz önüne alınmamalıdır. Aslında, bu gibi kaymalar, sürtünmeden dolayı enerji dağıtımının mekanizmasını sağlar ve yapıya biraz yararlı olan “yarı rijitliği” kazandırır. Elbette, kayma, servis yatay yükleri altında gözükmemelidir. Narin perde duvarı içindeki plakanın burkulması, performansta zararlı gözükmez ve sınır kayma mukavemeti üzerinde ve duvarın tüm performansında önemli bir etkisi yoktur. Eğer duvarın düzlem dışı deformasyonu ile sonuçlanan burkulması, işe yararlılık konusunda problem yaratırsa, o zaman berkitilmiş perde duvarları, duvarın burkulmasını geciktirmek için kullanılmalıdır. Tabii, daha önce tartışıldığı gibi, bu gibi berkitilmiş duvarların daha maliyetli olması beklenir. Diyagonal çekme bölgesinin akması göçmenin en iyi mekanizmasıdır ve sismik tasarımda göçme modunu yöneten olarak kurulmalıdır. Sınır kolonlarının çekmede kırılması veya basınçta burkulması gibi göçmelerden, deprem sonrası onarımın çok yüksek maliyeti kadar önemli stabilite sonuçlarına sahip olabildiğinden dolayı tasarımda kaçınılmalıdır.



Şekil 4.38: Tipik çelik plaka perde duvarlarının soldan sağa doğru arzu edilen ana göçme modlarının sırası. [20]

4.5.4.3. Göçme Modları İçin Tasarım Eşitlikleri

Daha önce önerildiği gibi, arzu edilebilir bir sismik davranış elde etmek için, çelik plaka perde duvarları, yukarıda **Şekil 4.38**'de gösterilen sünek göçme modlarının yönettiği gibi tasarlanmalıdır. Buna ulaşmak için, gevrek göçme modları için hesaplanan kapasite, sünek göçme modlarının kapasitesinin 1.2 katından daha fazla olması önerilir. **Şekil 4.38**'de sıralanan tüm göçme modları çok iyi bilinen göçme modlarıdır ve AISC Çelik Yapımının El kitabında (AISC, 1994) tartışılmıştır ve eşitlikler, her bir göçme modunun kapasitesini tespit etmek için kullanılabilir olduğunu sağlamaktadır[20].

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

Perde duvarların plaka kirişlere benzerliğinin analojisini kullanılarak, plaka kirişler için geliştirilen modelleme teknolojisi ve tasarımın büyük bir kısmı, çelik perde duvarlarının tasarımına ayarlanabilir ve uygulanabilir.

Plaka kirişler ve perde duvarları arasındaki ana farklılıklar:

1. Plaka kirişler çok nadir eksenel yüke maruz kalırlar. Perde duvarları çoğu zaman yerçekiminden dolayı eksenel yüke maruz kalmasına rağmen, bu gibi eksenel yükler genellikle sınır kolonları tarafından karşılanır ve çelik perde duvarının kendisi sadece

kesmeye ve eğilmeye maruz kalır. Perde duvar sisteminin tüm stabilitesi üzerinde sınır kolonları içindeki eksenel yükün $P-\delta$ etkisi analizde hesaba katılmalıdır.

2. Plaka kiriş içerisindeki flanşlar genellikle, kesme gövdesinin düzlemi içerisinde göreceli olarak küçük eğilme rijitliğine sahip plakalardır. Perde duvarında, sınır kolonları flanşlar gibi davranır ve bu kolonlar genellikle plakalar yerine şekilli olduğundan, plaka kirişin flanşlarından daha fazla eğilme rijitliği ve duvarın düzlemi içerisindeki mukavemeti gösterirler. Sınır kolonlarının eğilme rijitliği ve mukavemetinin etkisi öncelikle çekme bölgesinin genişliği ve eğim açısının tespit edilmesidir.

3. Günümüzdeki plaka kirişler içindeki berkitmeler gövdenin bir kenarına kaynaklanan plakalardır. Perde duvarlarında, kat kirişleri, berkitmelerin rolünü oynamaktadır. Açıkça, kat kirişleri, ve eğer kat döşemesi bağlanırsa, plaka kiriş içerisindeki plaka berkitmelerinden daha rijit ve daha rijitleştirici davranır. Kat kirişlerinin rijitliği ve mukavemeti, plakanın burkulması için sınır koşullarını etkiler. Perde duvar sistemi içerisindeki kat kirişleri çelik plaka için neredeyse sabit bir sınır sağlamaktadır. Aynı zamanda, rijit ve güçlü kat kirişleri, özellikle, çelik plaka perde duvarı, yukarıdaki ve aşağıdaki katlarda aktıktan sonra, çekme bölgesi için daha iyi ankraj sağlar.

4. Perde duvarların göreceli olarak büyük elastik olmayan döngüsel yüklemelerin görülmesi beklenirken, plaka kirişler genellikle monotonik yükleme veya düşük genlikli yorulma tipi yüklemesi altında incelenmiştir. Bölüm 4.3’de tartışıldığı gibi, çelik plaka perdelerin döngüsel davranışı üzerine şu anda önemli veri mevcuttur.

Çelik plaka kirişleri ve çelik plaka perde duvarları arasındaki yukarıdaki farklılıklar göz önüne alındığında, şu gözükmemektedir: hiçbir farklılık hayati değildir ve hiçbirisi tutucu olmayan bir tasarımla sonuçlanmayacaktır. Gerçekten, plaka kiriş eşitlikleri, perde duvarların gerçek kapasitesinden daha az bir kapasiteyi tahmin edebilir. Kapasitenin bu gibi tahminleri, biraz tutucu tasarımla sonuçlanacaktır. Bununla birlikte, temel ve perde duvarın mukavemetini geliştirecek diğer bileşenlerin tasarımında, perde duvarlarının karmaşık modellerinin davranışlarını kullanmak yerine, perde duvarlar için daha gerçekçi kapasite tespit edilmelidir. SSRC Rehberi (SSRC, 1998), Elgaali ve araştırma ortakları tarafından yazılan makalelerde, bu konu hakkında değerli bilgilere ulaşılabilir[20].

4.5.5.1. Çelik Perde Duvarların Kesme Kapasitesi

Çelik perde duvarların kesme kapasitesi, çelik plaka kirişler için AISC Maddelerinde (AISC, 1999) aşağıdaki uyarlanmış yöntemleri kullanarak tespit edilebilir. Bu eşitliklerin geçmişi için, Theodore V. Galambos tarafından derlenmiş SSRC Rehberi'ne (SSRC, 1998) başvurabilirsiniz [20].

Çelik plaka perde duvarların LRFD formatındaki kesme kapasitesi, ϕV_n 'dir. Burada $\phi=0.90$ ve V_n aşağıdaki gibi belirlenir:

A. $h/t_w \leq 1.10\sqrt{k_v E / F_{yw}}$ olduğu zaman kompakt perde duvarları için

$$V_n = 0.6 A_w F_{yw} \quad (4.5.1)$$

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

$$V_n = 0.6 A_w F_{yw} \frac{1 - C_w}{1.15\sqrt{1 + (a/h)^2}} \quad (4.5.2)$$

Burada k_v şu şekilde verilmektedir;

$$k_v = 5 + \frac{5}{(a/h)^2} \quad (4.5.3)$$

Eğer a/h , 3'den veya $[260/(h/t_w)]^2$ 'den büyükse k_v 'nin değeri 5.0 olarak alınmalıdır. AISC (1999) tarafından verilen C_v 'nin değeri:

(a) $1.10\sqrt{\frac{k_v E}{F_{yw}}} \leq \frac{h}{t_w} \leq 1.37\sqrt{\frac{k_v E}{F_{yw}}}$ için;

$$C_v = \frac{1.10\sqrt{k_v E / F_{yw}}}{h/t_w} \quad (4.5.4)$$

(b) $\frac{h}{t_w} > 1.37\sqrt{\frac{k_v E}{F_{yw}}}$ için;

$$C_v = \frac{1.51k_v E}{(h/t_w)^2 F_{yw}} \quad (4.5.5)$$

Yukarıdaki eşitliklerde A_w , plakanın $(d_w)(t_w)$ 'ye eşit olan kesme alanına ve V_n minimum akma mukavemetine dayanarak belirlenmiş, duvarın minimum kesme

kapasitesidir. Yukarıdaki eşitlikler, AISC Maddeleri (1999) tarafından verilmiş plaka kiriş eşitliklerinden adapte edilmiştir[20]. Tasarımda, aşağıdaki eşitlik sağlanmalıdır:

$$V \leq \phi V_n \quad (4.5.6)$$

Burada, V , analiz tarafından tespit edilmiş uygulanmış kesme faktörüdür.

Çelik plakanın tasarımından sonra, “beklenen kesme kapasitesi”, V_n , duvarın gerçek kesme alanı ve çeliğin beklenen akma mukavemeti kullanılarak hesaplanmalıdır. Berkitilmiş perde duvarlarında, eğer düşey berkitmeler sağlam ve özellikle kanallardan yapılmışlarsa, düşey berkitmelerin kesit alanları da bu hesap içerisine katılmalıdır. Duvarın beklenen kesme mukavemeti, yukarıdaki eşitliklerde verilen nominal (yazılı) kesme mukavemetinden daha büyüktür. Ana neden, gerginlik sertleştirmesidir ve günümüzdeki gerçek olgu, çeliğin gerçek akma mukavemeti, genellikle belirlenmiş minimum değerden daha büyüktür (örnek: A36 için 36 ksi). Duvarın beklenen kesme kapasitesi, sistemin bağlantılar, sınır kolonları ve kirişleri gibi diğer elemanlarının tasarımında kullanılacaktır.

V_{ye} , şu şekilde verilmiştir:

$$V_{ye} = C_{pr} R_y V_n \quad (4.5.7)$$

Bu tezdeki tüm terimlerin tanımları için, lütfen semboller listesine bakınız. İlk başta FEMA-350 (FEMA, 2000) tarafından moment çerçeveleri için tanıtılan C_{pr} , bir katsayıdır ve burada gerginlik sertleşmesinden dolayı çelik plakanın kesme akması kapasitesini artırmak için kullanılmıştır[20]. Gerginliği sertleştirilmiş malzemenin akma noktasının F_y ve F_u 'nun ortalamasına eşit olduğu varsayılır. Bundan dolayı, C_{pr} şu şekilde yazılabilir:

$$C_{pr} = (F_y + F_u) / (2F_y) = 1 + F_u / 2F_y \quad (4.5.8)$$

R_y , F_y 'nin belirlenmiş değerindeki belirsizliği hesaplamak için bir katsayıdır ve AISC (AISC, 1997) tarafından verilmiştir. AISC (1997)'ye göre, R_y , çelik plaka perde duvarlar için 1.1 alınabilir[20].

4.5.5.2. Perde Duvarın Eğilme Kapasitesi

Perde duvarı, plakanın burkulmasından önce kesme akmasına ulaşmak için berkitildiği zaman, devrilme momentinin önemli miktarı, berkitilmiş duvar plakası tarafından karşılanabilir. Bununla birlikte, berkitilmemiş perde duvarlarında, devrilme momentinin büyük bir çoğunluğu sınır kolonları tarafından karşılanır.

4.5.5.3. Çelik Perde Duvarın Birleşik V_M ve V-M-P Kapasiteleri

Berkitilmiş perde duvarları ve berkitilmemiş fakat “kompakt” perde duvarları için, duvarın, eğilme ve eksenel kuvvetleri taşıdığı kadar kesmenin taşınmasında da katkıda bulunacağı beklendiğinden, etkileşim eğrisi, perde duvarında rol oynayan V, M ve P ile ilişkili olarak kullanılmalıdır. Berkitilmiş perde duvarında panelin yerine bağlı olarak, panel, kenarlarına etki eden kesme ve normal gerilmenin birleşimine maruz kalacaktır. Berkitilmiş perde duvarlarının oldukça sünek olması beklendiğinden, gerilmenin önemli bir miktar yeniden dağılımı, duvarın göçmesinden önce meydana gelebilir. Bundan dolayı, berkitilmiş duvarın kapasitesi, her bir panelinin kapasitelerinin toplamı olacaktır.

SSRC Rehberi (SSRC, 1998), bu konu hakkında bir özete sahiptir ve çelik plakanın kenarlarına etkiyen kesme gerilmesinin ve normal gerilmenin birleşik etkileri için aşağıdaki eşitliği sağlamaktadır[20].

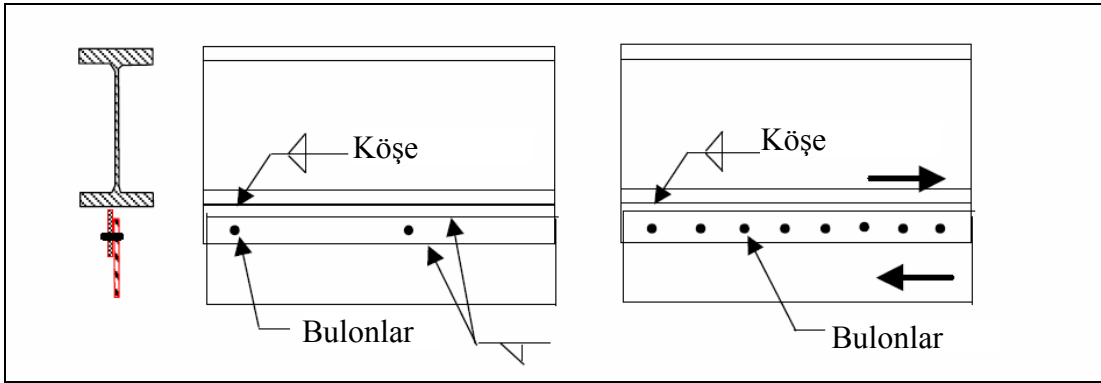
$$\frac{\sigma}{\sigma_{cr}} + \left(\frac{\tau}{\tau_{cr}} \right)^2 = 1.0 \quad (4.5.9)$$

Berkitilmemiş ve narin perde duvarları için, eksenel yükün ve devrilme momentinin büyük bir kısmının kolonlar tarafından karşılanmasından, ve kesmenin, duvarın çekme bölgesi hareketi tarafından taşınmasından, etkileşim eşitliğinin kullanımına izin veren, kesme, normal kuvvet ve momentin önemli bir etkileşimi gözükmemektedir.

4.5.6. Çelik Perde Duvar Plakalarının Sınır Kiriş ve Kolonlara Birleşimlerinin Tasarımı

Çelik plaka perde duvarın sınır kirişleri ve kolonlarına birleşimlerinin tipik iki detayı Şekil 4.39’da gösterilmiştir. Kaynaklı birleşimler, birleşim plakaları (kanatçık plakaları) ve kaynaklar, önceki bölümde $C_{pr}R_yV_n$ olarak verilen, duvarın “beklenen kesme akması” mukavemetini geliştirecek şekilde tasarlanmalıdır.

Eğer sahada bulonlanmış birleşimler kullanılırsa, bulonlar kritik olarak kaymalıdır ve duvarın “beklenen kesme mukavemetini” geliştirmelidir. Bulonlar kritik olarak kaysa bile, duvarın döngüsel yüklemesi sırasında şu beklenir: çekme bölgesi akmadan önce bulonlar kayar. Bununla birlikte, böyle kaymalar, servis yükleme seviyesinden oldukça yukarıda bir yükleme seviyesinde ortaya çıkar ve hem zararlı değildir, hem de sismik davranışın geliştirilmesinde yararlı olabilmektedir. Bulonlu perde duvarlar üzerine daha çok test sonucu elde edilene kadar, şu özellikle tavsiye edilir: rüzgar yükleri yönetse bile, kritik kayma bulonları, duvarları sınır elemanlarına bağlamak için kullanılmalıdır ve bulonlar, servis rüzgar yükünün 1.2 katına eşit veya daha fazla yük altında kaymayacak şekilde tasarlanmalıdır.



Şekil 4.39: Çelik plaka perde duvarının sınır kiriş ve kolonlarına birleşimleri[20]

4.5.7. Yukarıdaki ve Aşağıdaki Kiriş ve Kolonların Tasarımı

İkili perde duvar sistemleri için, kirişler ve kolonlar, özel moment çerçevelerinin bir parçası olduğu zaman, özel moment çerçevelerinin maddeleri, bu kiriş ve kolonların tasarımına uygulanmalıdır. Standart ve ikili olmayan perde duvarları için, sınır kirişleri ve kolonları, şu şekilde tasarlanmalıdır: yöneten göçme modu, bu bölümde daha önce listelenen sünek göçme modlarından birisi olmalıdır ve gevrek göçme modu olmamalıdır. Buna ulaşmak için, gevrek göçme modları kontrol edilmeli ve sünek göçme modlarının kapasitesinin en az 1.2 katından fazla olduğuna emin olunmalıdır.

Ek olarak, perde duvarın sınır kirişleri ve kolonları, AISC Sismik Maddeleri (AISC, 1997) tarafından verilen aşağıdaki b/t gereksinimlerini karşılamalıdır[20].

$$b_f / 2t_f \leq 52 / \sqrt{F_y} \quad (4.5.10)$$

Yukarıdaki eşitliğin boyutsuz formu şu şekilde yazılabilir:

$$b_f / 2t_f \leq 0.31 / \sqrt{E / F_y} \quad (4.5.10a)$$

$$h_c / t_w \leq 520 / \sqrt{F_y} \quad (4.5.11)$$

Yukarıdaki eşitliğin boyutsuz formu şu şekilde yazılabilir:

$$h_c / t_w \leq 3.10 / \sqrt{E / F_y} \quad (4.5.11a)$$

Terimlerin tanımları için semboller listesine bakınız. SAC kolektif şirketi (SAC, 2000) AISC (1997) tarafından verilen $520 / \sqrt{F_y}$ yerine kaynaklanmış moment birleşimleri için $418 / \sqrt{F_y}$ sınırını önermektedir[20]. Bu sistemdeki kiriş ve kolonların gövde burkulması için daha serbest sınır olan $520 / \sqrt{F_y}$ 'nin seçilmesinin sebebi, burada tartışılan perde duvar sistemlerinde, kolonların ve kirişlerin gövdeleri perde duvarın bir parçası olmasından ve duvarın burkulmasından önce gövdenin burkulmasının olası olmamasından dolayıdır. Şu tavsiye edilir: berkitilmemiş çelik perde sistemlerinde kirişlerin ve kolonların gövde kalınlığı, duvar plakasının kalınlığı ile en azından eşit kalınlıkta olmalıdır.

4.5.8. Analizlerde Çelik Perde Duvarının Modellenmesi

Çelik plaka perde duvarının “kompakt”, “kompakt olmayan” veya “narin” olmasına bağlı olarak ve plaka burkulmasını yapabilen analiz yazılımlarının kapasitesine bağlı olarak, perde duvarları birçok şekilde modellenenebilir. Aşağıda kompakt, kompakt olmayan ve narin perde duvarları için birçok modelleme tekniği kısaca özetlenmiştir. Perde duvarların “kompakt”, “kompakt olmayan” ve “narin” olan bu üç kategorisi **Şekil 4.36**’da gösterilmiştir.

A. “Kompakt” Çelik Plaka Perde Duvarlarının Modellenmesi:

Kompakt çelik perde duvarlarında, çelik plakanın burkulmadan önce kesmede akması beklenir. Bu yüzden analizlerde, kompakt perde duvarları, tam kabuk

elemanlar ve izotropik malzeme kullanılarak modellenenlerdir. Şu önerilir: duvar, her bir panel başına en az 16 kabuk elemanı (4x4 ızgara) kullanılarak modellenir. Duvarın kesiti üzerine etki eden kesme kuvveti V , elemanlardaki kesmeyi toplayarak hesaplanabilir. Bu uygulanmış kesme kuvveti, duvardaki talebi göstermektedir ve bu bölümün sonunda tespit edilecek duvarın kesme kapasitesinden küçük veya eşit olmalıdır.

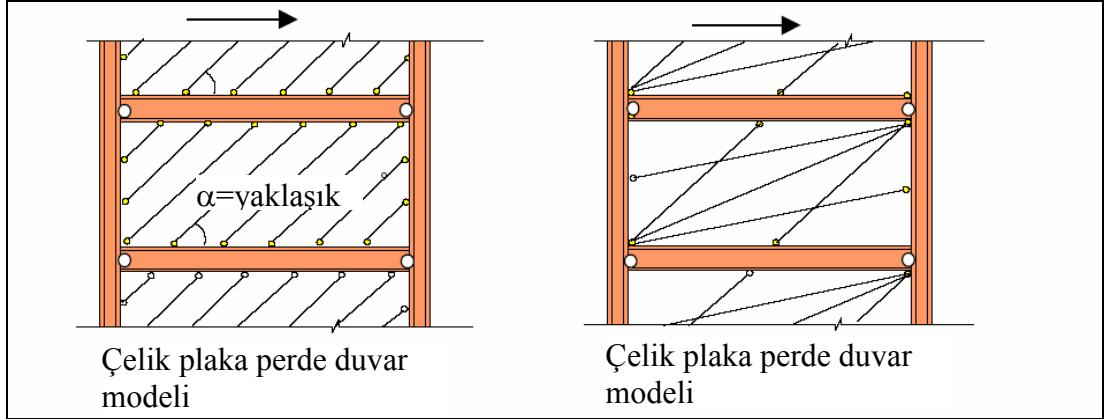
B. “Kompakt Olmayan” Çelik Perde Duvarlarının Modellenmesi:

Kompakt olmayan çelik perde duvarlarının elde edilen test sonuçları genellikle h/t_w 'si, $\lambda_p = 1.10 \sqrt{k_v E / F_{yw}}$ 'den çok büyük perde duvarlarıdır. Birçok berkitilmemiş çelik plaka perde duvarı (h/t_w 'si, $\lambda_e = 3.53 \sqrt{k_v / F_{yw}}$ 'den büyük) döngüsel yükler altında test edildi. h/t_w 'si, λ_p ve λ_e arasında olan perde numuneleri üzerine daha fazla döngüsel test uygulanana kadar, bu bölümde özetlenen yöntem, sadece h/t_w 'si, λ_e 'den büyük olan berkitilmemiş perde duvarlarına uygulanabileceği göz önüne alınmalıdır.

Narin perde duvarlarında, çelik plakaların, göreceli olarak küçük kesme kuvvetleri altında basınç diyagonalı boyunca burkulması beklenir. Burkulmadan sonra, çekme bölgesinin çekme bölgesi hareketi, duvardaki kesme kuvvetini karşılayacak ilk mekanizma olarak belirir. Bu davranış analizde, burkulabilen kabuk elemanları kullanan perde duvarlarını modelleyerek hesaplanmalıdır. Eğer analiz yazılımı, kabukların burkulmasını hesaplayabilecek kapasiteye sahip değilse, perde duvarların diyagonal basıncını simule etmek için, tam kabuk elemanlar ve anizotropik malzeme kullanılarak modellenenlerdir. Anizotropik malzeme kullanılması, analizi yapan kişiye şunu sağlamaktadır: duvarın üç ana doğrultusunda farklı elastisite modülü ve kesme modülü atamak. Örnek olarak, diyagonal basınç, diyagonal çekmenin burkulma kapasitesine oranla daha az rijitliğe sahip olacaktır ve daha az kesme kuvveti çekecektir. Şu önerilir: duvar, her bir panel başına en az 16 kabuk elemanı (4x4 ızgara) kullanılarak modellenir. Duvarın kesiti üzerine etki eden kesme kuvveti V , kabuk elemanlardaki kesmeyi toplayarak hesaplanabilir. Bu uygulanmış kesme kuvveti, duvardaki talebi göstermektedir ve duvarın kesme kapasitesinden küçük veya eşit olmalıdır.

Eğer analiz yazılımı, anizotropik veya en azından ortotropik kabuk elemanlara sahip değilse, çelik plakalar, çekme bölgesi boyunca bir seri çubuk elemanlar ile yer değiştirilebilir. Kanada'daki araştırmacılar, bu amaç için **Şekil 4.40**'da gösterilen iki

tane model önermişlerdir. Bu modeller üzerine daha fazla bilgi için şekil üzerinde verilmiş referanslara bakabilirsiniz.



Şekil 4.40: Perde duvarları ile yer değiştirebilecek önerilen iki çubuk elman modeli

[20]

5. SAYISAL ÖRNEKLER

5.1. Yapıların Tanıtılması

Yapılar 324m^2 ($18\text{m} \times 18\text{m}$) alanlı, üç gruptan oluşan I. grup yapılar 5, II. grup yapılar 10, III. grup yapılar 15 katlı ofis binalarıdır. Bir katın yüksekliği $3,7\text{m}$ 'dir. Toplam yükseklikler sırasıyla $18,5\text{m}$, 37m , $55,5\text{m}$ 'dir. Taşıyıcı sistemde çerçeve aralığı 6m olup, 3 açıklıktan oluşmaktadır. Kenar akslardaki orta açıklıklara çapraz elemanlar ve plaka perde duvarlar yerleştirilecektir (bkz. **Şekil 5.1**). I. grupta 4, II. grupta 4, III. grupta 7 olmak üzere toplam 15 adet yapı incelenecektir.

Taşıyıcı sistem HE ve IPE profillerinden oluşturulacaktır ve her katta rijit diyafram olarak çalışan betonarme döşemeler oluşturulacaktır. Kullanılacak çelik cinsi, ST52'dir. (akma dayanımı, $\sigma_y=3,6 \text{ ton/cm}^2$)

Bölgenin ve yapıların depremselliğine ilişkin özellikler bakımından; yapılar yerel zemin sınıfı Z1 olan, 1. deprem bölgesinde bulunmaktadır.

Tablo 5.1: Yapıların tanıtılması

		TAŞIYICI SİSTEM ŞEKLİ	KISLATMA	YÜKSEKLİK
I. GRUP	5 KATLI	Merkezi	5KM	18,5m
		Merkezi (R=3)	5KM(R=3)	
		Dış Merkezi	5KDM	
		Plakalı	5KP	
II. GRUP	10 KATLI	Merkezi	10KM	37m
		Merkezi (R=3)	10KM(R=3)	
		Dış Merkezi	10KDM	
		Plakalı	10KP	
III. GRUP	15 KATLI	Merkezi V1	15KMOV1	55,5m
		Merkezi V2	15KMOV2	
		Merkezi V2(R=3)	15KMOV2(R=3)	
		Dış Merkezi V2	15KDMV2	
		Plakalı	15KP	
		Plakalı V1	15KPV1	
		Plakalı V2	15KPV2	

Hesaplamalarda kullanılacak olan şartnameler; ABBYYHY, TS 498, TS 648, AISC, UBC.

Kısaltmalar;

- K: Katlı
- M: Merkezi
- DM: Dış Merkezi
- P: Plakalı
- (R=3): Süneklik Düzeyi Normal
- V1: 8. Katta eklenmiş çapraz elemanlar veya plakalar
- V2: 8 ve 15. Katlarda eklenmiş çapraz elemanlar veya plakalar

5.2 Yapılacak Olan Elastik Analizle ilgili Genel Bilgiler ve Kabuller

Elastik analizler SAP2000 V.8 programı ile yapılmıştır. Yapıların güçlü çerçevelerine bağlanan kirişler mafsallı olarak modellenmiştir. Yapılar 3 boyutlu olarak modellenip, deprem yükleri, rijitlik merkezi ve kütle merkezi aynı noktada olduğu için %5'lik kaydırılmış kütle merkezlerine etkilmiştir. İnceleme sonucunda yapıların taşıyıcı sistem ağırlıkları ve yer değiştirme oranları karşılaştırılacaktır.

- Ofis binaları için hareketli yük katılım katsayısı $n=0,3$
- Kar yüklerinin %30'u sabit yük olarak göz önüne alınacaktır.
- 1. derece deprem bölgesi için etkin yer ivmesi katsayısı $A_0=0,40$
- Yerel zemin sınıfı Z1 için, spektrum karakteristik periyotları $T_A=0,1 \text{ san.}$ ve $T_B=0,3 \text{ san.}$
- Ofis binaları için, bina önem katsayısı $I=1$ (işyeri türü yapılar)
- $R=3$ (Süneklik Düzeyi Normal Merkezi Çaprazlı Yapılar için, ABBYYHY'den)
- $R=6,4$ (Süneklik Düzeyi Yüksek Merkezi Çaprazlı Yapılar için-UBC'deki tablo 16-N'den alınmıştır.)
- $R=7$ (Dış Merkezi Çaprazlı Yapılar için, ABBYYHY'den)
- $R=6$ (Plaka Perde Duvarlı Yapılar için-tahmini)

5.3 Yapılara Etkiyecek Düşey Yüklerin Hesaplanması

Yapılara etkiyecek düşey yüklerin hesaplanmasına ilişkin bilgiler **EK A**'da verilmiştir.

5.4 Deprem Yüklerinden Oluşacak Yatay Yüklerin Hesaplanması

ABYYHY'lik maddelerine göre deprem yüklerinin hesaplanması **EK A**'da verilmiştir.

5.5 Rüzgar Yüklerinden Oluşacak Yatay Yüklerin Hesaplanması

TS498'de belirlenen rüzgar yüklerinin yapılara etkisinin yüksekliğe bağlı olarak değişiminden yararlanılarak yapı gruplarına etkitilmiştir. Yapıların zeminden yüksekliğe bağlı olarak etkiyen q_w , emme (hız) basıncı değerleri altta sunulmuştur.

	t/m^2	m
$q_w=$	0,05	$0 < H_N < 8$
$q_w=$	0,08	$8 < H_N < 20$
$q_w=$	0,011	$20 < H_N < 70$

C_p emme katsayısı TS498'de çizelge 6'ya göre kule tipi olmayan ve rüzgar etkisinin yüzeye dik olarak etkidiği kapalı yapılarda $C_p=1,2$ olarak verildiğinden C_p değeri 1,2 olarak alınmıştır. P_w rüzgar basıncı, kat yüksekliği ve binanın rüzgar etkisine maruz kaldığı yüzey genişliği ile çarpılarak her kata ait diyaframlara etkitildi. Rüzgar yüklerinin hesaplanması **EK A**'da verilmiştir.

5.6. Yapılara Uygulanan Yükleme Kombinasyonları:

Yapılara her iki doğrultuda deprem(E) ve rüzgar(W) yükleri etkitilmiştir.

- $H:G+Q$
- $HZ:G+Q \pm E$
- $HZ:G+Q \pm W$

Kısaltmalar:

G:Ölü Yükler

Q: Hareketli yükler

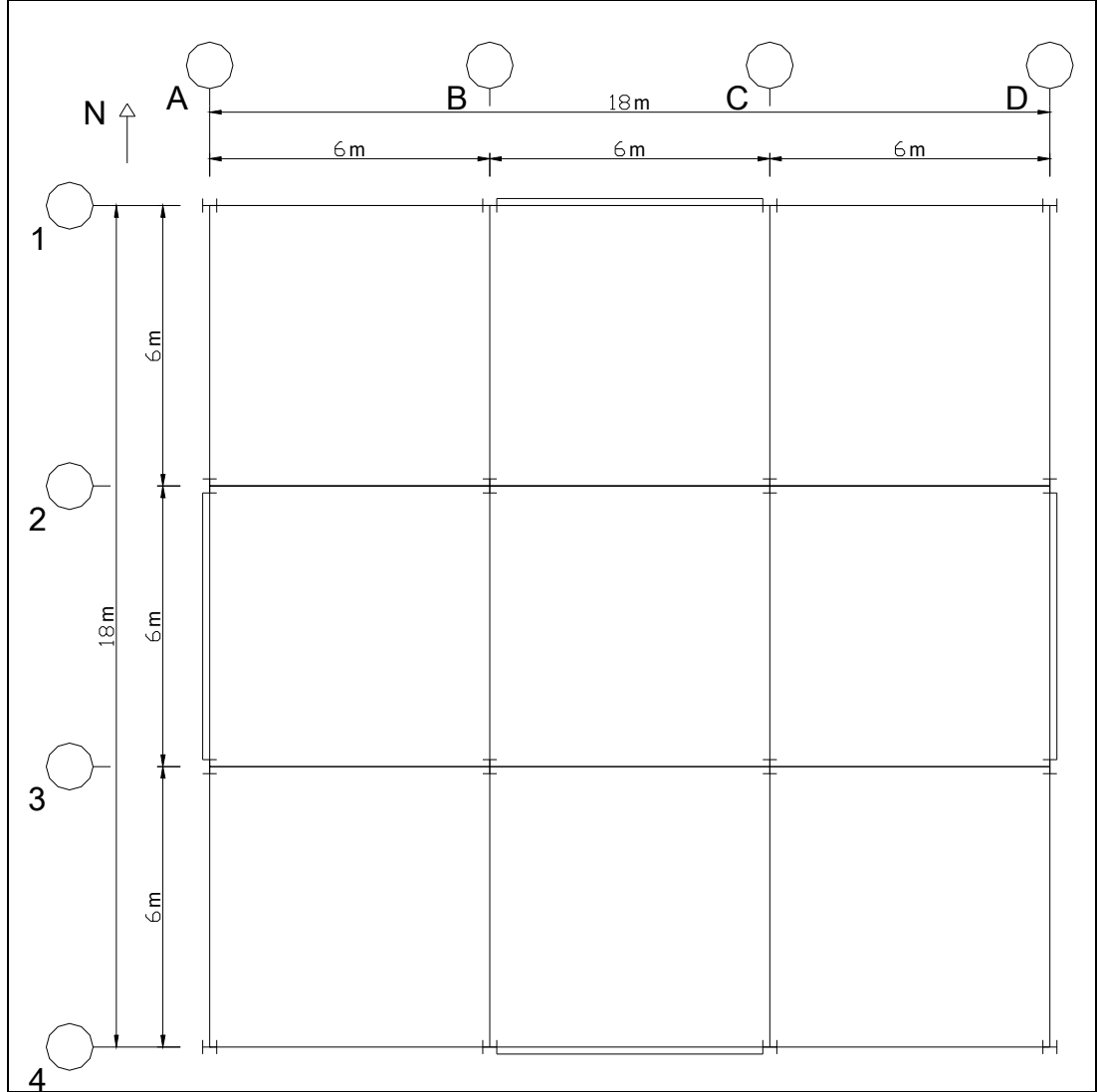
E:Deprem Yükleri

W: Rüzgar Yükleri

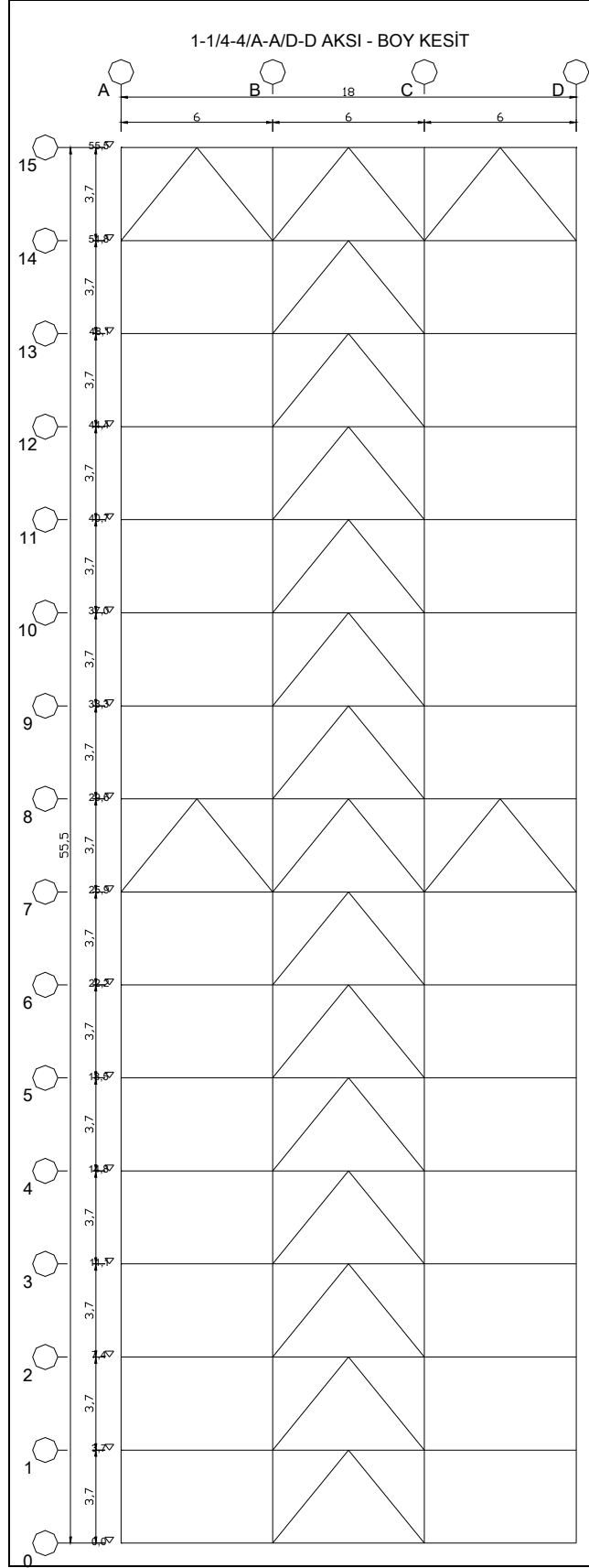
H: Düşey Yükler

HZ: Düşey Yükler+Yatay Yükler

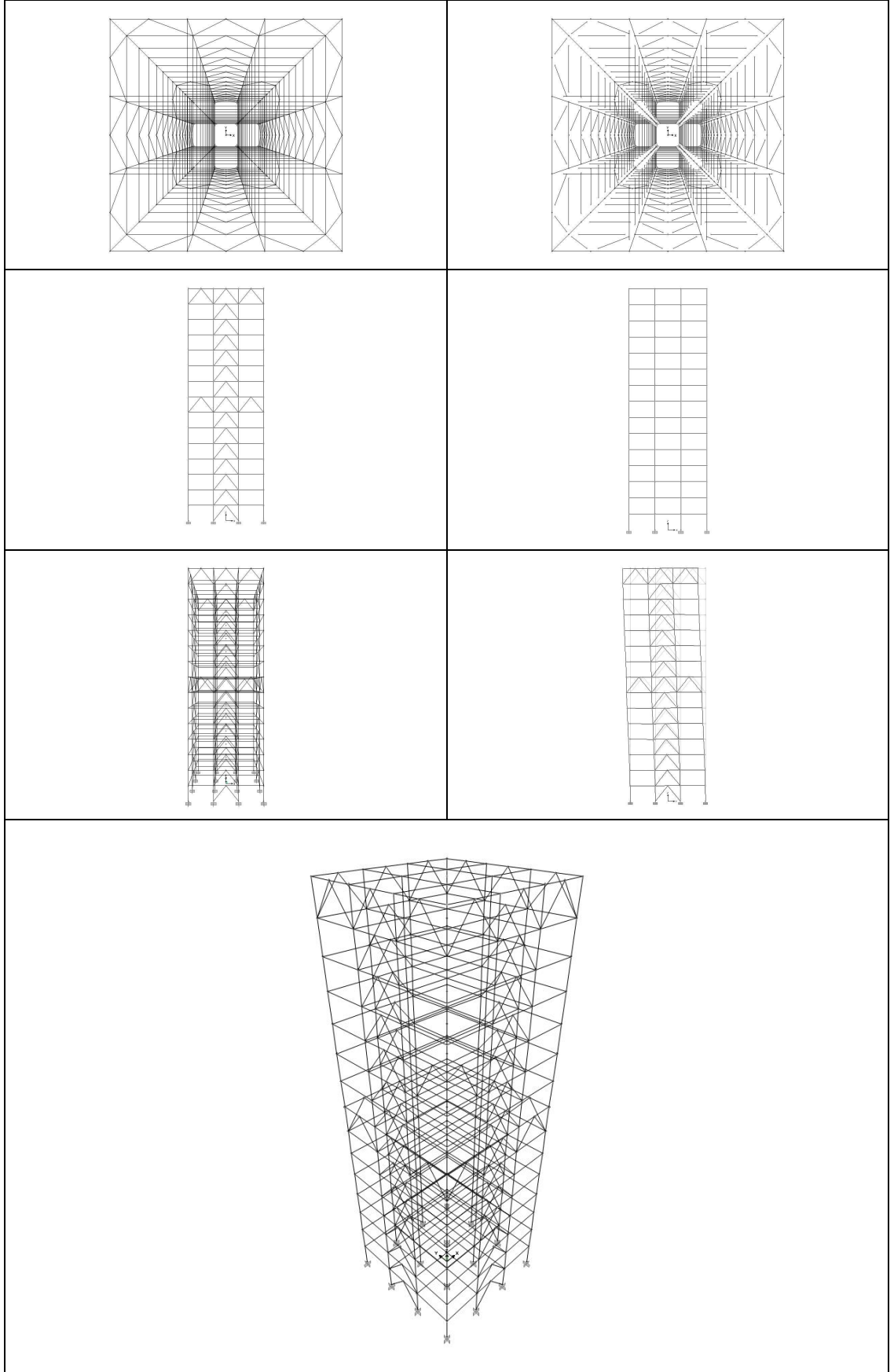
5.7 Yapıların Plan,Kesit ve Üç Boyutlu Modelleri



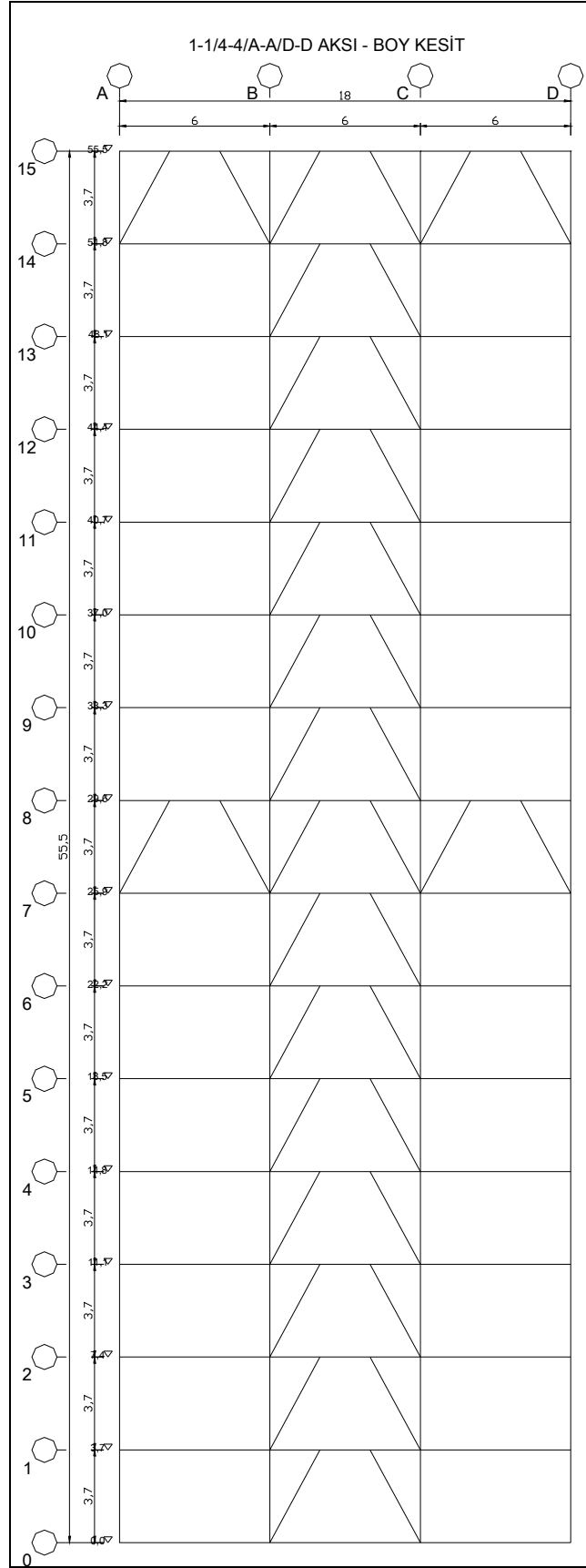
Şekil 5.1: Yapıların tipik kat planları



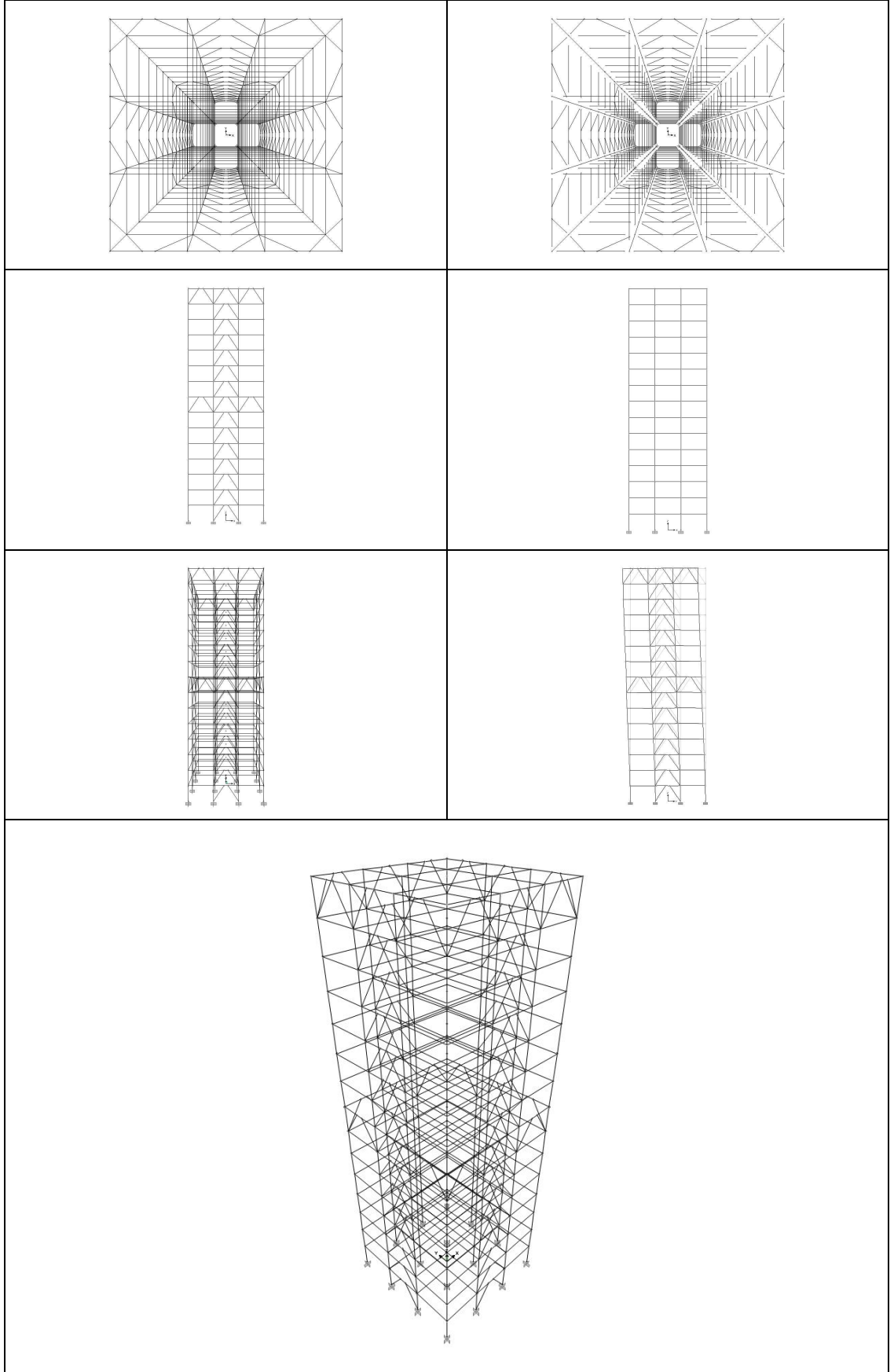
Şekil 5.2.a: (15KMV2)/(15KMV2(R=3))Merkezi çaprazlı 15 katlı yapının boy kesiti



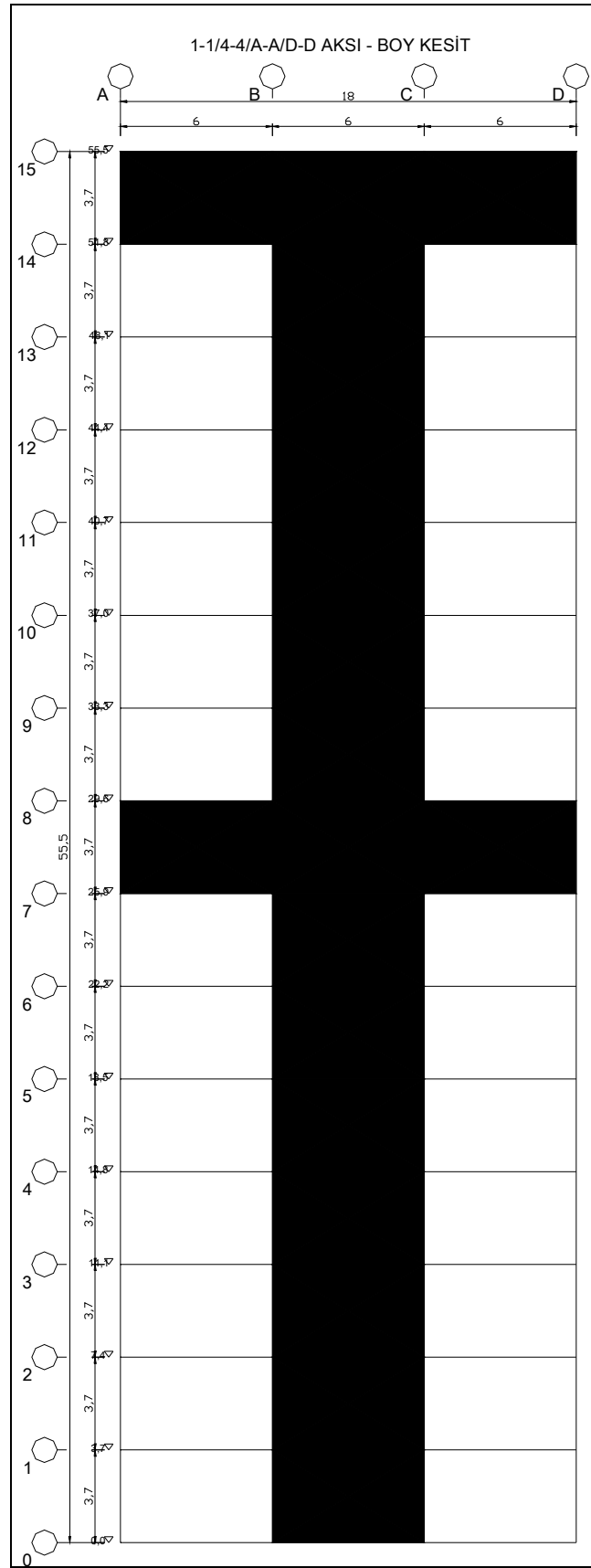
Şekil 5.2.b: 15KMV2/15KMV2(R=3) yapısının plan, görünüş, şekil değiştirmiş hali ve perspektifi.



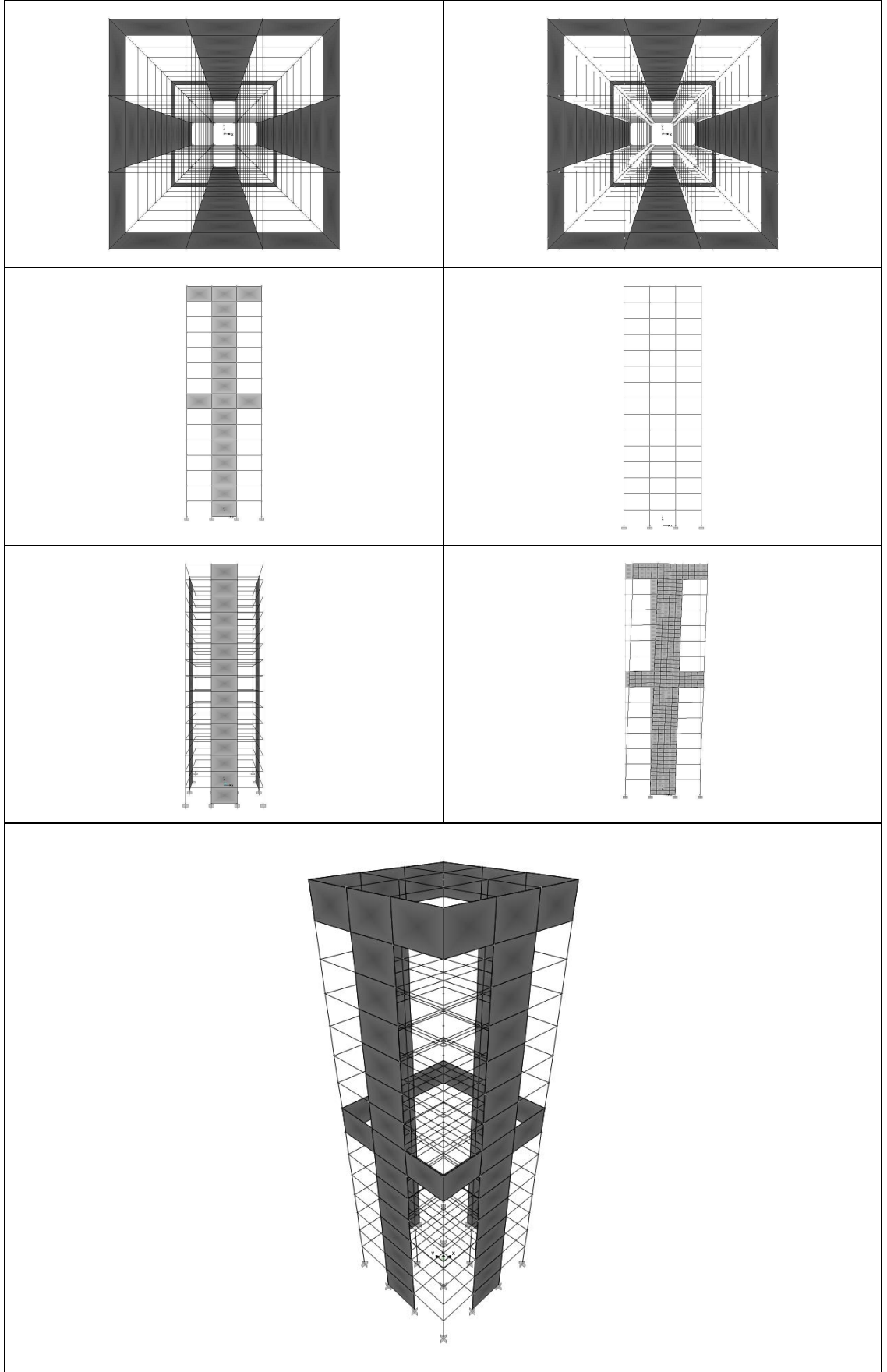
Şekil 5.3.a: (15KDMV2) Dış merkezi çaprazlı 15 katlı yapının boy kesiti



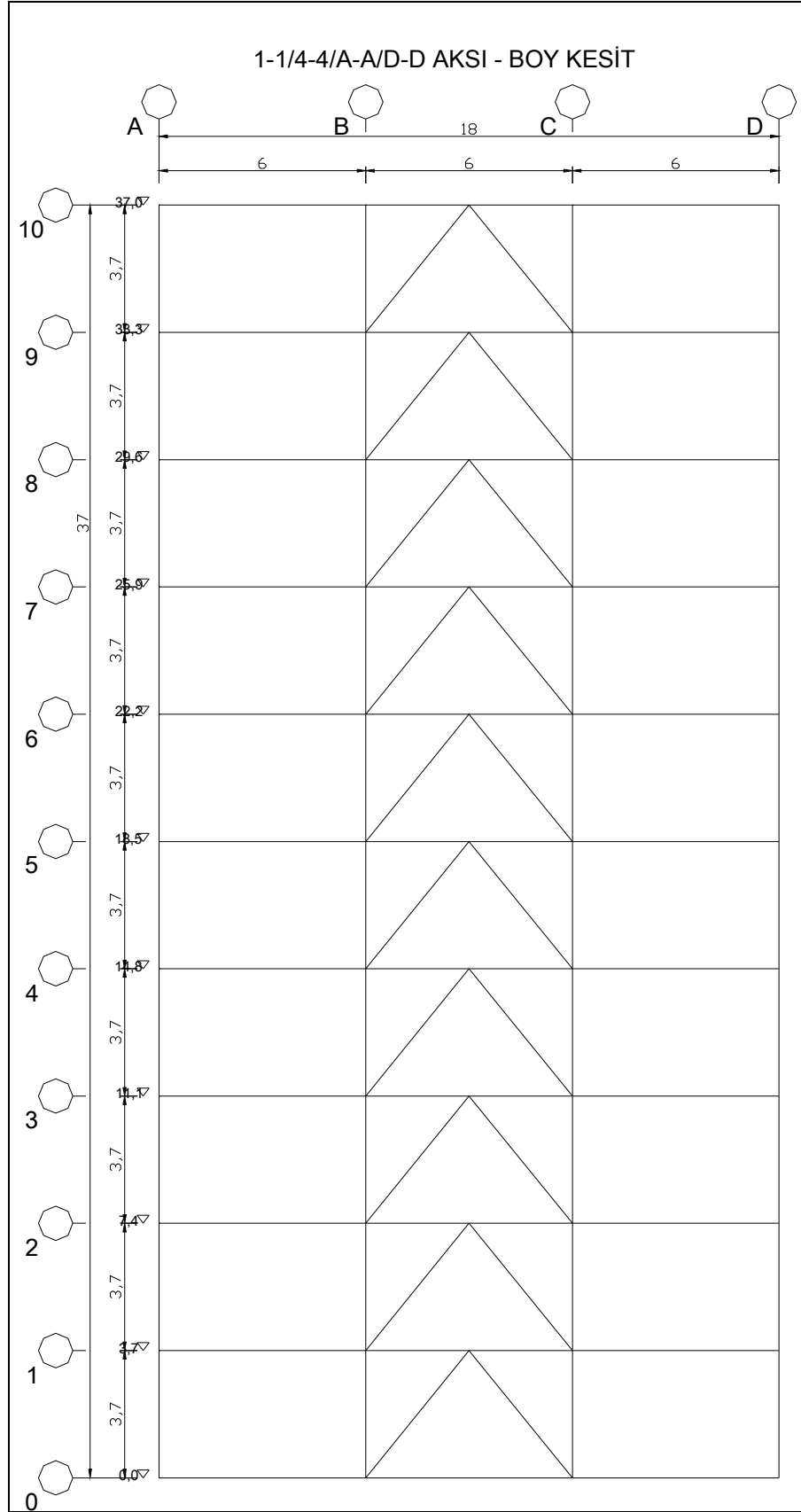
Şekil 5.3.b: 15KDMV2 yapısının plan, görünüş, şekil değiştirmiş hali ve perspektifi.



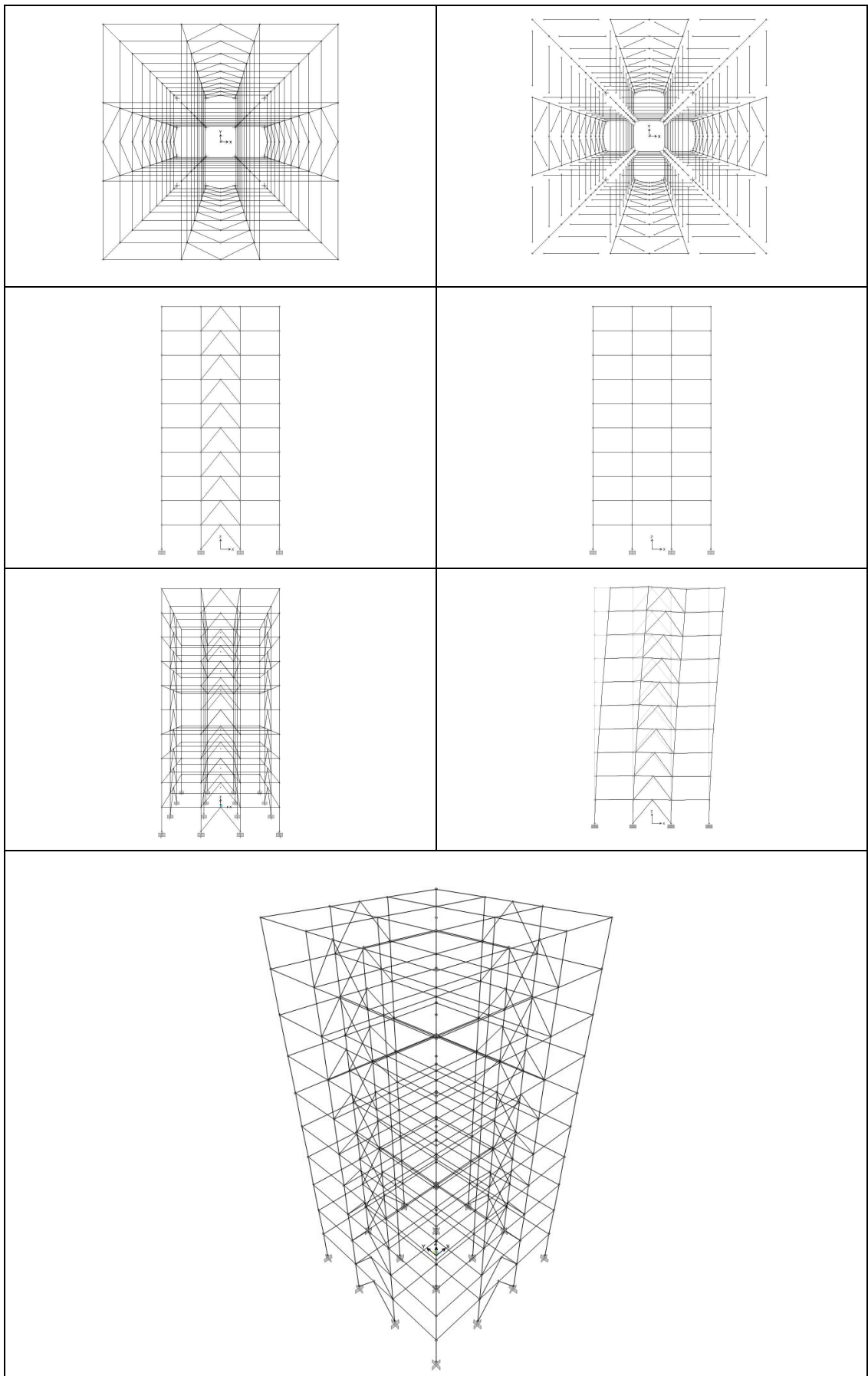
Şekil 5.4.a: (15KPV2) Plaka perdeli 15 katlı yapının boy kesiti



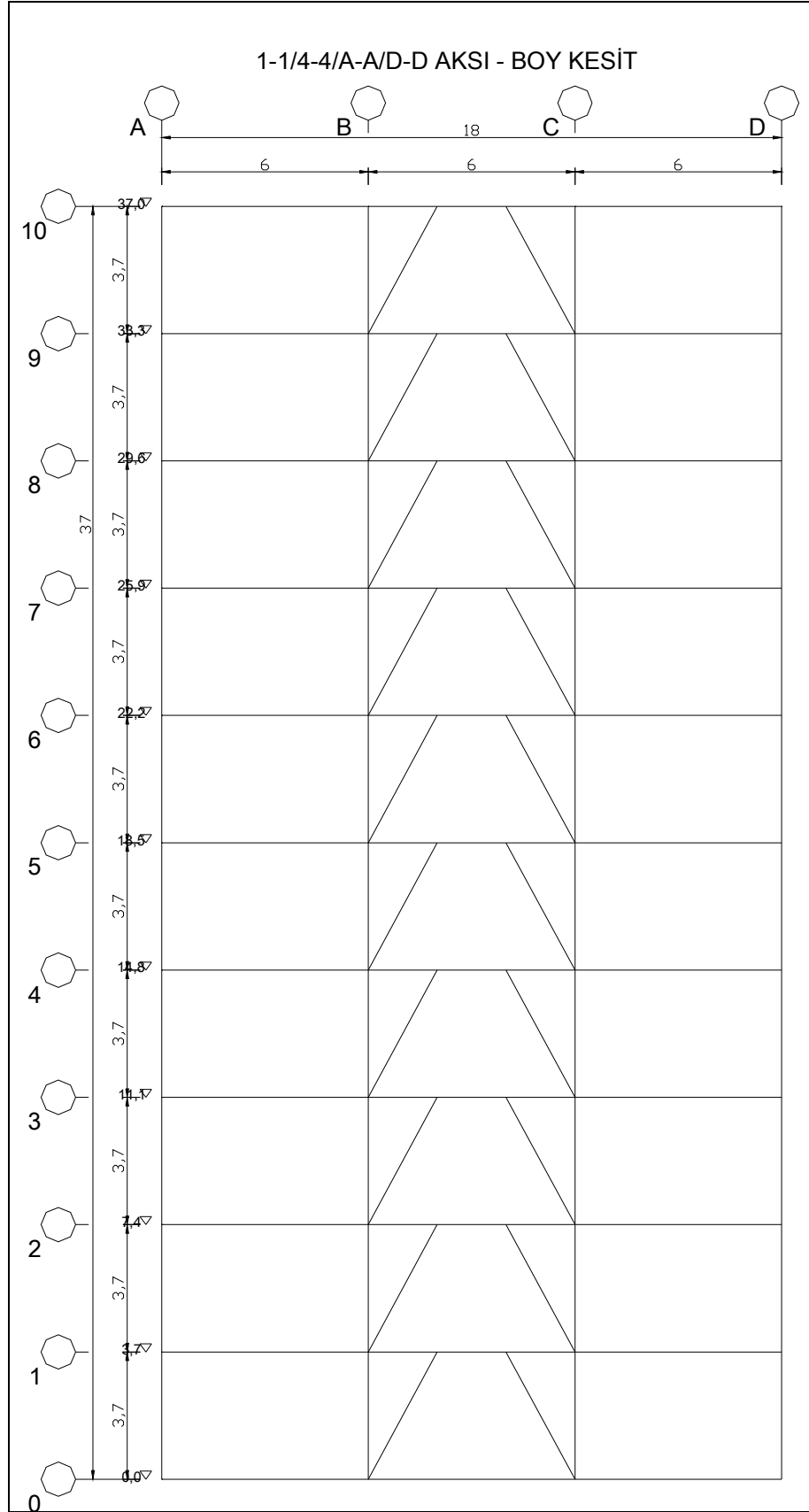
Şekil 5.4.b: 15KPV2 yapısının plan, görünüş, şekil değiştirmiş hali ve perspektifi.



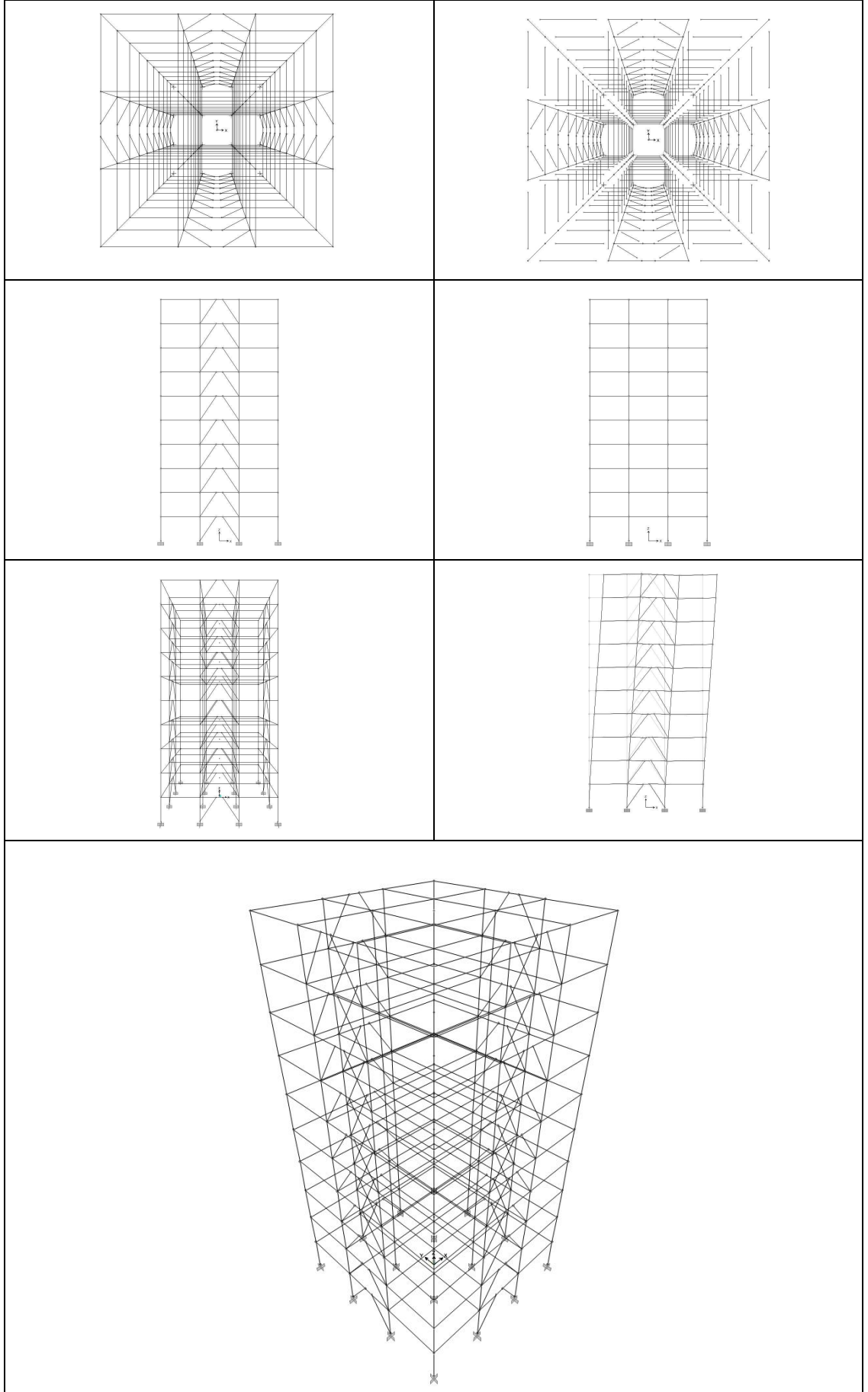
Şekil 5.5.a: (10KM)/(10KM(R=3))Merkezi çaprazlı 10 katlı yapının boy kesiti



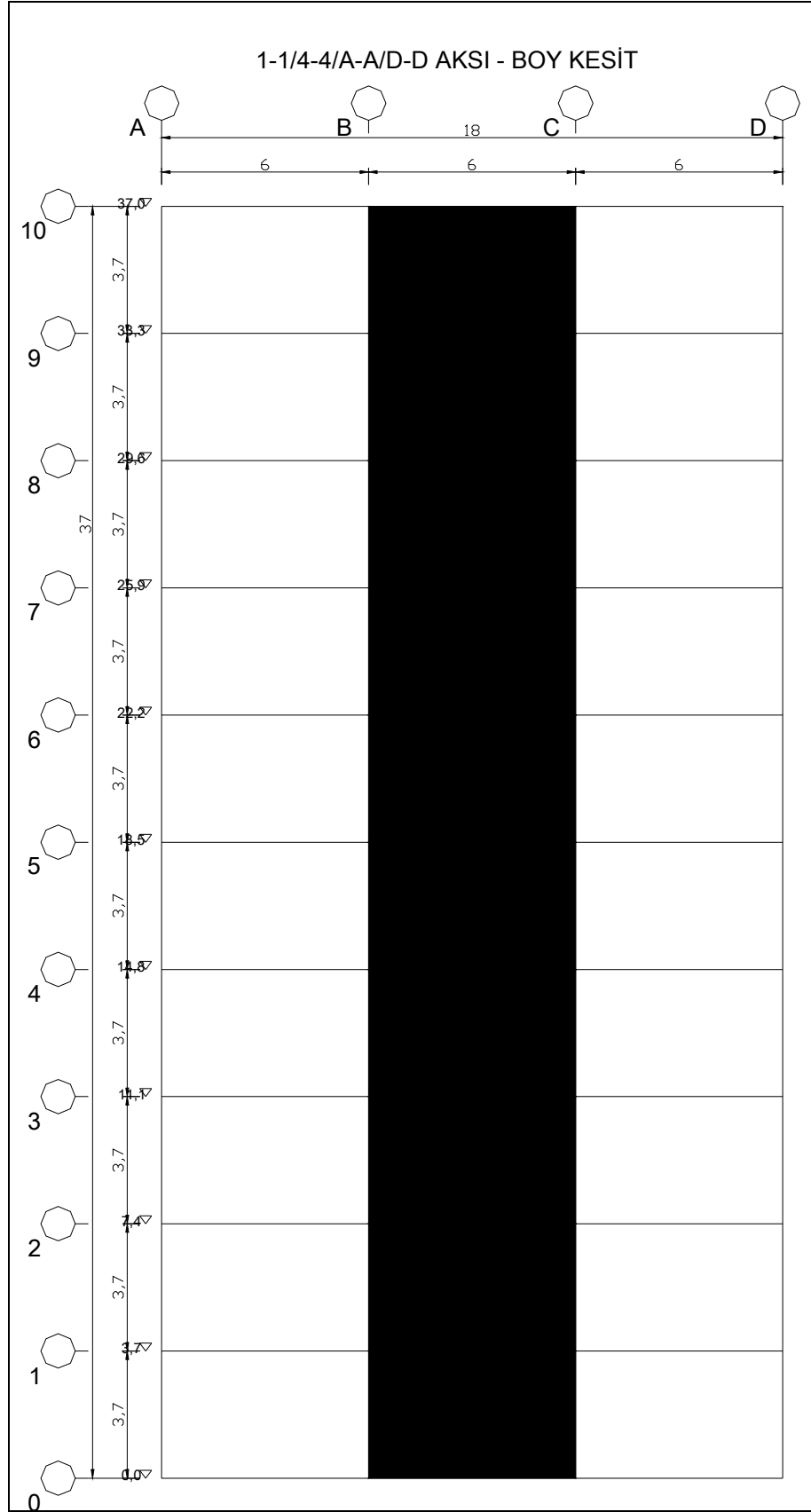
Şekil 5.5.b: 10KM/10KM(R=3) yapısının plan, görünüş, şekil değiştirmiş hali ve perspektifi.



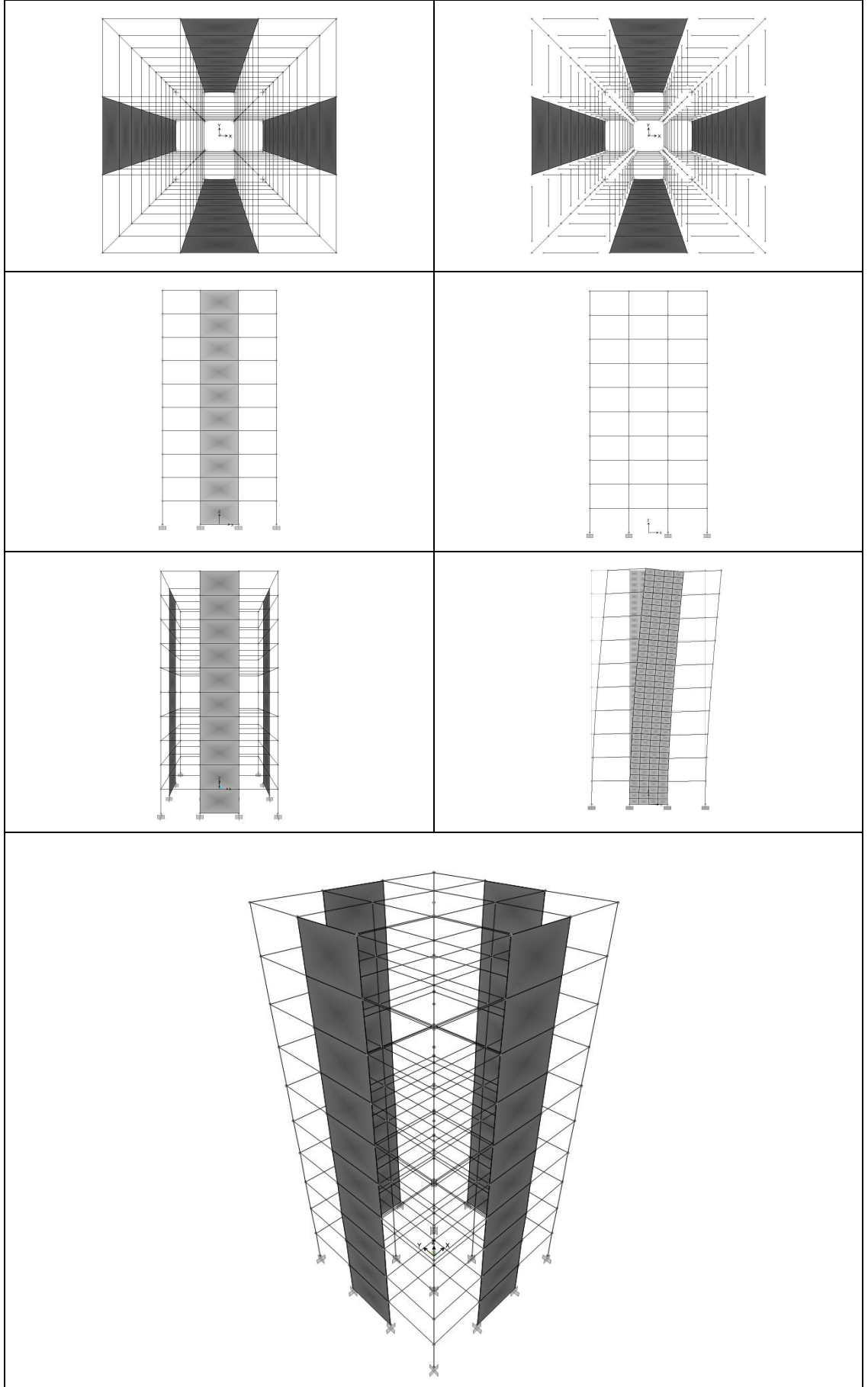
Şekil 5.6.a: (10KDM) Dış merkezi çaprazlı 10 katlı yapının boy kesiti



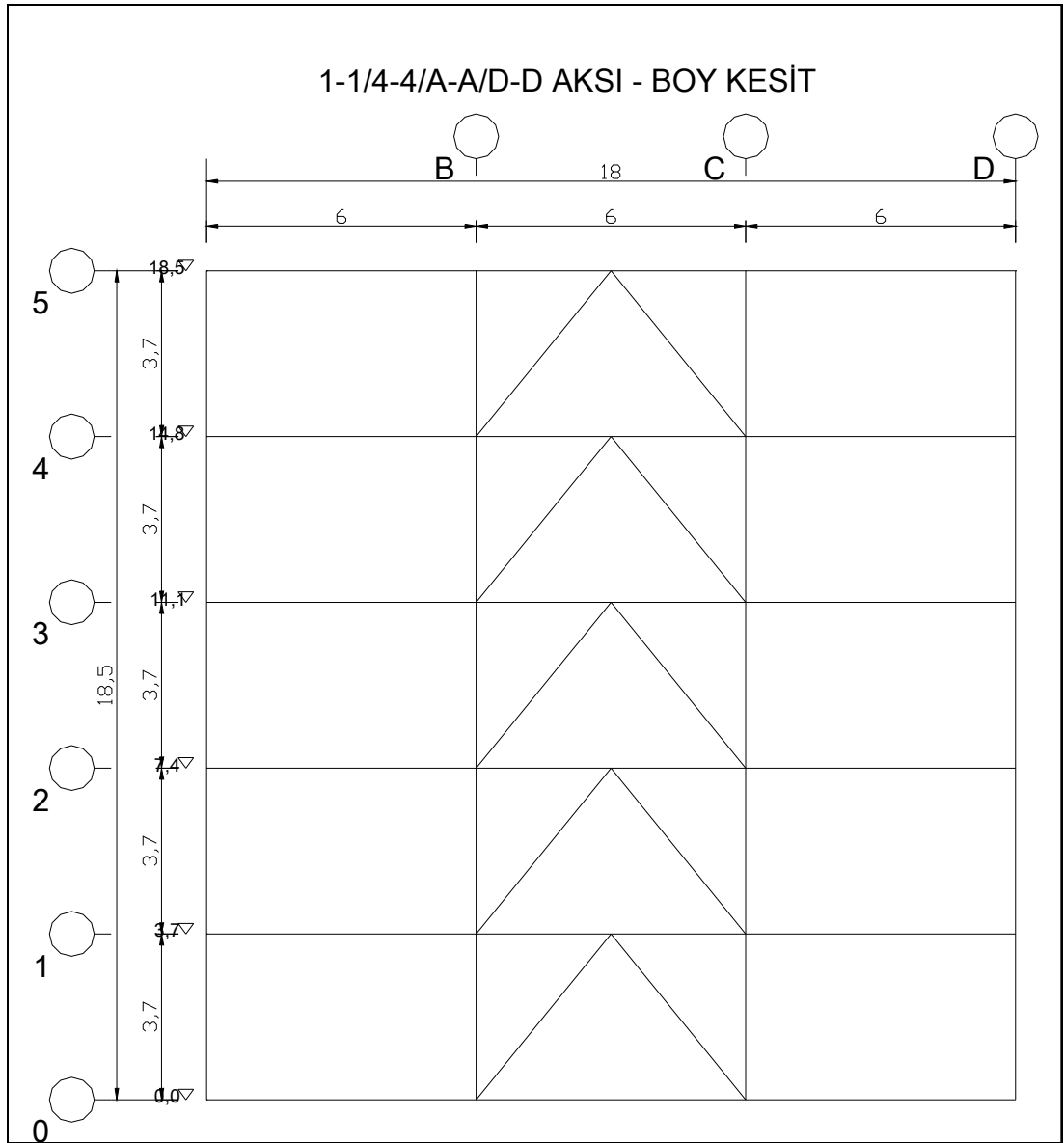
Şekil 5.6.b: 10KDM yapısının plan, görünüş, şekil değiştirmiş hali ve perspektifi.



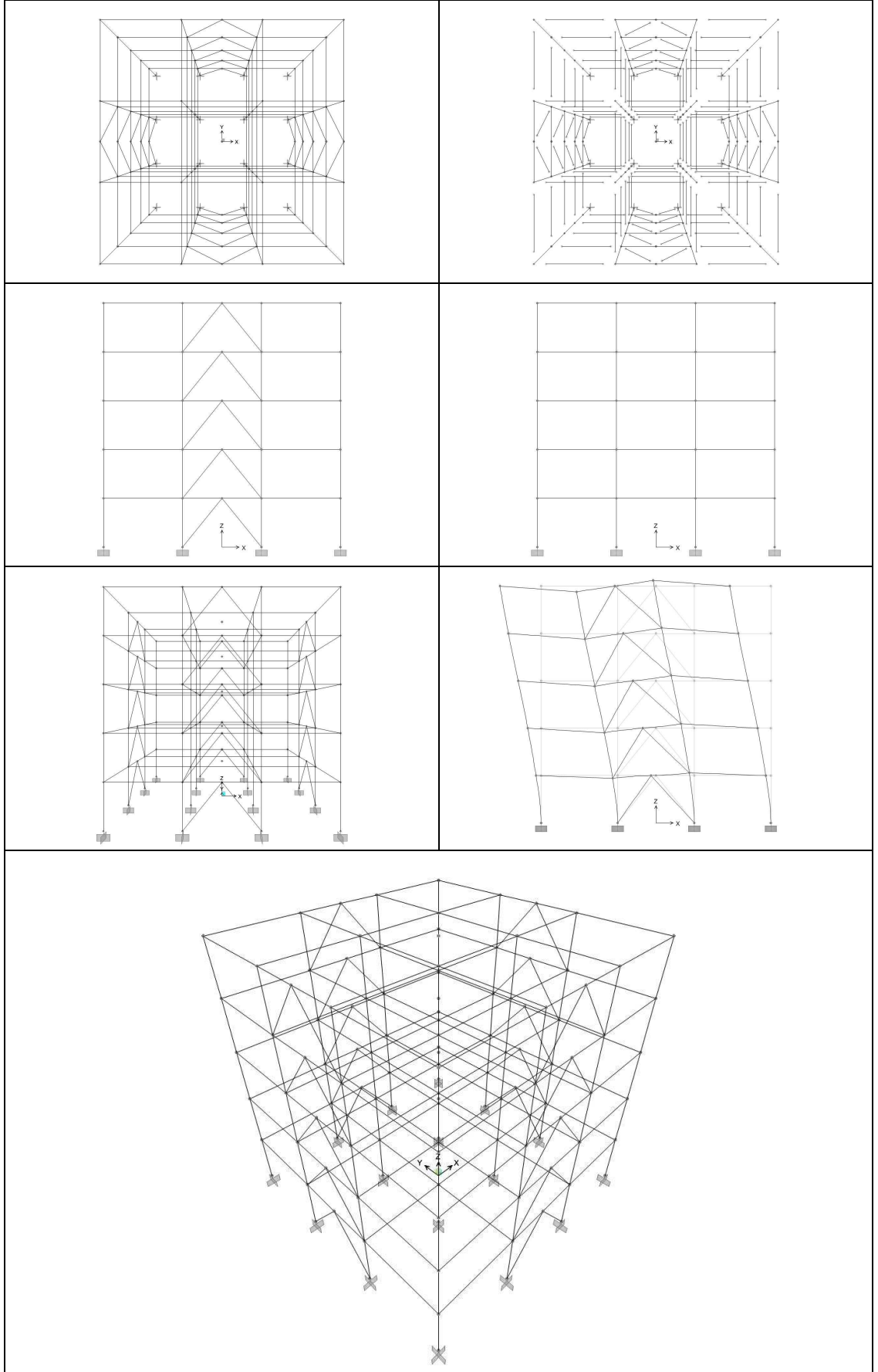
Şekil 5.7.a: (10KP) Plaka perdeli 10 katlı yapının boy kesiti



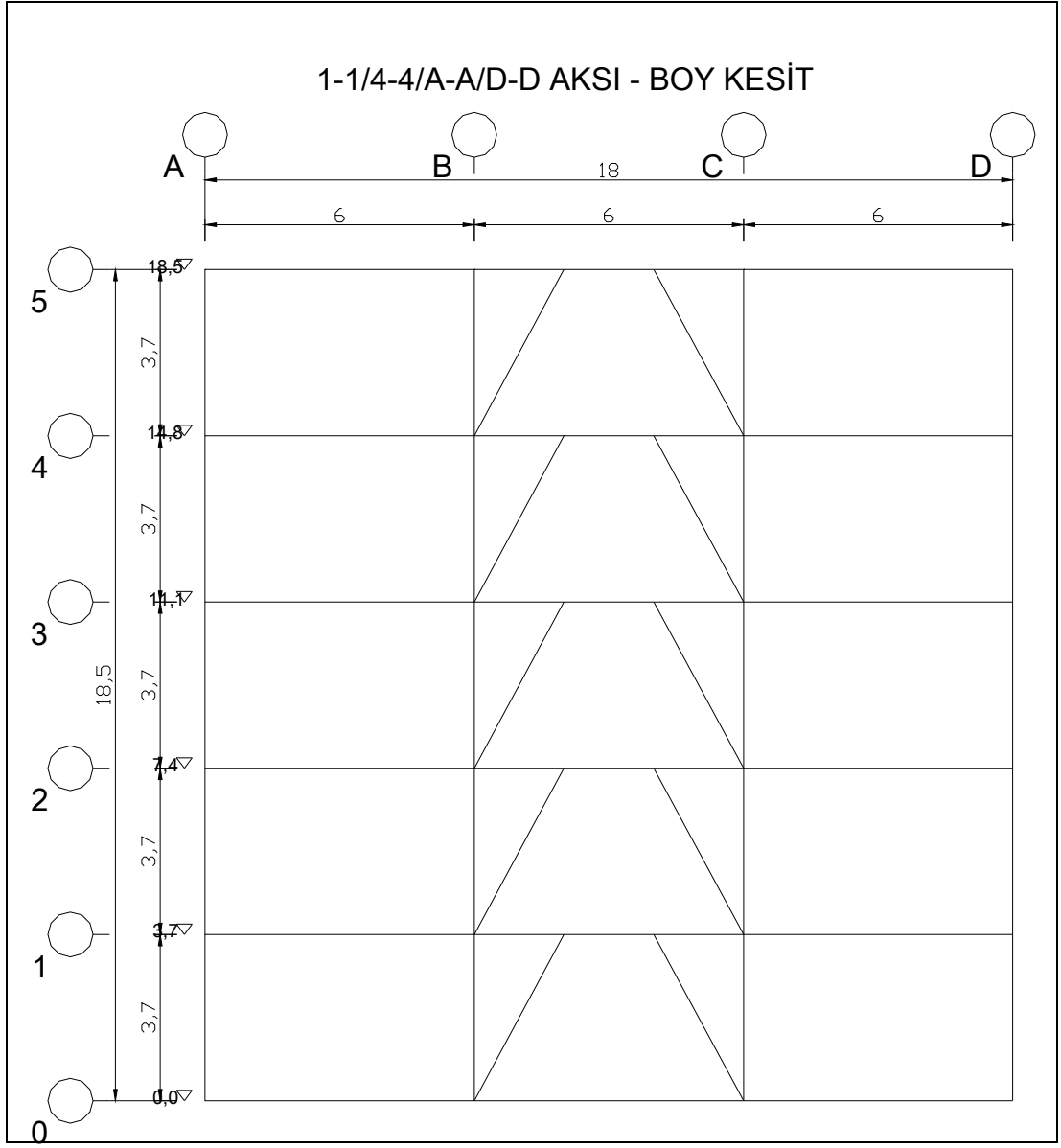
Şekil 5.7.b: 10KP yapısının plan, görünüş, şekil değiştirmiş hali ve perspektifi.



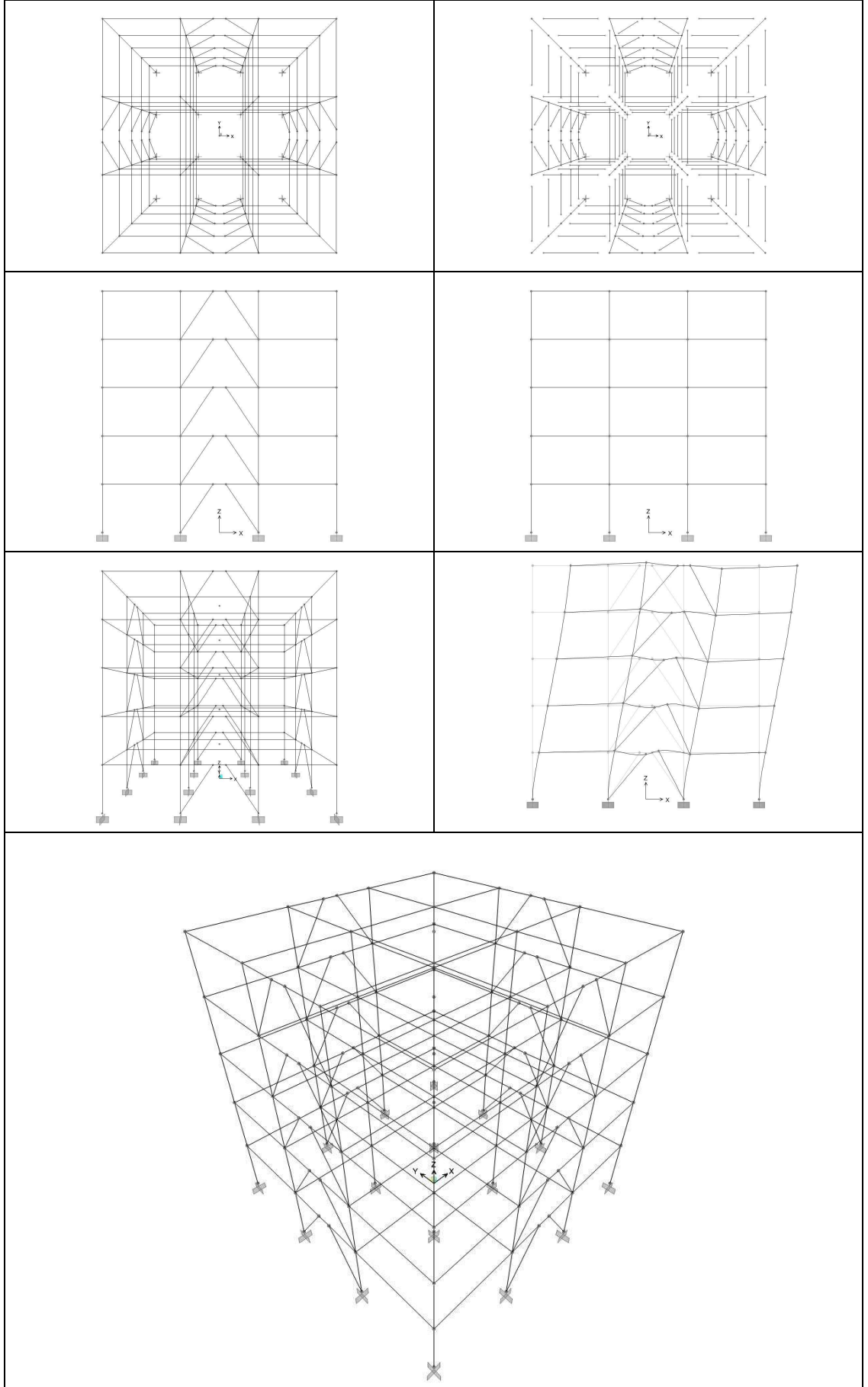
Şekil 5.8.a: (5KM)/(5KM(R=3)) Merkezi çaprazlı 5 katlı yapının boy kesiti



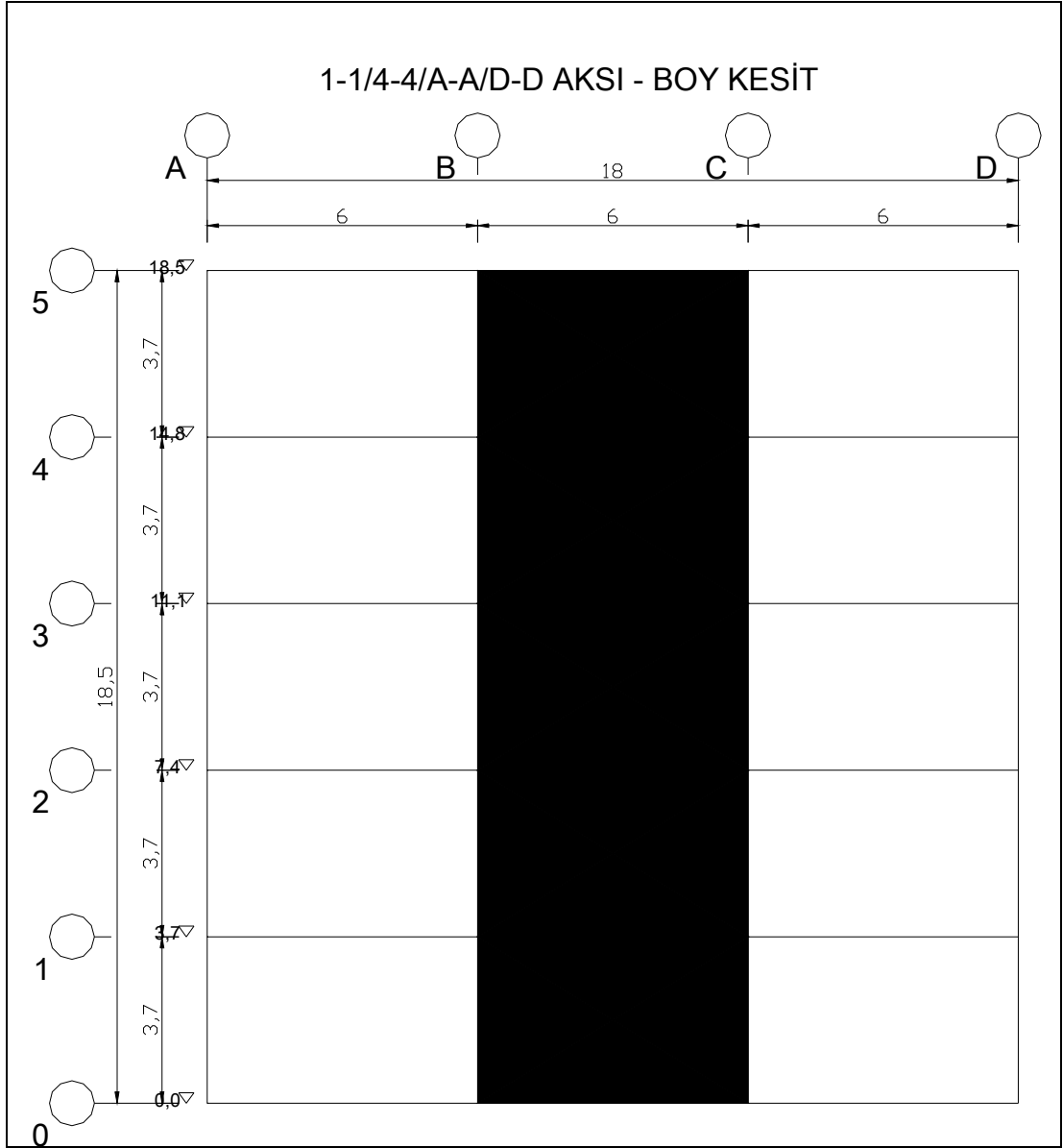
Şekil 5.8.b: 5KM/5KM(R=3) yapısının plan, görünüş, şekil değiştirmiş hali ve perspektifi.



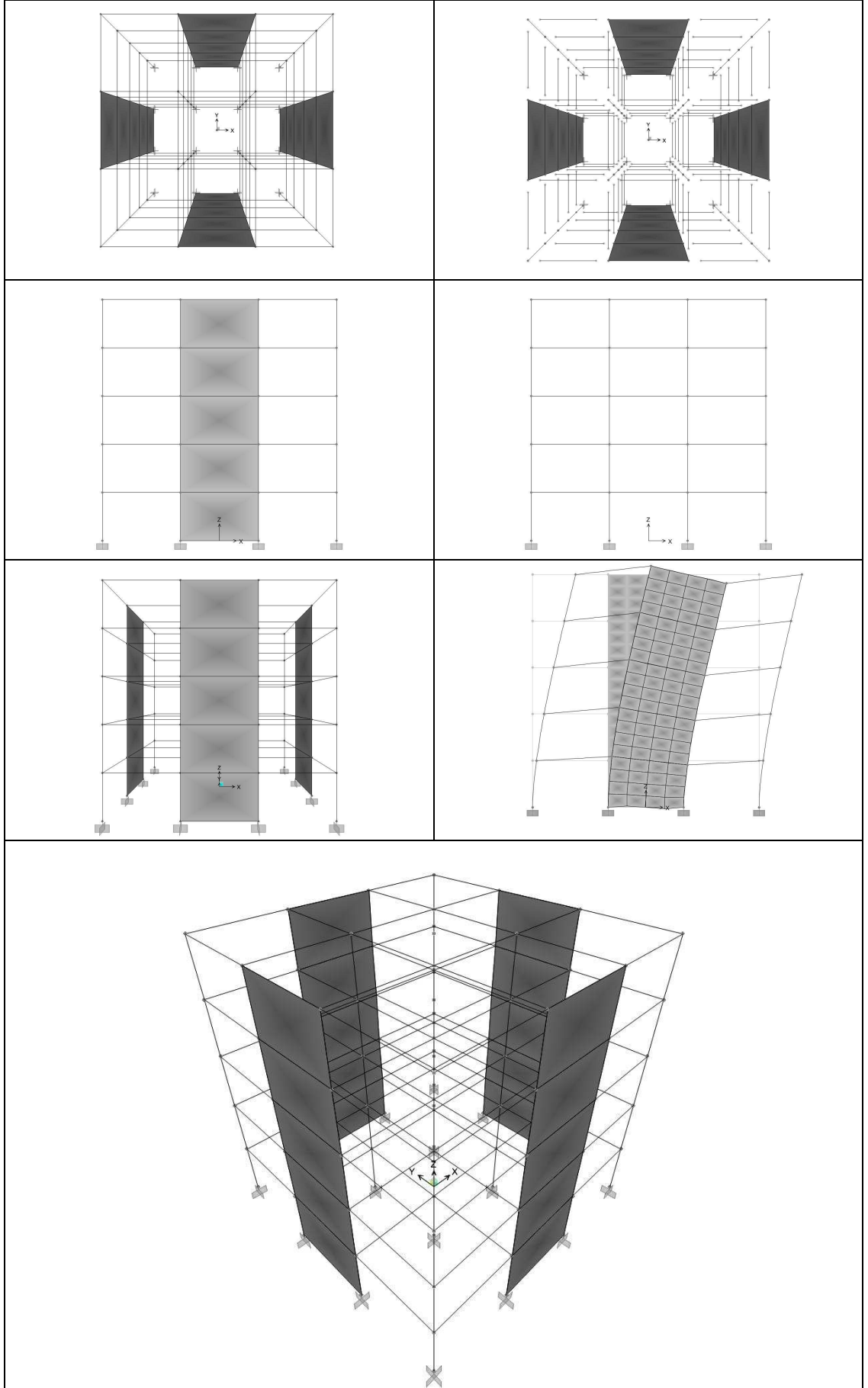
Şekil 5.9.a: (15KDM) Dış merkezi çaprazlı 5 katlı yapının boy kesiti



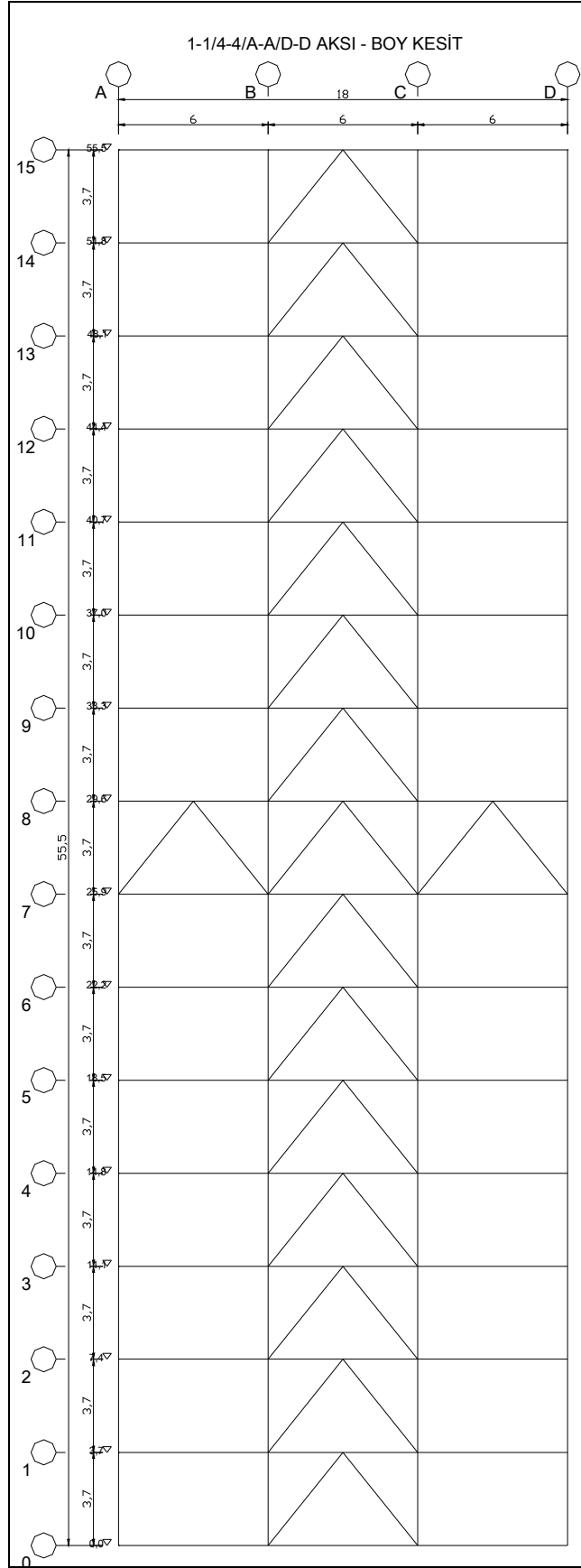
Şekil 5.9.b: 5KDM yapısının plan, görünüş, şekil değiştirmiş hali ve perspektifi.



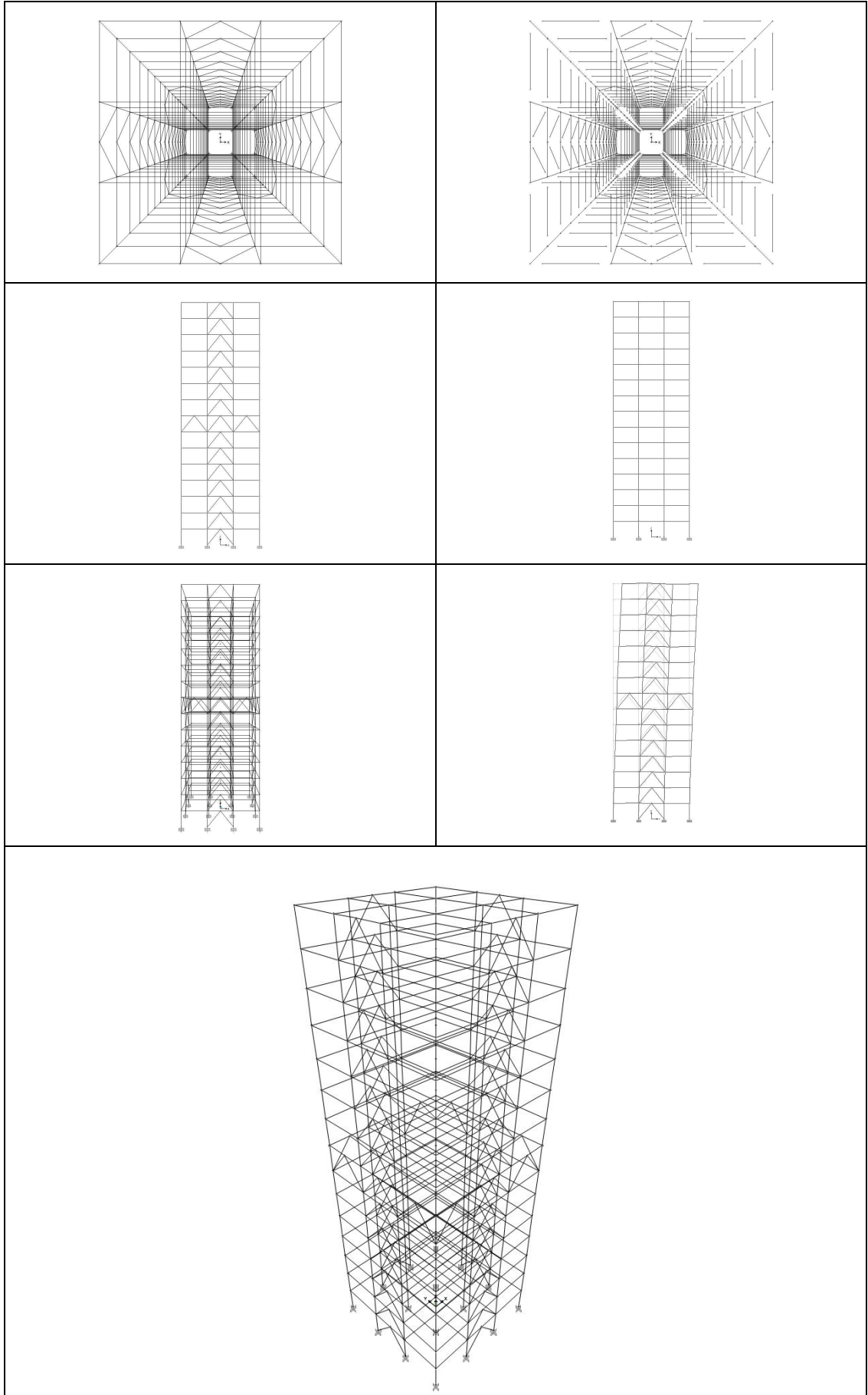
Şekil 5.10.a: (5KP) Plaka perdeli 5 katlı yapının boy kesiti



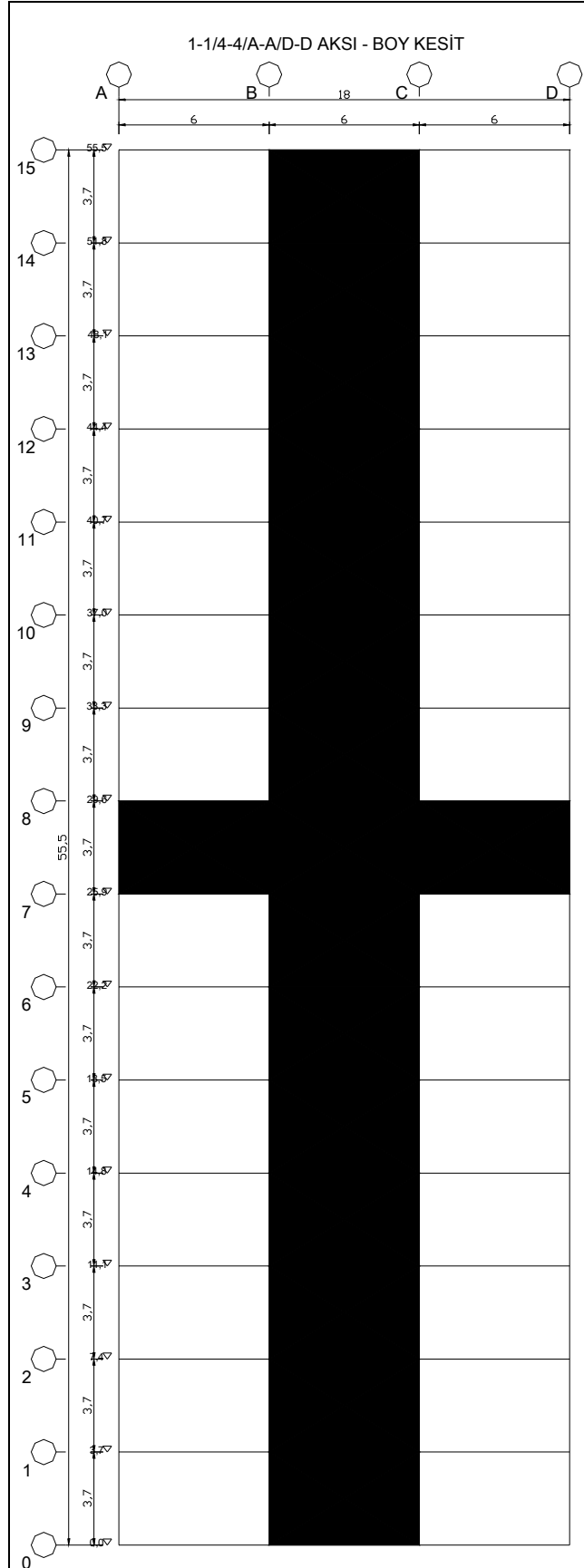
Şekil 5.10.b: 5KP yapısının plan, görünüş, şekil değiştirmiş hali ve perspektifi.



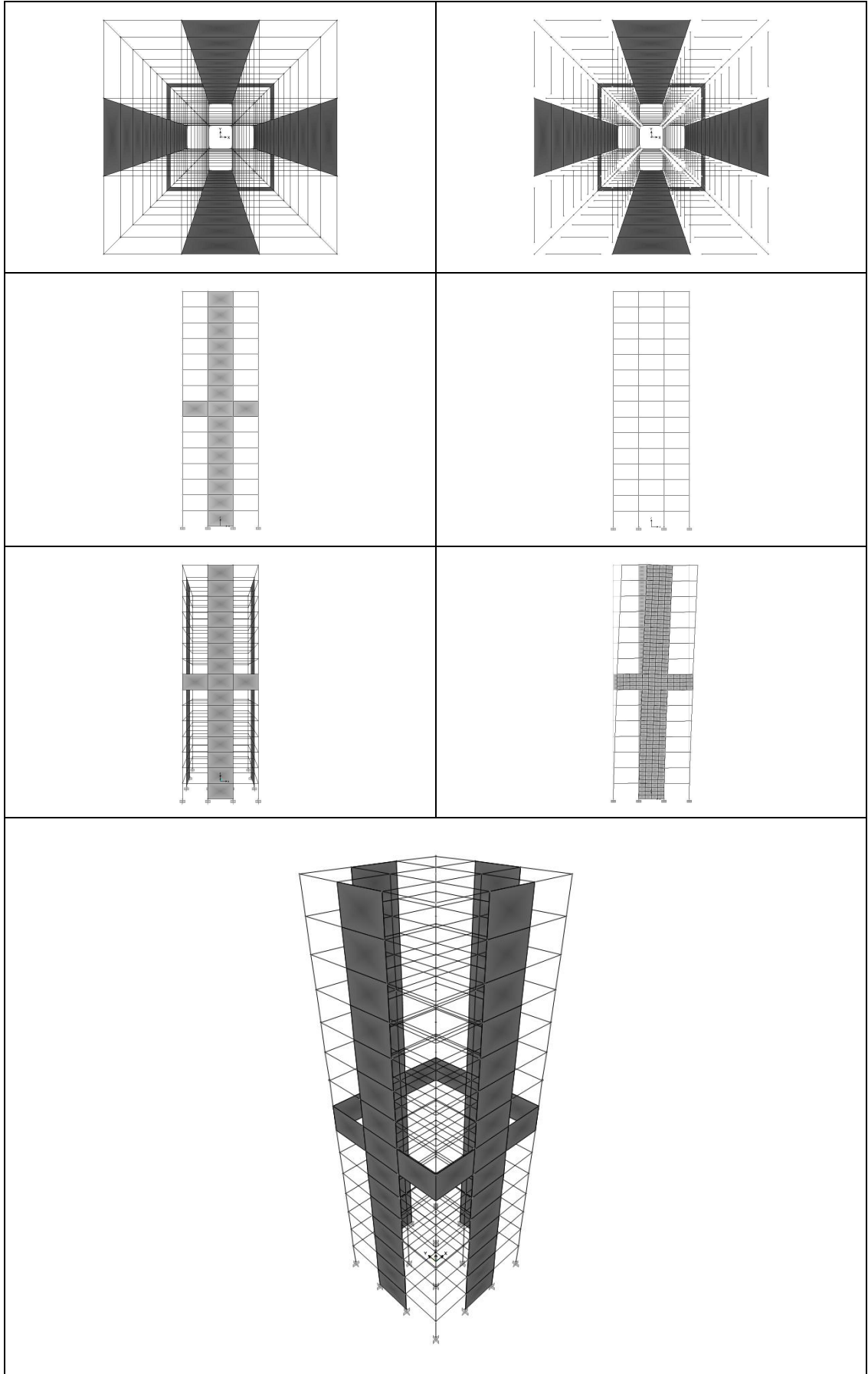
Şekil 5.11.a: (15KMV1) Merkezi çaprazlı 15 katlı yapının boy kesiti



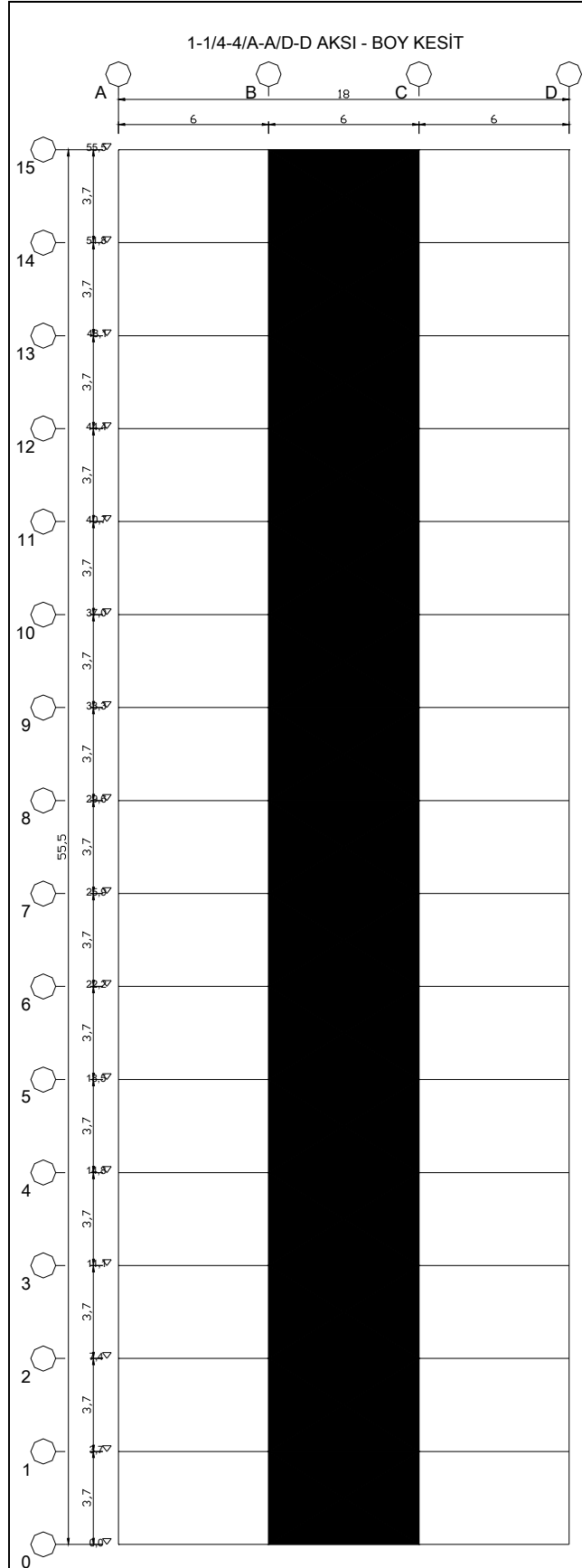
Şekil 5.11.b: 15KMV1 yapısının plan, görünüş, şekil değiştirmiş hali ve perspektifi



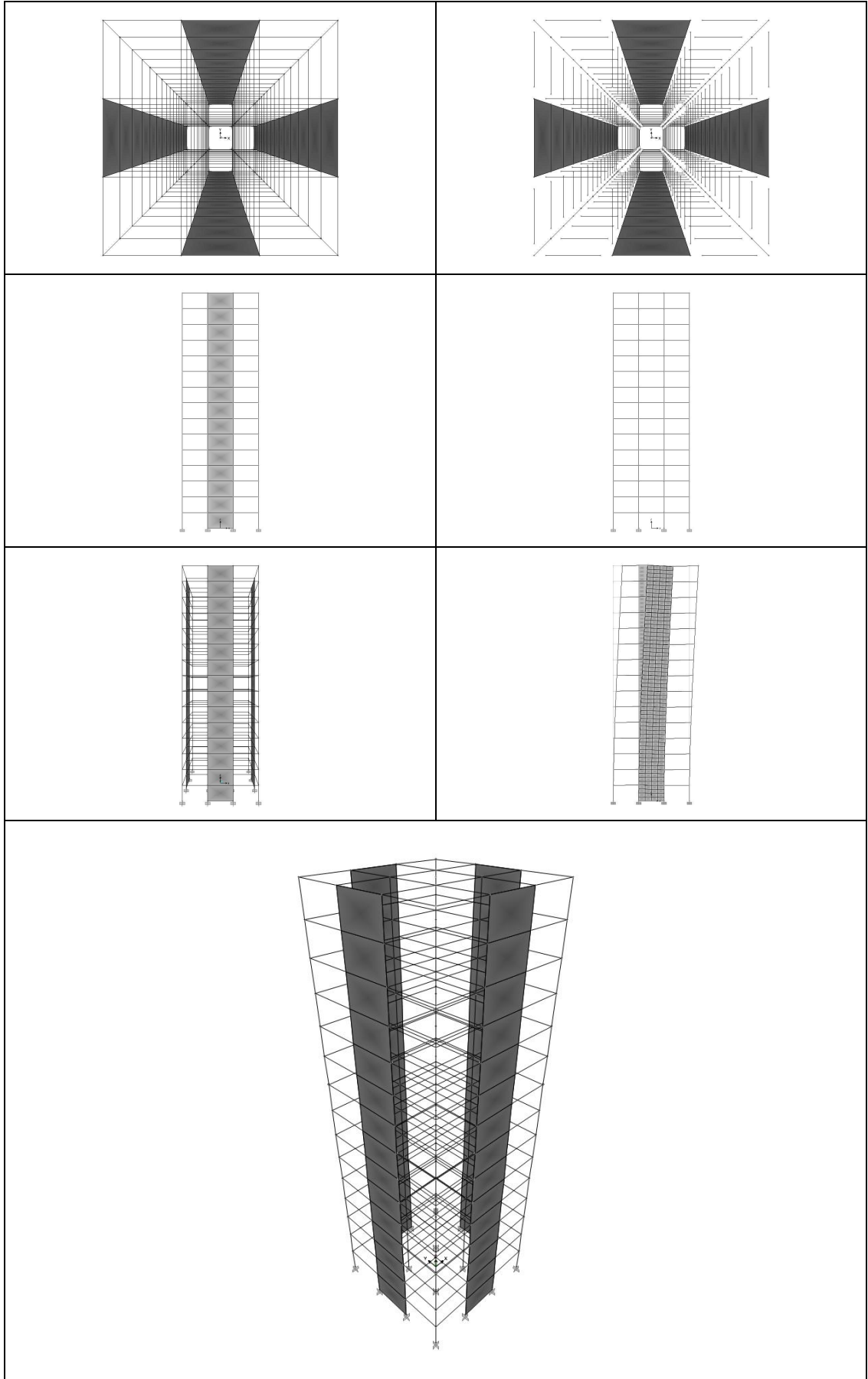
Şekil 5.12.a: (15KPV1) Plaka perdeli 15 katlı yapının boy kesiti



Şekil 5.12.b: 15KPV1 yapısının plan, görünüş, şekil değiştirmiş hali ve perspektifi.



Şekil 5.13.a: (15KP) Plaka perdeli 15 katlı yapının boy kesiti



Şekil 5.13.b: 15KP yapısının plan, görünüş, şekil değiştirmiş hali ve perspektifi.

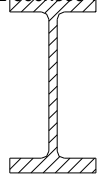
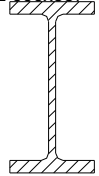
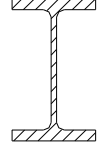
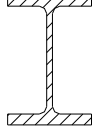
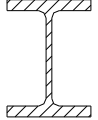
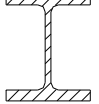
5.8 Seçilen Kesitler

Seçilen kesitlerin gerilme kontrolleri **EK B**'de verilmiştir.

Tablo 5.2: Seçilen kesitlerin katlara göre dağılımı

KATLARA GÖRE KOLON PROFİLLERİ+ÇAPRAZ ELEMAN PROFİLLERİ/PLAKA KALINLIKLARI DAĞILIMI															
KAT	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
5 KATLI	Merkezi	HE240B	HE240B	HE240B	HE240B										K
		HE160B	HE160B	HE160B	HE160B										Ç
	Merkezi (R=3)	HE240M	HE240M	HE240M	HE240M										K
		HE200B	HE200B	HE200B	HE200B										Ç
	Dış Merkezi	HE240B	HE240B	HE240B	HE240B										K
10 KATLI		HE160B	HE160B	HE160B	HE160B										Ç
	Plakalı	HE200M	HE200M	HE200M	HE200M										K
		0,2cm	0,2cm	0,2cm	0,2cm										P
	Merkezi	HE360M	HE360M	HE360M	HE360M	HE360B	HE360B	HE360B	HE360B	HE360B					K
	Merkezi (R=3)	HE180B	HE180B	HE180B	HE180B	HE180B	HE180B	HE180B	HE180B	HE180B					Ç
15 KATLI		HE600X337	HE600X337	HE600X337	HE600X337	HE600X337	HE600X337	HE600X337	HE600X337	HE600X337					K
	Dış Merkezi	HE220B	HE220B	HE220B	HE220B	HE220B	HE220B	HE220B	HE220B	HE220B					Ç
		HE360M	HE360M	HE360M	HE360M	HE360B	HE360B	HE360B	HE360B	HE360B					K
		HE180B	HE180B	HE180B	HE180B	HE180B	HE180B	HE180B	HE180B	HE180B					Ç
	Plakalı	HE240M	HE240M	HE240M	HE240M	HE220M	HE220M	HE220M	HE220M	HE220M					K
20 KATLI		0,5cm	0,5cm	0,5cm	0,5cm	0,5cm	0,5cm	0,5cm	0,5cm	0,5cm					P
	Merkezi V1	HE400M	HE400M	HE400M	HE400M	HE360M	HE360M	HE360M	HE360M	HE360M	HE360B	HE360B	HE360B	HE360B	K
		HE180B	HE180B	HE180B	HE180B	HE180B	HE180B	HE200B	HE180B	HE180B	HE180B	HE180B	HE180B	HE180B	Ç
	Merkezi V2	HE400M	HE400M	HE400M	HE400M	HE360M	HE360M	HE360M	HE360M	HE360M	HE360B	HE360B	HE360B	HE360B	K
		HE180B	HE180B	HE180B	HE180B	HE180B	HE180B	HE180B	HE180B	HE180B	HE180B	HE180B	HE180B	HE180B	Ç
25 KATLI	Merkezi V2 (R=3)	HE600x399	HE600x399	HE600x399	HE600x399	HE600x399	HE600x399	HE600x399	HE600x399	HE600x399	HE600x399	HE600x399	HE600x399	HE600x399	HE600x399
		HE220B	HE220B	HE220B	HE220B	HE220B	HE220B	HE220B	HE220B	HE220B	HE220B	HE220B	HE220B	HE220B	HE220B
	Dış Merkezi V2	HE400M	HE400M	HE400M	HE400M	HE360M	HE360M	HE360M	HE360M	HE360M	HE360B	HE360B	HE360B	HE360B	HE360B
		HE200B	HE200B	HE200B	HE200B	HE180B	HE180B	HE180B	HE180B	HE180B	HE180B	HE180B	HE180B	HE180B	HE180B
	Plakalı	HE360M	HE360M	HE360M	HE360M	HE340M	HE340M	HE340M	HE340M	HE340M	HE320M	HE320M	HE320M	HE320M	HE320M
30 KATLI		1,5cm	1,5cm	1,5cm	1,5cm	1,5cm	1,5cm	1,5cm	1,5cm	1,5cm	1,5cm	1,5cm	1,5cm	1,5cm	1,5cm
	Plakalı V1	HE360M	HE360M	HE360M	HE360M	HE360M	HE360M	HE360M	HE360M	HE360M	HE320M	HE320M	HE320M	HE320M	HE320M
		0,2cm	0,2cm	0,2cm	0,2cm	0,2cm	0,2cm	0,2cm	0,2cm	0,2cm	0,2cm	0,2cm	0,2cm	0,2cm	0,2cm
	Plakalı V2	HE360M	HE360M	HE360M	HE360M	HE340M	HE340M	HE340M	HE340M	HE340M	HE320M	HE320M	HE320M	HE320M	HE320M
		0,2cm	0,2cm	0,2cm	0,2cm	0,2cm	0,2cm	0,2cm	0,2cm	0,2cm	0,2cm	0,2cm	0,2cm	0,2cm	0,2cm

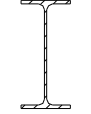
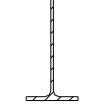
YAPILARDA KULLANILAN KOLON KESİTLERİ

HE 600x399	HE 600x337	HE 500 M	HE 450 M	HE 400 M	HE 360 M	HE 340 M	HE 320 M	HE 240 M	HE 220 M	HE 200 M	HE 360 B	HE 240 B
												

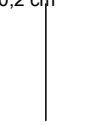
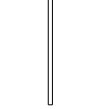
YAPILARDA KULLANILAN ÇAPRAZ ELEMAN KESİTLERİ

HE 240 B	HE 220 B	HE 200 B	HE 180 B	HE 160 B
				

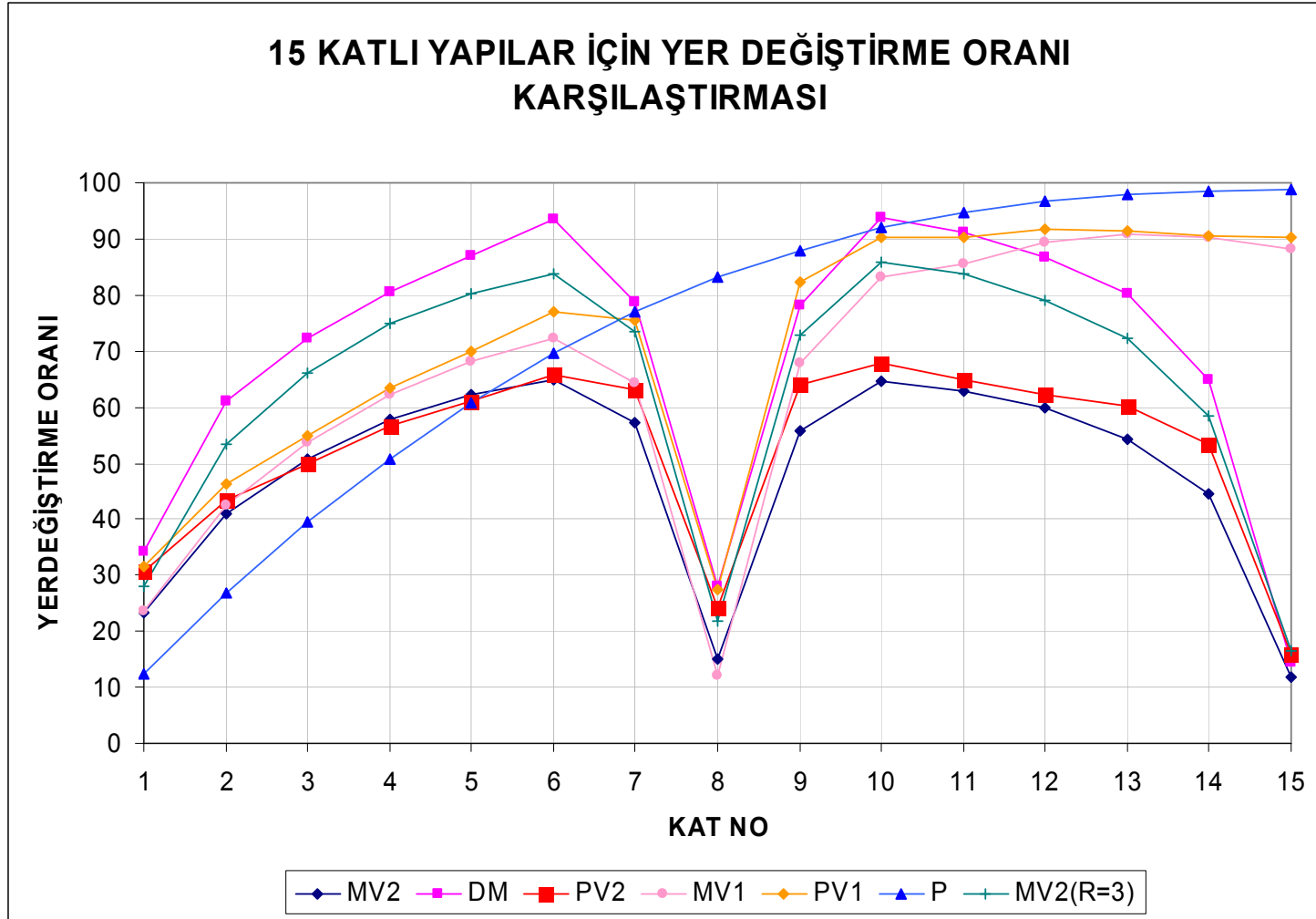
YAPILARDA KULLANILAN KİRİŞ KESİTLERİ

IPE 400	IPE 450
	

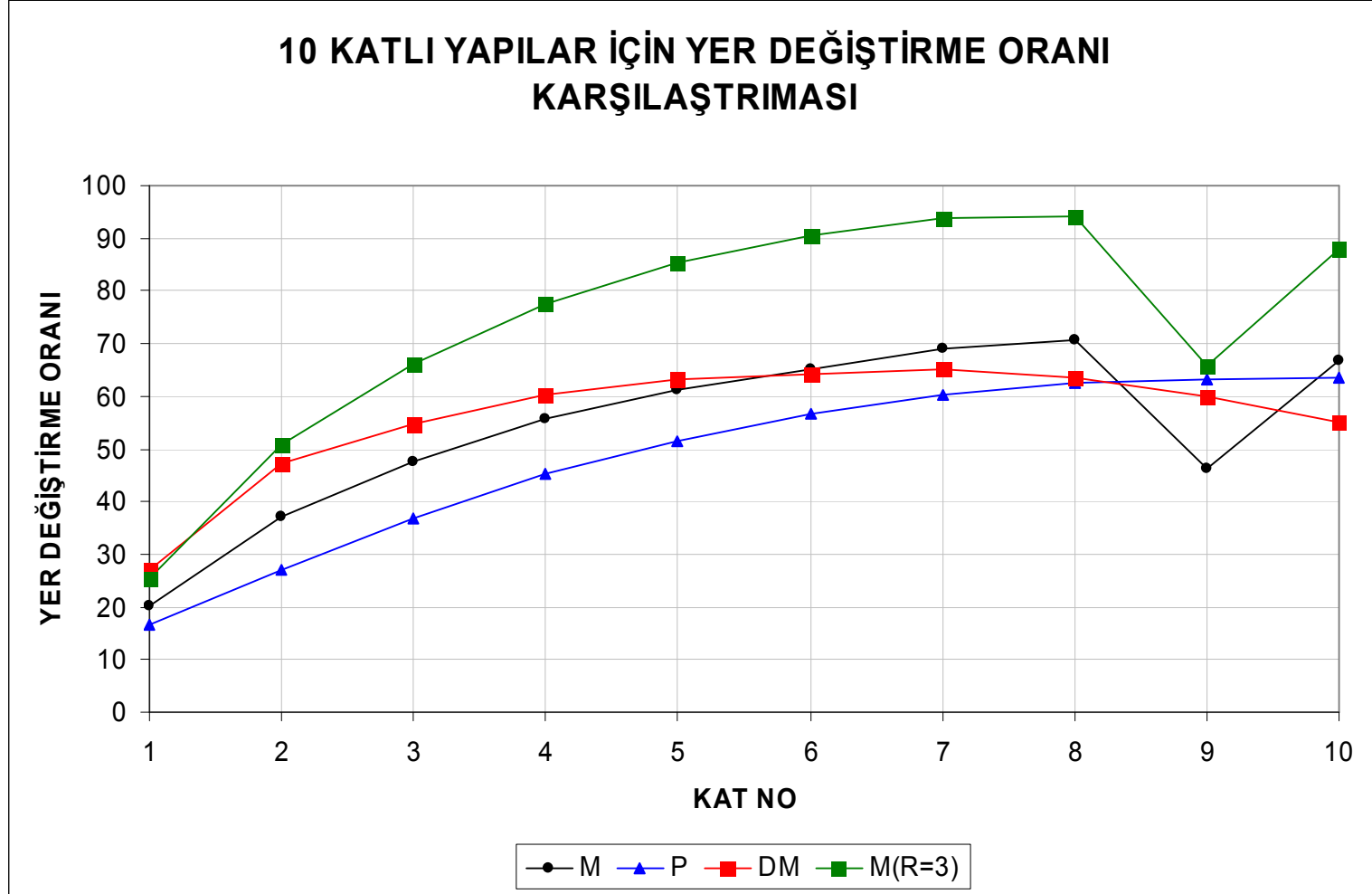
YAPILARDA KULLANILAN PLAKA KALINLIKLARI

0,2 cm	0,5 cm	1,5 cm
		

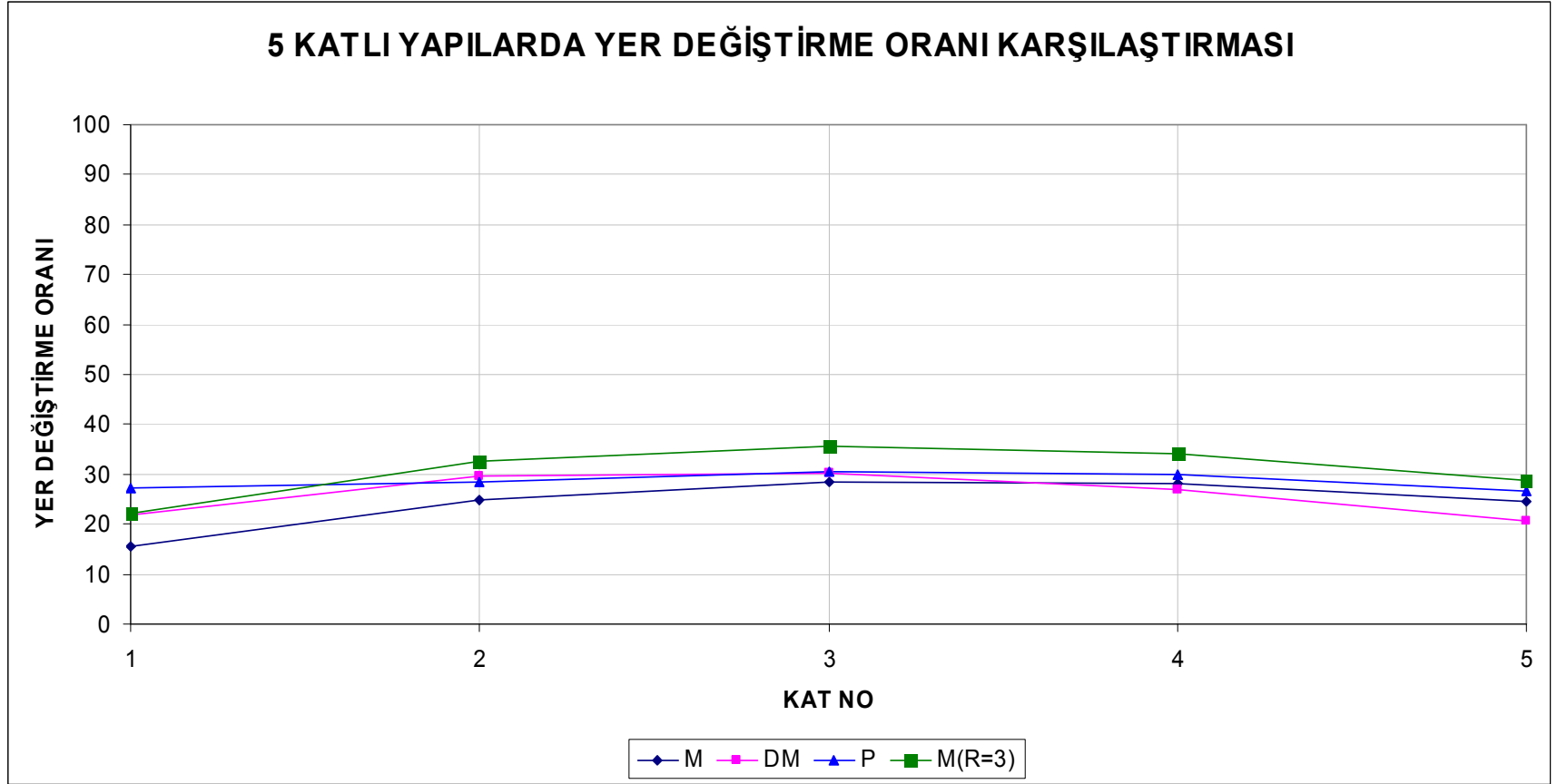
Şekil 5.14: Seçilen Kesitlerin Profilleri



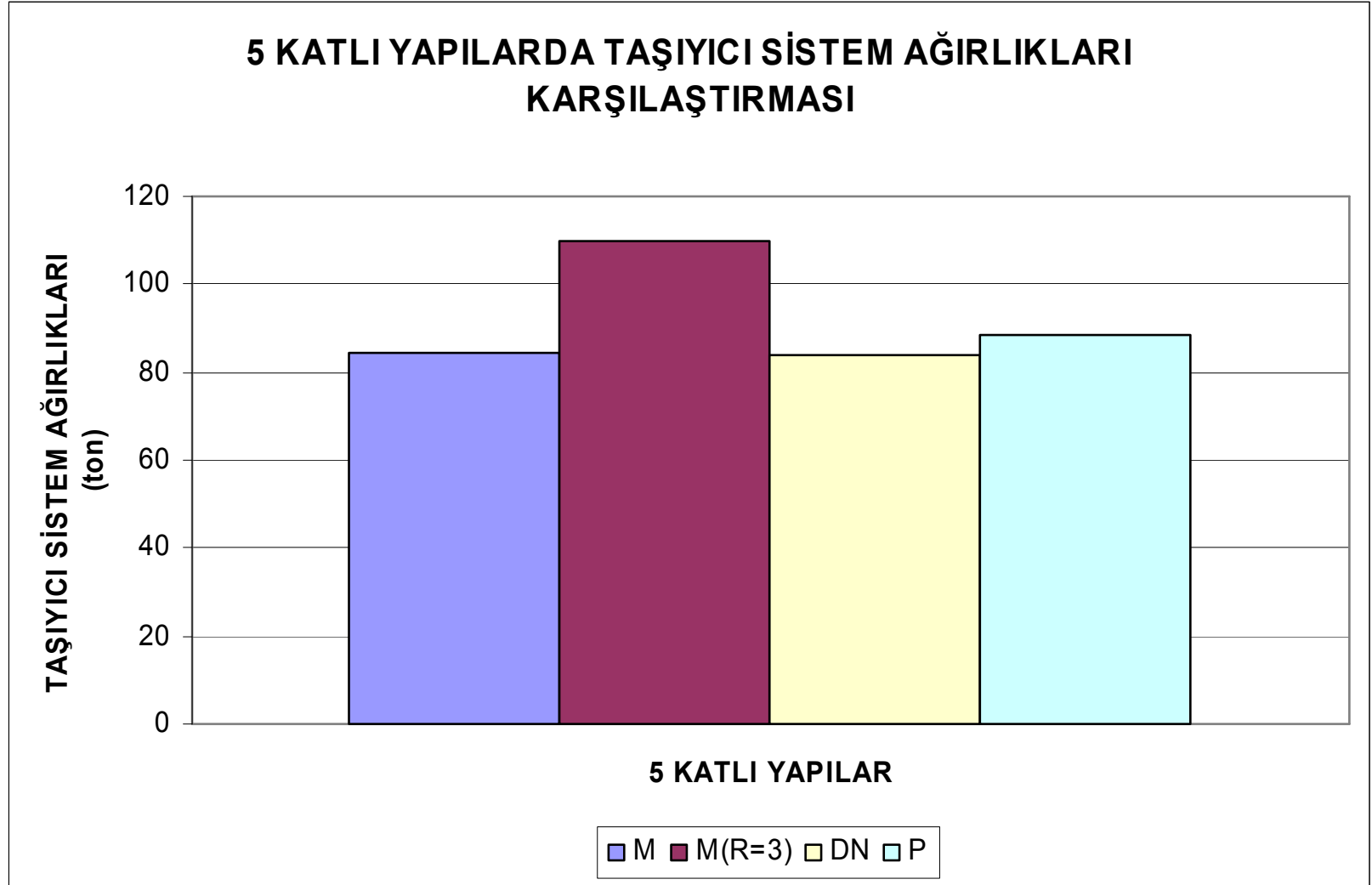
Şekil 5.15: 15 katlı yapılar için yer değiştirme oranının karşılaştırması



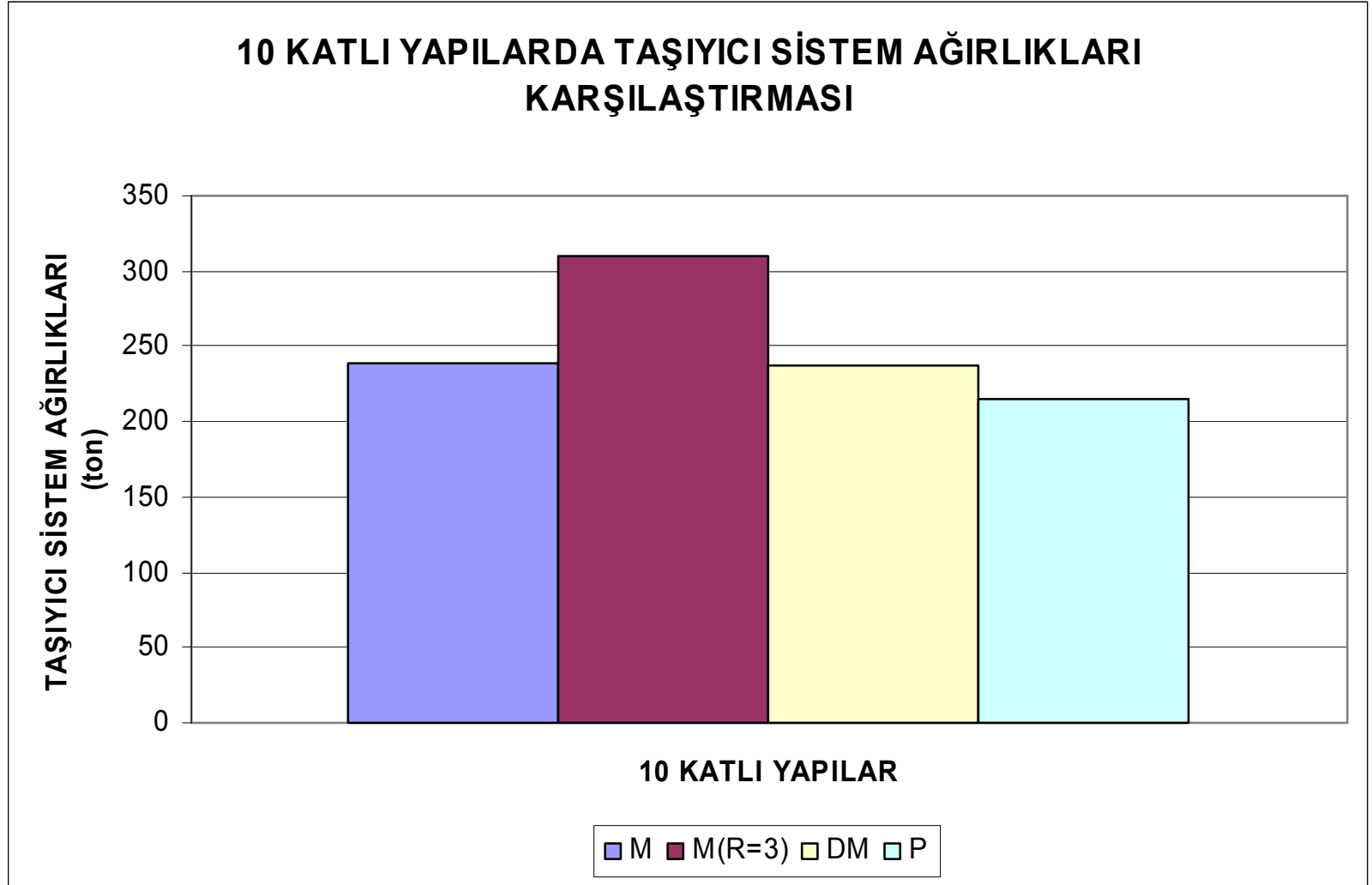
Şekil 5.16: 10 katlı yapılar için yer değiştirme oranının karşılaştırması



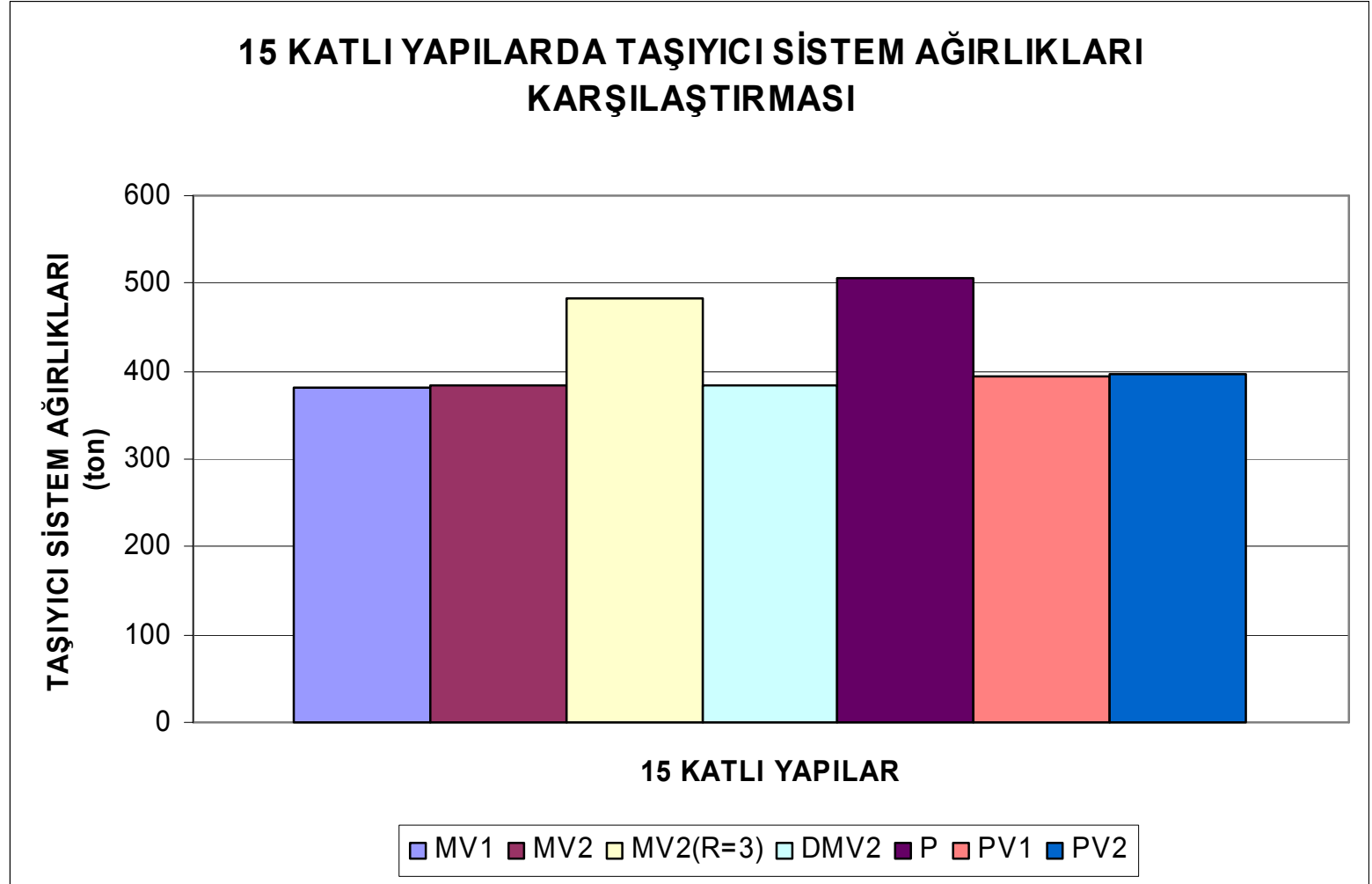
Şekil 5.17: 5 katlı yapılar için yer değiştirme oranının karşılaştırması



Şekil 5.18: 5 katlı yapılar için taşıyıcı sistem ağırlıklarının karşılaştırması



Şekil 5.19: 10 katlı yapılar için taşıyıcı sistem ağırlıklarının karşılaştırması



Şekil 5.20: 15 katlı yapılar için taşıyıcı sistem ağırlıklarının karşılaştırması

Tablo 5.3: Taşıyıcı sistem şekline göre çıkan taşıyıcı sistem ağırlıkları

		TAŞIYICI SİSTEM ŞEKLİ	TAŞIYICI SİSTEM AĞIRLIKLARI	
I. GRUP	5 KATLI	Merkezi	84,54	ton
		Merkezi (R=3)	109,85	ton
		Dış Merkezi	84,03	ton
		Plakalı	88,29	ton
II. GRUP	10 KATLI	Merkezi	239,15	ton
		Merkezi (R=3)	310,55	ton
		Dış Merkezi	237,93	ton
		Plakalı	214,37	ton
III. GRUP	15 KATLI	Merkezi V1	382,24	ton
		Merkezi V2	384,98	ton
		Merkezi V2(R=3)	484,11	ton
		Dış Merkezi V2	384,41	ton
		Plakalı	506,01	ton
		Plakalı V1	395,15	ton
		Plakalı V2	397,49	ton

6. SONUÇLAR

İncelenen örnekler ağırlıklar açısından kıyaslandığında şu sonuçlara ulaşılmıştır:

- **I. Grup 5 katlı yapılarda:**

En ağır yapı, 109,85 ton ile süneklik düzeyi normal merkezi çaprazlı çerçeve çıkmıştır. **En hafif yapı**, 84,3 ton ile dış merkezi çaprazlı çerçeve çıkmıştır. Plaka perde duvarlı yapı 88,29 ton ile 2., süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı çerçeve ise 84,54 ton ile 3. en ağır yapı olmuştur.

- **II. Grup 10 katlı yapılarda:**

En ağır yapı, 310,55 ton ile süneklik düzeyi normal merkezi çaprazlı çerçeve çıkmıştır. **En hafif yapı**, 214,37 ton ile plaka perde duvarlı yapı çıkmıştır. Süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı yapı 239,15 ton ile 2., dış merkezi çaprazlı çerçeve ise 237,93 ton ile 3. en ağır yapı olmuştur.

- **III. Grup 15 katlı yapılarda:**

Süneklik düzeyi normal merkezi çaprazlı çerçeve, süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı çerçeve ile dış merkezi çaprazlı çerçeveli sistem yer değiştirmeleri sınırlandırmak için kesit değerlerinin aşırı büyümesinden ve yapı ağırlığı açısından ekonomik sonuç vermeyeceğinden dolayı hesaplamalar bırakılmıştır. Çözümü yapılan tek yapı çelik plaka perde duvarlı sistemdir. Bu sistem ise, 15 katlı yapılar içerisinde 506,01 ton ile en ağır yapı olarak çıkmıştır.

V2’li sistemler kıyaslandığında:

En ağır yapı, 484,11 ton ile süneklik düzeyi normal merkezi çaprazlı çerçeve çıkmıştır. **En hafif yapı**, 384,41 ton ile dış merkezi çaprazlı çerçeve çıkmıştır. Plaka perde duvarlı yapı 397,49 ton ile 2., süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı çerçeve ise 384,98 ton ile 3. en ağır yapı olmuştur.

V1’li sistemler kıyaslandığında:

En ağır yapı, 395,15 ton ile plaka perde duvarlı yapı çıkmıştır. **En hafif yapı**, 382,24 ton ile süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı çerçeve çıkmıştır. Süneklik düzeyi normal merkezi çaprazlı çerçeve ile dış merkezi çaprazlı çerçeveli sistem yer değiştirmeleri sınırlandırmak için kesit değerlerinin aşırı büyümesinden ve yapı

ağırlığı açısından ekonomik sonuç vermeyeceğinden dolayı hesaplamalar bırakılmıştır.

- I. grup 5 katlı yapılarda yükseklikler 25m'nin altında olduğu için ve yer değiştirmelerin az olmasından dolayı güçlendirilmiş çerçeve yerine sadece çerçeveli sistem olarak tasarlanması yapı ağırlıkları açısından daha ekonomik sonuç verebilir.

- I. grup 5 katlı, II. grup 10 katlı, III. grup 15 katlı yapılar ağırlık açısından değerlendirildiğinde her üç grupta da en ağır yapı tipi süneklik düzeyi normal merkezi çaprazlı sistem çıkmıştır. Bunun nedeni süneklik düzeyi normal merkezi çaprazlı sistemlerde R katsayısının değerinin diğer 3 yapı tipine oranla daha küçük olması ve daha fazla deprem yüküne maruz kalmasından kaynaklanmaktadır. Dolayısıyla yapı mühendisleri için, deprem bölgelerinde tasarlayacakları yapılarda süneklik düzeyi normal merkezi çaprazlı sistemler yerine diğer 3 yapı tipini ağırlık açısından kıyaslayıp ekonomik çözümü veren yapı tipini seçmeleri önerilmektedir.

İncelenen örnekler yer değiştirme oranları(kat yer değiştirmesi/yönetmelik sınır yer değiştirmesi) açısından kıyaslandığında şu sonuçlara ulaşılmıştır:

- **I. Grup 5 katlı yapılarda:**

En büyük maksimum yer değiştirme oranı %35,74 ile süneklik düzeyi normal merkezi çaprazlı çerçeveli sistem çıkmıştır. **En küçük maksimum** yer değiştirme oranı %28,51 ile süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı çerçeveli sistem çıkmıştır. Plaka perdeli sistem %30,59 ile 2., dış merkezi çaprazlı çerçeveli sistem ise %30,09 ile 3. en büyük maksimum yer değiştirme oranına sahiptir.

En büyük ortalama yer değiştirme oranı %30,63 ile süneklik düzeyi normal merkezi çaprazlı çerçeveli sistem çıkmıştır. **En küçük ortalama** yer değiştirme oranı %24,31 ile süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı çerçeveli sistem çıkmıştır. Plaka perdeli sistem %28,56 ile 2., dış merkezi çaprazlı çerçeveli sistem ise %25,77 ile 3. en büyük ortalama yer değiştirme oranına sahiptir.

En büyük minimum yer değiştirme oranı %26,79 ile plaka perde duvarlı sistem çıkmıştır. **En küçük minimum** yer değiştirme oranı %15,58 ile süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı çerçeveli sistem çıkmıştır. Süneklik düzeyi normal merkezi çaprazlı çerçeveli %22,09 ile 2., dış merkezi çaprazlı çerçeveli sistem ise %20,51 ile 3. en büyük minimum yer değiştirme oranına sahiptir.

- **II. Grup 10 katlı yapılarda:**

En büyük maksimum yer değiştirme oranı %94,17 ile süneklik düzeyi normal merkezi çaprazlı çerçeveli sistem çıkmıştır. **En küçük maksimum** yer değiştirme oranı %63,39 ile plaka perdeli sistem çıkmıştır. Süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı çerçeveli sistem %70,56 ile 2., dış merkezi çaprazlı çerçeveli sistem ise %64,99 ile 3. en büyük maksimum yer değiştirme oranına sahiptir.

En büyük ortalama yer değiştirme oranı %73,77 ile süneklik düzeyi normal merkezi çaprazlı çerçeveli sistem çıkmıştır. **En küçük ortalama** yer değiştirme oranı %48,32 ile plaka perdeli sistem çıkmıştır. Dış merkezi çaprazlı çerçeveli sistem %55,99 ile 2., süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı çerçeveli sistem ise %54,04 ile 3. en büyük ortalama yer değiştirme oranına sahiptir.

En büyük minimum yer değiştirme oranı %27,02 ile dış merkezi çaprazlı çerçeveli çıkmıştır. **En küçük minimum** yer değiştirme oranı %16,5 ile plaka perdeli sistem çıkmıştır. Süneklik düzeyi normal merkezi çaprazlı çerçeveli sistem %25,51 ile 2., süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı çerçeveli sistem ise %20,32 ile 3. en büyük minimum yer değiştirme oranına sahiptir.

- **III. Grup 15 katlı yapılarda:**

Süneklik düzeyi normal merkezi çaprazlı çerçeve, süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı çerçeve ile dış merkezi çaprazlı çerçeveli sistem ağırlık açısından ekonomik sonuç vermeyeceği için hesaplanmamıştır. Çözümü yapılan tek yapı plaka perde duvarlı sistemin ortalama yer değiştirme oranı %72,43'dir. Bu sistem, 15 katlı yapılar içerisinde **en büyük ortalama** yer değiştirme oranına sahip yapı olarak çıkmıştır.

Plaka perde duvarlı sistem 15 katlı yapılar içerisinde %98,85 ile **en büyük maksimum** yer değiştirme oranına sahip yapı olarak çıkmıştır.

Plaka perde duvarlı sistemin **minimum** yer değiştirme oranı %12,36 olarak çıkmıştır.

V2'li sistemler kıyaslandığında:

En büyük maksimum yer değiştirme oranı %93,65 ile dış merkezi çaprazlı çerçeveli sistem çıkmıştır. **En küçük maksimum** yer değiştirme oranı %64,83 ile süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı çerçeveli sistem çıkmıştır. Süneklik düzeyi normal merkezi çaprazlı çerçeveli sistem %85,82 ile 2., plaka perdeli sistem ise %67,74 ile 3. en büyük maksimum yer değiştirme oranına sahiptir.

En büyük ortalama yer değiştirme oranı %69,65 ile dış merkezi aprazlı çerçeveli sistem çıkmıştır. **En küçük ortalama** yer değiştirme oranı %48,41 ile süneklik düzeyi yüksek merkezi aprazlı çerçeveli sistem çıkmıştır. Süneklik düzeyi normal merkezi aprazlı çerçeveli sistem %63,37 ile 2., plaka perdeli sistem ise %52,22 ile 3. en büyük ortalama yer değiştirme oranına sahiptir.

En büyük minimum yer değiştirme oranı %16,65 ile süneklik düzeyi normal merkezi aprazlı çerçeveli sistem çıkmıştır. **En küçük minimum** yer değiştirme oranı %11,74 ile süneklik düzeyi yüksek merkezi aprazlı çerçeveli sistem çıkmıştır. Plaka perdeli sistem %16,02 ile 2., dış merkezi aprazlı çerçeveli sistem ise %14,39 ile 3. en büyük minimum yer değiştirme oranına sahiptir.

V1’li sistemler kıyaslandığında:

En büyük maksimum yer değiştirme oranı %91,62 ile plaka perde duvarlı sistem çıkmıştır. **En küçük maksimum** yer değiştirme oranı %90,94 ile süneklik düzeyi yüksek merkezi aprazlı çerçeveli sistem çıkmıştır.

En büyük ortalama yer değiştirme oranı %71,55 ile plaka perde duvarlı sistem çıkmıştır. **En küçük ortalama** yer değiştirme oranı %66,30 ile süneklik düzeyi yüksek merkezi aprazlı çerçeveli sistem çıkmıştır.

En büyük minimum yer değiştirme oranı %27,48 ile plaka perde duvarlı sistem çıkmıştır. **En küçük minimum** yer değiştirme oranı %12,13 ile süneklik düzeyi yüksek merkezi aprazlı çerçeveli sistem çıkmıştır.

Süneklik düzeyi normal merkezi aprazlı çerçeveli sistem ile dış merkezi aprazlı çerçeveli sistem ağırlık açısından ekonomik sonuç vermeyeceği için hesaplanmamıştır.

- I. grup 5 katlı yapılarda ve II. grup 10 katlı yapılarda **en büyük maksimum ve ortalama** yer değiştirme oranı, III. grup 15 katlı yapılarda ise en büyük 2. maksimum ve ortalama yer değiştirme süneklik düzeyi normal merkezi aprazlı sistemde ortaya çıkmıştır. Bu ise süneklik düzeyi normal merkezi aprazlı sistemlerin ağırlık açısından olduğu gibi yer değiştirme açısından da diğer sistemlere göre incelenen 3 gruptan 2’sinde daha elverişsiz olduğunu göstermektedir. Dolayısıyla, yapı mühendislerine, deprem bölgelerinde, yer değiştirmelerin sınırlandırılması açısından da öncelikli olarak diğer 3 sistemden birisini tercih etmeleri önerilmektedir.

- Şu anki ABYYHY’de süneklik düzeyi yüksek merkezi aprazlı sistem için R katsayısı verilmemiştir. Süneklik düzeyi normal merkezi sistemin ağırlık ve yer değiştirmeler açısından daha elverişsiz olduğu örneklerde gösterilmiştir. Hazırlanmakta olan yeni yönetmelikte, süneklik düzeyi merkezi aprazlı sistemler için R katsayısının belirlenmesi önerilmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] **Celep, Z. ve Kumbasar, N.**, 2000. Deprem Mühendisliğine Giriş ve depreme dayanıklı yapı tasarımı, *Beta Dağıtım*, İstanbul.
- [2] **ABYYHY**, 1998. Afet bölgelerinde yapılacak yapılar hakkındaki yönetmelik, *Türkiye Hazır Beton Birliği*, İstanbul
- [3] **AISC**, 1997. Seismic provisions for structural steel buildings, *American Institute of Steel Construction Inc.*, Chicago.
- [4] **UBC**, 1997. Uniform Building Code, International Conference of Building Officials, California.
- [5] **Eurocode 8**, 1998. Design of structures for earthquake resistance, *European Committee for Standardisation*, Brussels.
- [6] **ECCS**, 1998. European recommendations for steel structures in seismic zones, *European Convention for Constructional Steelwork*, Brussels.
- [7] **LRFD**, 1999. Load and resistance factor design specification for structural steel buildings, *American Institute of Steel Construction Inc.*, Chicago.
- [8] **ECCS**, 1994. Manuel on design of steel structures in seismic zones, *European Convention for Constructional Steelwork*, Brussels.
- [9] **Ballio G., Perotti F.**, 1987. Cyclic behaviour of axially loaded members: numerical simulation and experimental verification, *Journal of Constructional Steel Research* ,7, 3-41.
- [10] **Georgescu D., Toma C., Gosa O.**, 1991. Post-critical behaviour of K-braced frames, *Journal of Constructional Steel Research*.
- [11] **Hjelmstad K.D., Popov E.P.**, 1984. Characteristics of eccentrically braced frames, *Journal of Structural Engineering, ASCE*, February.
- [12] **Malley J.O., Popov E.P.**, 1984. Shear links in eccentrically braced frames, *Journal of Structural Engineering, ASCE*, September.
- [13] **Kasai K., Popov E.P.**, 1986. General behaviour of WF steel shear link beams, *Journal of Structural Engineering, ASCE*, February.

- [14] **Kasai K., Popov E.P.**, 1986. Cyclic web buckling control for shear link beams, *Journal of Structural Engineering, ASCE*, March.
- [15] **TS-648**, 1980. Çelik yapıların hesap ve yapım kuralları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [16] **TS-498**, 1987. Yapı elemanlarının boyutlandırılmasında alınacak yüklerin hesap değerleri, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [17] **TS-3357**, 1979. Çelik yapılarda kaynaklı birleşimlerin hesap ve yapım kuralları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [18] **ASD**, 1996. Allowable stress design, *American Institute of Steel Construction Inc.*, Chicago.
- [19] **Odabaşı Y.**, 2000. Ahşap ve çelik yapı elemanları, *Beta Dağıtım*, İstanbul.
- [20] **Astaneh-Asl, Abolhassan**, 2001. Seismic behaviour and design of steel shear walls, *Steel TIPS*, California.

EKLER

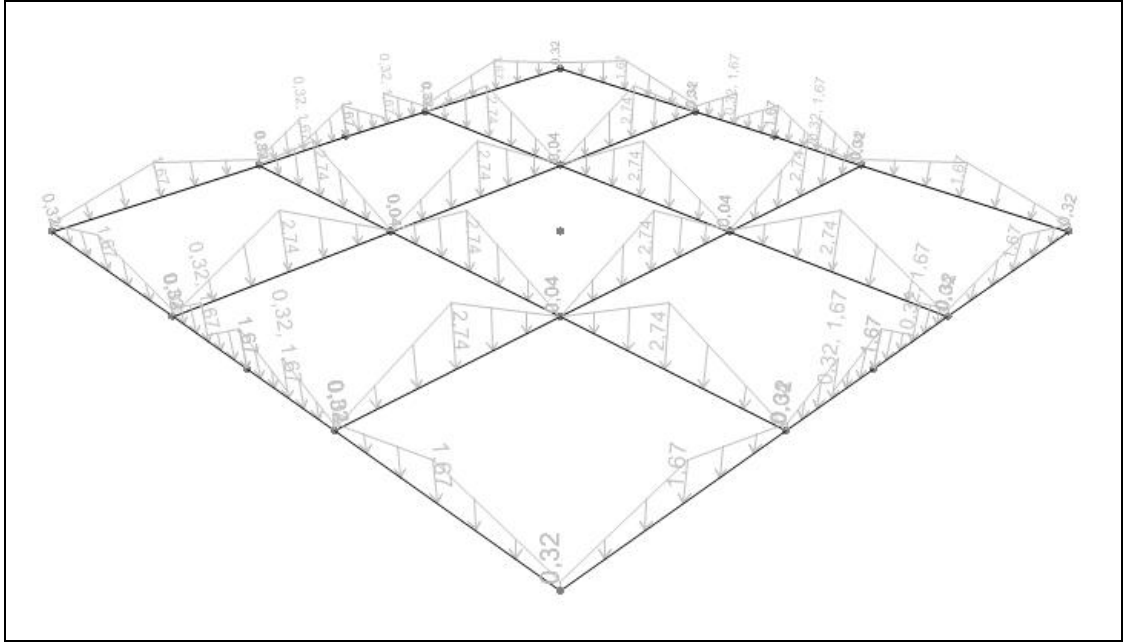
EK A

Yapılara Etkiyen Düşey ve Yatay Yüklerin Hesaplanması

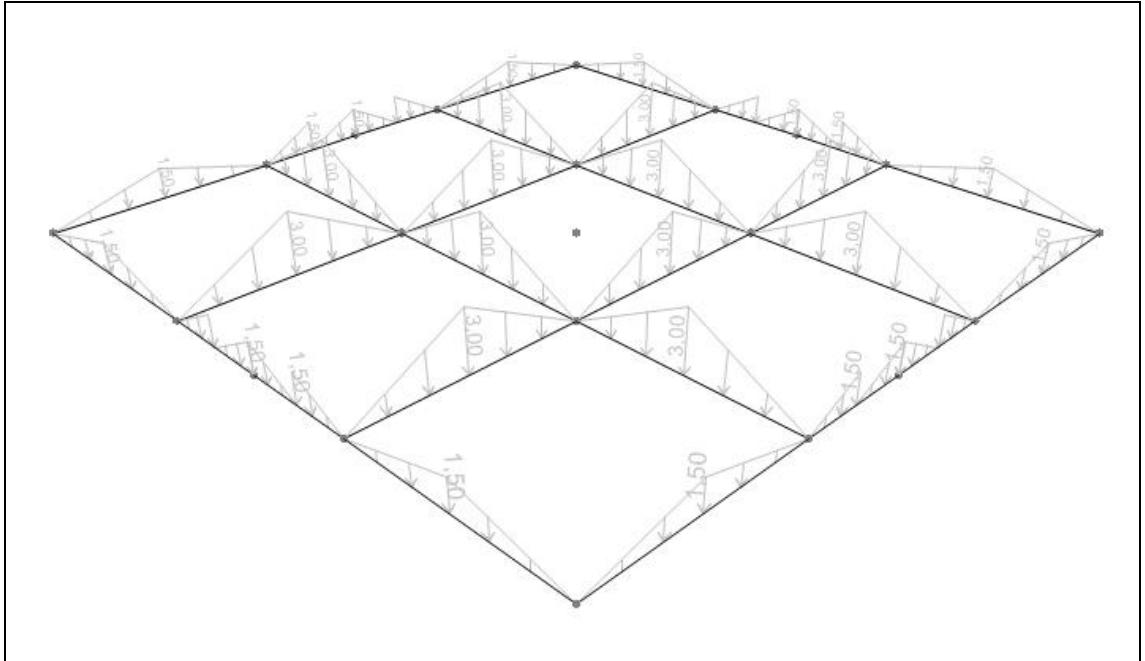
Çatı Katında

Normal Katlarda

150



Şekil A.3: Normal katlara etkiyen G yüklemesinin kirişlere dağılmış hali.



Şekil A.4: Normal katlara etkiyen Q yüklemesinin kirişlere dağılmış hali.

Çaprazlama Şekline Bağlı olarak Yapılara Etki Edecek Olan Yatay Yükün Belirlenmesi

Ofis binaları için hareketli yük katılım katsayısı $n=0,3$

Kar yüklerinin %30'u sabit yük olarak göz önüne alınacaktır.

Yapıya etkiyen düşey yükler göz önüne alınarak w_i kat ağırlıkları hesaplanabilir.

$g_{\text{çatı}}=(0,350+0,3.0,075).324+0,075.4.18$	$g_{\text{çatı}}=126,09 \text{ ton}$
$q_{\text{çatı}}=(0,200+0,7.0,075).324$	$q_{\text{çatı}}= 81,81 \text{ ton}$

$g_{\text{normal}}=0,450.324+0,2775.4.18$	$g_{\text{normal}}=165,78 \text{ ton}$
$q_{\text{normal}}=0,500.324$	$q_{\text{normal}}= 162 \text{ ton}$

$$w_i = g_i + n \cdot q_i = g_i + 0,3 \cdot q_i$$

$w_{\text{çatı}} = 126,09+0,3.81,81$	$w_{\text{çatı}}=150,63 \text{ ton}$
$w_{\text{normal}}=165,78+162$	$w_{\text{normal}}=214,38 \text{ ton}$

$W_{15\text{katlı}}=150,63+14. 214,38$	$W_{15\text{katlı}}=3151,95 \text{ ton}$
$W_{10\text{katlı}}=150,63+9. 214,38$	$W_{10\text{katlı}}=2080,05 \text{ ton}$
$W_{5\text{katlı}}=150,63+4. 214,38$	$W_{5\text{katlı}}=1008,15 \text{ ton}$

Yapıların doğal titreşim periyodunun yaklaşık olarak hesaplanması:

$$T_{1A} = C_t H_N^{3/4} \text{ (ABYYHY’de verilen amprik formül)}$$

- $C_t=0,05$ (Merkezi Çaprazlı Yapılar için)
- $C_t=0,07$ (Dış Merkezi Çaprazlı Yapılar için)
- $C_t=0,08$ (Diğer Tüm Yapılar için; Plaka Perdeli)

Tablo A.1: Ampirik Doğal Titreşim Periyotları

	MERKEZİ		DIŞ MERKEZİ		PLAKA	
	T1(A)	1,3.T1(A)	T1(A)	1,3.T1(A)	T1(A)	1,3.T1(A)
5 KAT	0,446014	0,579819	0,62442	0,811746	0,713623	0,92771
10 KAT	0,750104	0,975135	1,050145	1,365189	1,200166	1,560216
15 KAT	1,016693	1,321701	1,42337	1,850381	1,626708	2,114721

Rayleigh oranı ile T_1 ’in hesabı:

$$T_1 = 2\pi \left[\frac{\sum (m_i \cdot d_{fi}^2)}{\sum (F_{fi} \cdot d_{fi})} \right]^{1/2}$$

Binaların birinci doğal titreşim periyotları Rayleigh Oranı ile hesaplanacaktır. $T_{1A} > 1.0 \text{ sn}$ olması durumunda, T_1 ’in deprem hesabında kullanılacak en büyük değeri T_{1A} ’nın 1,3 katından daha büyük olmayacaktır.

Tablo A.2: 5KM Yapısına etkiyen yatay yüklerin hesaplanması

KAT	wi(t)	Hi(m)	wixHi(tm)	Ffi	dfi	mi(t.sn²/m)	mi.dfi²			
5	150,633	18,5	2786,7105	0,260	0,000196	15,3550459	5,8988E-07			
4	214,38	14,8	3172,824	0,296	0,000157	21,853211	5,3866E-07			
3	214,38	11,1	2379,618	0,222	0,000111	21,853211	2,6925E-07			
2	214,38	7,4	1586,412	0,148	6,5E-05	21,853211	9,233E-08			
1	214,38	3,7	793,206	0,074	2,5E-05	21,853211	1,3658E-08			
ΣW=	1008,153	Σ=	10718,7705	1	T1=	0,67	1,5038E-06			
KAT	Ffi.dfi		Fi(t)[M]	Vi(t)[M]	M(x-y)[M]	e(18.0,05)	Vw	ΣVw		
5	5,0957E-05		24,17	24,17	21,75	0,90	6,39	6,39		
4	4,6473E-05		27,52	51,69	24,77	0,90	6,39	12,79		
3	2,4643E-05		20,64	72,32	18,57	0,90	6,39	19,18		
2	9,6202E-06		13,76	86,08	12,38	0,90	4,00	23,18		
1	1,85E-06		6,88	92,96	6,19	0,90	4,00	27,17		
Σ=	0,00013354		92,96							
R=	6,4	Vt=W.A(T1)/Ra(T1)=			92,9610631	>	0,1.A₀.I.W=		40,32612	
		S(T1)=2,5.(T _B /T1) ^{0,8} =			1,47534849			ΔFN	<	0,2V _t
T1=	0,58	A(T1)=A₀.I.S(T1)=			0,5901394			0	<	18,5922126

Tablo A.3: 5KM(R=3)Yapısına etkiyen yatay yüklerin hesaplanması

KAT	wi(t)	Hi(m)	wixHi(tm)	Ffi	dfi	mi(t.sn²/m)	mi.dfi²		
5	150,633	18,5	2786,7105	0,260	0,000119	15,3550459	2,1744E-07		
4	214,38	14,8	3172,824	0,296	9,7E-05	21,853211	2,0562E-07		
3	214,38	11,1	2379,618	0,222	7E-05	21,853211	1,0708E-07		
2	214,38	7,4	1586,412	0,148	4,2E-05	21,853211	3,8549E-08		
1	214,38	3,7	793,206	0,074	1,7E-05	21,853211	6,3156E-09		
ΣW=	1008,153	Σ=	10718,7705	1	T1=	0,52	5,7501E-07		
KAT	Ffi.dfi		Fi(t)[M]	Vi(t)[M]	M(x-y)[M]	e(18.0,05)	Vw	ΣVw	
5	3,0938E-05		56,27	56,27	50,64	0,90	6,39	6,39	
4	2,8713E-05		64,06	120,33	57,66	0,90	6,39	12,79	
3	1,554E-05		48,05	168,37	43,24	0,90	6,39	19,18	
2	6,2161E-06		32,03	200,41	28,83	0,90	4,00	23,18	
1	1,258E-06		16,02	216,42	14,41	0,90	4,00	27,17	
Σ=	8,2665E-05		216,42						
R=	3	Vt=W.A(T1)/Ra(T1)=			216,421061	>	0,1,A0.I.W=		40,32612
		S(T1)=2,5.(TB/T1)0,8=			1,61003137		ΔFN	<	0,2Vt
T1=	0,52	A(T1)=A0.I.S(T1)=			0,64401255		0	<	43,2842121

Tablo A.4: 5KDM Yapısına etkiyen yatay yüklerin hesaplanması

KAT	wi(t)	Hi(m)	wixHi(tm)	Ffi	dfi	mi(t.sn2/m)	mi.dfi2		
5	150,633	18,5	2786,7105	0,260	0,000272	15,3550459	1,136E-06		
4	214,38	14,8	3172,824	0,296	0,000229	21,853211	1,146E-06		
3	214,38	11,1	2379,618	0,222	0,000172	21,853211	6,4651E-07		
2	214,38	7,4	1586,412	0,148	0,000108	21,853211	2,549E-07		
1	214,38	3,7	793,206	0,074	4,6E-05	21,853211	4,6241E-08		
ΣW=	1008,153	Σ=	10718,7705	1	T1=	0,81	3,2297E-06		
KAT	Ffi.dfi		Fi(t)[DM]	Vi(t)[DM]	M(x-y)[DM]	e(18.0,05)	Vw	ΣVw	
5	7,0716E-05		16,90	16,90	15,21	0,90	6,39	6,39	
4	6,7785E-05		19,24	36,14	17,32	0,90	6,39	12,79	
3	3,8185E-05		14,43	50,57	12,99	0,90	6,39	19,18	
2	1,5984E-05		9,62	60,19	8,66	0,90	4,00	23,18	
1	3,4041E-06		4,81	65,00	4,33	0,90	4,00	27,17	
Σ=	0,00019607		65,00						
R=	7	Vt=W.A(T1)/Ra(T1)=			64,9993071	>	0,1.A0.I.W=		40,32612
		S(T1)=2,5.(TB/T1)0,8=			1,12828893		ΔFN	<	0,2Vt
T1=	0,81	A(T1)=A0.I.S(T1)=			0,45131557		0	<	12,9998614

Tablo A.5: 5KP Yapısına etkiyen yatay yüklerin hesaplanması

KAT	wi(t)	Hi(m)	wixHi(tm)	Ffi	dfi	mi(t.sn2/m)	mi.dfi2		
5	150,633	18,5	2786,7105	0,260	0,000203	15,3550459	6,3277E-07		
4	214,38	14,8	3172,824	0,296	0,000165	21,853211	5,9495E-07		
3	214,38	11,1	2379,618	0,222	0,000122	21,853211	3,2526E-07		
2	214,38	7,4	1586,412	0,148	7,9E-05	21,853211	1,3639E-07		
1	214,38	3,7	793,206	0,074	3,9E-05	21,853211	3,3239E-08		
ΣW=	1008,153	Σ=	10718,7705	1	T1=	0,69	1,7226E-06		
KAT	Ffi.dfi		Fi(t)[P]	Vi(t)[P]	M(x-y)[P]	e(18.0,05)	Vw	ΣVw	
5	5,2777E-05		22,49	22,49	20,24	0,90	6,39	6,39	
4	4,8841E-05		25,60	48,09	23,04	0,90	6,39	12,79	
3	2,7085E-05		19,20	67,29	17,28	0,90	6,39	19,18	
2	1,1692E-05		12,80	80,10	11,52	0,90	4,00	23,18	
1	2,8861E-06		6,40	86,50	5,76	0,90	4,00	27,17	
Σ=	0,00014328		86,50						
R=	6	Vt=W.A(T1)/Ra(T1)=			86,4970806	>	0,1.A0.I.W=		40,32612
		S(T1)=2,5.(TB/T1)0,8=			1,28696359		ΔFN	<	0,2Vt
T1=	0,69	A(T1)=A0.I.S(T1)=			0,51478544		0	<	17,2994161

Tablo A.6: 10KM Yapısına etkiyen yatay yüklerin hesaplanması

KAT	wi(t)	Hi(m)	wixHi(tm)	Ffi	dfi	mi(t.sn²/m)	mi.dfi²		
10	150,633	37	5573,421	0,135	0,000489	15,3550459	3,6717E-06		
9	214,38	33,3	7138,854	0,173	0,000434	21,853211	4,1162E-06		
8	214,38	29,6	6345,648	0,154	0,000375	21,853211	3,0731E-06		
7	214,38	25,9	5552,442	0,135	0,000315	21,853211	2,1684E-06		
6	214,38	22,2	4759,236	0,115	0,000255	21,853211	1,421E-06		
5	214,38	18,5	3966,03	0,096	0,000198	21,853211	8,5673E-07		
4	214,38	14,8	3172,824	0,077	0,000144	21,853211	4,5315E-07		
3	214,38	11,1	2379,618	0,058	9,5E-05	21,853211	1,9723E-07		
2	214,38	7,4	1586,412	0,038	5,2E-05	21,853211	5,9091E-08		
1	214,38	3,7	793,206	0,019	1,8E-05	21,853211	7,0804E-09		
ΣW=	2080,053	Σ=	41267,691	1	T1=	1,43	1,6024E-05		
KAT	Ffi.dfi		Fi(t)[M]	Vi(t)[M]	M(x-y)[M]	e(18.0,05)	Vw	ΣVw	
10	6,6042E-05		24,57	24,57	22,11	0,90	8,79	8,79	
9	7,5077E-05		20,40	44,97	18,36	0,90	8,79	17,58	
8	5,7663E-05		18,14	63,11	16,32	0,90	8,79	26,37	
7	4,2382E-05		15,87	78,98	14,28	0,90	8,79	35,16	
6	2,9408E-05		13,60	92,58	12,24	0,90	8,79	43,96	
5	1,9029E-05		11,34	103,92	10,20	0,90	6,39	50,35	
4	1,1071E-05		9,07	112,98	8,16	0,90	6,39	56,74	
3	5,478E-06		6,80	119,79	6,12	0,90	6,39	63,14	
2	1,999E-06		4,53	124,32	4,08	0,90	4,00	67,13	
1	3,4598E-07		2,27	126,59	2,04	0,90	4,00	71,13	
Σ=	0,0003085		126,59						
R=	6,4	Vt=W.A(T1)/Ra(T1)=			126,586601	>	0,1,A0.I.W=		83,20212
		S(T1)=2,5.(TB/T1)0,8=			0,97371827		ΔFN	<	0,2Vt
T1=	0,98	A(T1)=A0.I.S(T1)=			0,38948731		8,63953551	<	25,3173202

Tablo A.7: 10KM (R=3) Yapısına etkiyen yatay yüklerin hesaplanması

KAT	wi(t)	Hi(m)	wixHi(tm)	Ffi	dfi	mi(t.sn²/m)	mi.dfi²		
10	150,633	37	5573,421	0,135	0,000348	15,3550459	1,8596E-06		
9	214,38	33,3	7138,854	0,173	0,000309	21,853211	2,0866E-06		
8	214,38	29,6	6345,648	0,154	0,000268	21,853211	1,5696E-06		
7	214,38	25,9	5552,442	0,135	0,000226	21,853211	1,1162E-06		
6	214,38	22,2	4759,236	0,115	0,000183	21,853211	7,3184E-07		
5	214,38	18,5	3966,03	0,096	0,000142	21,853211	4,4065E-07		
4	214,38	14,8	3172,824	0,077	0,000102	21,853211	2,2736E-07		
3	214,38	11,1	2379,618	0,058	6,7E-05	21,853211	9,8099E-08		
2	214,38	7,4	1586,412	0,038	3,6E-05	21,853211	2,8322E-08		
1	214,38	3,7	793,206	0,019	1,2E-05	21,853211	3,1469E-09		
ΣW=	2080,053	Σ=	41267,691	1	T1=	1,21	8,1613E-06		
KAT	Ffi.dfi		Fi(t)[M]	Vi(t)[M]	M(x-y)[M]	e(18.0,05)	Vw	ΣVw	
10	4,6999E-05		52,41	52,41	47,17	0,90	8,79	8,79	
9	5,3454E-05		43,53	95,94	39,17	0,90	8,79	17,58	
8	4,121E-05		38,69	134,63	34,82	0,90	8,79	26,37	
7	3,0408E-05		33,85	168,49	30,47	0,90	8,79	35,16	
6	2,1105E-05		29,02	197,51	26,12	0,90	8,79	43,96	
5	1,3647E-05		24,18	221,69	21,76	0,90	6,39	50,35	
4	7,8422E-06		19,35	241,03	17,41	0,90	6,39	56,74	
3	3,8634E-06		14,51	255,54	13,06	0,90	6,39	63,14	
2	1,3839E-06		9,67	265,22	8,71	0,90	4,00	67,13	
1	2,3065E-07		4,84	270,05	4,35	0,90	4,00	71,13	
Σ=	0,00022014		270,05						
R=	3	Vt=W.A(T1)/Ra(T1)=			270,051415	>	0,1,A₀.I.W=		83,20212
		S(T1)=2,5.(T _B /T1) ^{0,8} =			0,97371827	ΔFN		<	0,2V _t
T1=	0,98	A(T1)=A₀.I.S(T1)=			0,38948731	18,4310091		<	54,010283

Tablo A.8: 10KDM Yapısına etkiyen yatay yüklerin hesaplanması

KAT	wi(t)	Hi(m)	wixHi(tm)	Ffi	dfi	mi(t.sn2/m)	mi.dfi2		
10	150,633	37	5573,421	0,135	0,000631	15,3550459	6,1138E-06		
9	214,38	33,3	7138,854	0,173	0,000574	21,853211	7,2001E-06		
8	214,38	29,6	6345,648	0,154	0,000511	21,853211	5,7063E-06		
7	214,38	25,9	5552,442	0,135	0,000442	21,853211	4,2693E-06		
6	214,38	22,2	4759,236	0,115	0,00037	21,853211	2,9917E-06		
5	214,38	18,5	3966,03	0,096	0,000297	21,853211	1,9276E-06		
4	214,38	14,8	3172,824	0,077	0,000224	21,853211	1,0965E-06		
3	214,38	11,1	2379,618	0,058	0,000154	21,853211	5,1827E-07		
2	214,38	7,4	1586,412	0,038	8,9E-05	21,853211	1,731E-07		
1	214,38	3,7	793,206	0,019	3,2E-05	21,853211	2,2378E-08		
ΣW=	2080,053	Σ=	41267,691	1	T1=	1,67	3,0019E-05		
KAT	Ffi.dfi		Fi(t)[DM]	Vi(t)[DM]	M(x-y)[DM]	e(18.0,05)	Vw	ΣVw	
10	8,522E-05		19,25	19,25	17,32	0,90	8,79	8,79	
9	9,9296E-05		13,83	33,08	12,45	0,90	8,79	17,58	
8	7,8575E-05		12,30	45,38	11,07	0,90	8,79	26,37	
7	5,947E-05		10,76	56,14	9,68	0,90	8,79	35,16	
6	4,2671E-05		9,22	65,36	8,30	0,90	8,79	43,96	
5	2,8543E-05		7,68	73,04	6,92	0,90	6,39	50,35	
4	1,7222E-05		6,15	79,19	5,53	0,90	6,39	56,74	
3	8,8801E-06		4,61	83,80	4,15	0,90	6,39	63,14	
2	3,4213E-06		3,07	86,88	2,77	0,90	4,00	67,13	
1	6,1507E-07		1,54	88,41	1,38	0,90	4,00	71,13	
Σ=	0,00042391		88,41						
R=	7	Vt=W.A(T1)/Ra(T1)=			88,4136289	>	0,1,A0.I.W=		83,20212
		S(T1)=2,5.(TB/T1)0,8=			0,74384571		ΔFN	<	0,2Vt
T1=	1,37	A(T1)=A0.I.S(T1)=			0,29753829		8,44909011	<	17,6827258

Tablo A.9: 10KP Yapısına etkiyen yatay yüklerin hesaplanması

KAT	wi(t)	Hi(m)	wixHi(tm)	Ffi	dfi	mi(t.sn2/m)	mi.dfi2		
10	150,633	37	5573,421	0,135	0,000588	15,3550459	5,3089E-06		
9	214,38	33,3	7138,854	0,173	0,000513	21,853211	5,7511E-06		
8	214,38	29,6	6345,648	0,154	0,000438	21,853211	4,1924E-06		
7	214,38	25,9	5552,442	0,135	0,000362	21,853211	2,8637E-06		
6	214,38	22,2	4759,236	0,115	0,000289	21,853211	1,8252E-06		
5	214,38	18,5	3966,03	0,096	0,00022	21,853211	1,0577E-06		
4	214,38	14,8	3172,824	0,077	0,000156	21,853211	5,3182E-07		
3	214,38	11,1	2379,618	0,058	1E-04	21,853211	2,1853E-07		
2	214,38	7,4	1586,412	0,038	5,4E-05	21,853211	6,3724E-08		
1	214,38	3,7	793,206	0,019	2E-05	21,853211	8,7413E-09		
ΣW=	2080,053	Σ=	41267,691	1	T1=	1,55	2,1822E-05		
KAT	Ffi.dfi		Fi(t)[P]	Vi(t)[P]	M(x-y)[P]	e(18.0,05)	Vw	ΣVw	
10	7,9413E-05		21,28	21,28	19,15	0,90	8,79	8,79	
9	8,8743E-05		14,28	35,56	12,86	0,90	8,79	17,58	
8	6,735E-05		12,70	48,26	11,43	0,90	8,79	26,37	
7	4,8706E-05		11,11	59,37	10,00	0,90	8,79	35,16	
6	3,3329E-05		9,52	68,89	8,57	0,90	8,79	43,96	
5	2,1143E-05		7,94	76,83	7,14	0,90	6,39	50,35	
4	1,1994E-05		6,35	83,18	5,71	0,90	6,39	56,74	
3	5,7663E-06		4,76	87,94	4,29	0,90	6,39	63,14	
2	2,0759E-06		3,17	91,11	2,86	0,90	4,00	67,13	
1	3,8442E-07		1,59	92,70	1,43	0,90	4,00	71,13	
Σ=	0,0003589		92,70						
R=	6	Vt=W.A(T1)/Ra(T1)=			92,6984449	>	0,1,A0.I.W=		83,20212
		S(T1)=2,5.(TB/T1)0,8=			0,66848137		ΔFN	<	0,2Vt
T1=	1,56	A(T1)=A0.I.S(T1)=			0,26739255		10,1240696	<	18,539689

Tablo A.10: 15KMV1 Yapısına etkiyen yatay yüklerin hesaplanması

KAT	wi(t)	Hi(m)	wixHi(tm)	Ffi	dfi	mi(t.sn²/m)	mi.(dfi)²	
15	150,633	55,5	8360,1315	0,091	0,000696	15,3550459	7,4382E-06	
14	214,38	51,8	11104,884	0,121	0,000638	21,853211	8,8952E-06	
13	214,38	48,1	10311,678	0,113	0,000579	21,853211	7,3261E-06	
12	214,38	44,4	9518,472	0,104	0,000518	21,853211	5,8637E-06	
11	214,38	40,7	8725,266	0,095	0,000458	21,853211	4,584E-06	
10	214,38	37	7932,06	0,087	0,000399	21,853211	3,4791E-06	
9	214,38	33,3	7138,854	0,078	0,000342	21,853211	2,556E-06	
8	214,38	29,6	6345,648	0,069	0,000294	21,853211	1,8889E-06	
7	214,38	25,9	5552,442	0,061	0,000284	21,853211	1,7626E-06	
6	214,38	22,2	4759,236	0,052	0,000238	21,853211	1,2379E-06	
5	214,38	18,5	3966,03	0,043	0,000185	21,853211	7,4793E-07	
4	214,38	14,8	3172,824	0,035	0,000136	21,853211	4,042E-07	
3	214,38	11,1	2379,618	0,026	9E-05	21,853211	1,7701E-07	
2	214,38	7,4	1586,412	0,017	5E-05	21,853211	5,4633E-08	
1	214,38	3,7	793,206	0,009	1,8E-05	21,853211	7,0804E-09	
ΣW=	3151,953	Σ=	91646,7615	1	T1=	2,06	4,6423E-05	
KAT	Ffi.dfi	Fi(t)[M]	Vi(t)[M]	M(x-y)[M]	e(18.0,05)	Vw	ΣVw	
15	6,349E-05	26,36	26,36	23,72	0,90	8,79	8,79	
14	7,7307E-05	16,53	42,89	14,88	0,90	8,79	17,58	
13	6,5146E-05	15,35	58,24	13,82	0,90	8,79	26,37	
12	5,38E-05	14,17	72,41	12,75	0,90	8,79	35,16	
11	4,3604E-05	12,99	85,40	11,69	0,90	8,79	43,96	
10	3,4534E-05	11,81	97,21	10,63	0,90	8,79	52,75	
9	2,664E-05	10,63	107,84	9,57	0,90	8,79	61,54	
8	2,0357E-05	9,45	117,29	8,50	0,90	8,79	70,33	
7	1,7206E-05	8,27	125,55	7,44	0,90	8,79	79,12	
6	1,2359E-05	7,09	132,64	6,38	0,90	8,79	87,91	
5	8,0059E-06	5,90	138,54	5,31	0,90	6,39	94,31	
4	4,7083E-06	4,72	143,27	4,25	0,90	6,39	100,70	
3	2,3369E-06	3,54	146,81	3,19	0,90	6,39	107,09	
2	8,655E-07	2,36	149,17	2,13	0,90	4,00	111,09	
1	1,5579E-07	1,18	150,35	1,06	0,90	4,00	115,08	
Σ=	0,00043052	150,35						
R=	6,4	Vt=W.A(T1)/Ra(T1)=		150,352827	>	0,1,A0.I.W=		126,07812
		S(T1)=2,5.(TB/T1)0,8=		0,7632237		ΔFN	<	0,2Vt
T1=	1,32	A(T1)=A0.I.S(T1)=		0,30528948		13,9136506	<	30,0705654

Tablo A.11: 15KMV2(R=3) Yapısına etkiyen yatay yüklerin hesaplanması

KAT	wi(t)	Hi(m)	wixHi(tm)	Ffi	dfi	mi(t.sn²/m)	mi.(dfi)²	
15	150,633	55,5	8360,1315	0,091	0,000363	15,3550459	2,0233E-06	
14	214,38	51,8	11104,884	0,121	0,000357	21,853211	2,7852E-06	
13	214,38	48,1	10311,678	0,113	0,000336	21,853211	2,4671E-06	
12	214,38	44,4	9518,472	0,104	0,00031	21,853211	2,1001E-06	
11	214,38	40,7	8725,266	0,095	0,000281	21,853211	1,7256E-06	
10	214,38	37	7932,06	0,087	0,00025	21,853211	1,3658E-06	
9	214,38	33,3	7138,854	0,078	0,000217	21,853211	1,029E-06	
8	214,38	29,6	6345,648	0,069	0,000189	21,853211	7,8062E-07	
7	214,38	25,9	5552,442	0,061	0,000181	21,853211	7,1593E-07	
6	214,38	22,2	4759,236	0,052	0,000153	21,853211	5,1156E-07	
5	214,38	18,5	3966,03	0,043	0,00012	21,853211	3,1469E-07	
4	214,38	14,8	3172,824	0,035	8,8E-05	21,853211	1,6923E-07	
3	214,38	11,1	2379,618	0,026	5,9E-05	21,853211	7,6071E-08	
2	214,38	7,4	1586,412	0,017	3,2E-05	21,853211	2,2378E-08	
1	214,38	3,7	793,206	0,009	1,1E-05	21,853211	2,6442E-09	
ΣW=	3151,953	Σ=	91646,7615	1	T1=	1,58	1,6089E-05	
KAT	Ffi.dfi	Fi(t)[M]	Vi(t)[M]	M(x-y)[M]	e(18.0,05)	Vw	ΣVw	
15	3,3113E-05	56,23	56,23	50,61	0,90	8,79	8,79	
14	4,3258E-05	35,27	91,50	31,74	0,90	8,79	17,58	
13	3,7805E-05	32,75	124,25	29,47	0,90	8,79	26,37	
12	3,2197E-05	30,23	154,48	27,21	0,90	8,79	35,16	
11	2,6753E-05	27,71	182,20	24,94	0,90	8,79	43,96	
10	2,1638E-05	25,19	207,39	22,67	0,90	8,79	52,75	
9	1,6903E-05	22,67	230,06	20,41	0,90	8,79	61,54	
8	1,3086E-05	20,15	250,21	18,14	0,90	8,79	70,33	
7	1,0966E-05	17,63	267,85	15,87	0,90	8,79	79,12	
6	7,9453E-06	15,12	282,96	13,60	0,90	8,79	87,91	
5	5,193E-06	12,60	295,56	11,34	0,90	6,39	94,31	
4	3,0466E-06	10,08	305,64	9,07	0,90	6,39	100,70	
3	1,5319E-06	7,56	313,20	6,80	0,90	6,39	107,09	
2	5,5392E-07	5,04	318,23	4,53	0,90	4,00	111,09	
1	9,5205E-08	2,52	320,75	2,27	0,90	4,00	115,08	
Σ=	0,00025409	320,75						
R=	3	Vt=W.A(T1)/Ra(T1)=		320,752698	>	0,1,A0.I.W=		126,07812
		S(T1)=2,5.(TB/T1)0,8=		0,7632237		ΔFN	<	0,2Vt
T1=	1,32	A(T1)=A0.I.S(T1)=		0,30528948		29,6824547	<	64,1505396

Tablo A.12: 15KDMV2 Yapısına etkiyen yatay yüklerin hesaplanması

KAT	wi(t)	Hi(m)	wixHi(tm)	Ffi	dfi	mi(t.sn2/m)	mi.(dfi)2	
15	150,633	55,5	8360,1315	0,091	0,000813	15,3550459	1,0149E-05	
14	214,38	51,8	11104,884	0,121	0,000804	21,853211	1,4126E-05	
13	214,38	48,1	10311,678	0,113	0,000759	21,853211	1,2589E-05	
12	214,38	44,4	9518,472	0,104	0,000701	21,853211	1,0739E-05	
11	214,38	40,7	8725,266	0,095	0,000637	21,853211	8,8674E-06	
10	214,38	37	7932,06	0,087	0,000568	21,853211	7,0504E-06	
9	214,38	33,3	7138,854	0,078	0,000496	21,853211	5,3762E-06	
8	214,38	29,6	6345,648	0,069	0,000435	21,853211	4,1352E-06	
7	214,38	25,9	5552,442	0,061	0,000413	21,853211	3,7275E-06	
6	214,38	22,2	4759,236	0,052	0,00035	21,853211	2,677E-06	
5	214,38	18,5	3966,03	0,043	0,000275	21,853211	1,6526E-06	
4	214,38	14,8	3172,824	0,035	0,000204	21,853211	9,0944E-07	
3	214,38	11,1	2379,618	0,026	0,000139	21,853211	4,2223E-07	
2	214,38	7,4	1586,412	0,017	7,9E-05	21,853211	1,3639E-07	
1	214,38	3,7	793,206	0,009	2,9E-05	21,853211	1,8379E-08	
ΣW=	3151,953	Σ=	91646,7615	1	T1=	2,38	8,2576E-05	
KAT	Ffi.dfi	Fi(t)[DM]	Vi(t)[DM]	M(x-y)[DM]	e(18.0,05)	Vw	ΣVw	
15	7,4163E-05	26,34	26,34	23,71	0,90	8,79	8,79	
14	9,7421E-05	13,30	39,64	11,97	0,90	8,79	17,58	
13	8,5399E-05	12,35	51,99	11,11	0,90	8,79	26,37	
12	7,2806E-05	11,40	63,39	10,26	0,90	8,79	35,16	
11	6,0646E-05	10,45	73,84	9,40	0,90	8,79	43,96	
10	4,9161E-05	9,50	83,33	8,55	0,90	8,79	52,75	
9	3,8636E-05	8,55	91,88	7,69	0,90	8,79	61,54	
8	3,012E-05	7,60	99,48	6,84	0,90	8,79	70,33	
7	2,5022E-05	6,65	106,13	5,98	0,90	8,79	79,12	
6	1,8176E-05	5,70	111,83	5,13	0,90	8,79	87,91	
5	1,1901E-05	4,75	116,58	4,27	0,90	6,39	94,31	
4	7,0625E-06	3,80	120,38	3,42	0,90	6,39	100,70	
3	3,6091E-06	2,85	123,23	2,56	0,90	6,39	107,09	
2	1,3675E-06	1,90	125,13	1,71	0,90	4,00	111,09	
1	2,51E-07	0,95	126,08	0,85	0,90	4,00	115,08	
Σ=	0,00057574	126,08						
R=	7	Vt=W.A(T1)/Ra(T1)=		105,043647	<	0,1.A0.I.W=		126,07812
		S(T1)=2,5.(TB/T1)0,8=		0,58321423		ΔFN	<	0,2Vt
T1=	1,85	A(T1)=A0.I.S(T1)=		0,23328569		16,3304779	<	25,215624

Tablo A.13: 15KP Yapısına etkiyen yatay yüklerin hesaplanması

KAT	wi(t)	Hi(m)	wixHi(tm)	Ffi	dfi	mi(t.sn2/m)	mi.(dfi)2	
15	150,633	55,5	8360,1315	0,091	0,000954	15,3550459	1,3975E-05	
14	214,38	51,8	11104,884	0,121	0,000869	21,853211	1,6503E-05	
13	214,38	48,1	10311,678	0,113	0,000785	21,853211	1,3466E-05	
12	214,38	44,4	9518,472	0,104	0,0007	21,853211	1,0708E-05	
11	214,38	40,7	8725,266	0,095	0,000617	21,853211	8,3193E-06	
10	214,38	37	7932,06	0,087	0,000534	21,853211	6,2316E-06	
9	214,38	33,3	7138,854	0,078	0,000454	21,853211	4,5043E-06	
8	214,38	29,6	6345,648	0,069	0,000376	21,853211	3,0895E-06	
7	214,38	25,9	5552,442	0,061	0,000303	21,853211	2,0063E-06	
6	214,38	22,2	4759,236	0,052	0,000234	21,853211	1,1966E-06	
5	214,38	18,5	3966,03	0,043	0,000172	21,853211	6,4651E-07	
4	214,38	14,8	3172,824	0,035	0,000117	21,853211	2,9915E-07	
3	214,38	11,1	2379,618	0,026	7,2E-05	21,853211	1,1329E-07	
2	214,38	7,4	1586,412	0,017	3,6E-05	21,853211	2,8322E-08	
1	214,38	3,7	793,206	0,009	1,1E-05	21,853211	2,6442E-09	
ΣW=	3151,953	Σ=	91646,7615	1	T1=	2,38	8,109E-05	
KAT	Ffi.dfi	Fi(t)[P]	Vi(t)[P]	M(x-y)[P]	e(18.0,05)	Vw	ΣVw	
15	8,7025E-05	28,46	28,46	25,62	0,90	8,79	8,79	
14	0,0001053	13,02	41,48	11,71	0,90	8,79	17,58	
13	8,8325E-05	12,09	53,56	10,88	0,90	8,79	26,37	
12	7,2702E-05	11,16	64,72	10,04	0,90	8,79	35,16	
11	5,8742E-05	10,23	74,95	9,20	0,90	8,79	43,96	
10	4,6218E-05	9,30	84,24	8,37	0,90	8,79	52,75	
9	3,5364E-05	8,37	92,61	7,53	0,90	8,79	61,54	
8	2,6034E-05	7,44	100,05	6,69	0,90	8,79	70,33	
7	1,8357E-05	6,51	106,55	5,86	0,90	8,79	79,12	
6	1,2152E-05	5,58	112,13	5,02	0,90	8,79	87,91	
5	7,4433E-06	4,65	116,78	4,18	0,90	6,39	94,31	
4	4,0506E-06	3,72	120,50	3,35	0,90	6,39	100,70	
3	1,8695E-06	2,79	123,29	2,51	0,90	6,39	107,09	
2	6,2316E-07	1,86	125,15	1,67	0,90	4,00	111,09	
1	9,5205E-08	0,93	126,08	0,84	0,90	4,00	115,08	
Σ=	0,0005643	126,08						
R=	6	Vt=W.A(T1)/Ra(T1)=		110,134409	<	0,1.A0.I.W=		126,07812
		S(T1)=2,5.(TB/T1) ^{0,8} =		0,52412461		ΔFN	<	0,2Vt
T1=	2,11	A(T1)=A0.I.S(T1)=		0,20964984		18,6634033	<	25,215624

Tablo A.14: 15KMV2 Yapısına etkiyen yatay yüklerin hesaplanması

KAT	wi(t)	Hi(m)	wixHi(tm)	Ffi	dfi	mi(t.sn²/m)	mi.(dfi)²	
15	150,633	55,5	8360,1315	0,091	0,000529	15,3550459	4,297E-06	
14	214,38	51,8	11104,884	0,121	0,000521	21,853211	5,9319E-06	
13	214,38	48,1	10311,678	0,113	0,000491	21,853211	5,2684E-06	
12	214,38	44,4	9518,472	0,104	0,000453	21,853211	4,4845E-06	
11	214,38	40,7	8725,266	0,095	0,000411	21,853211	3,6915E-06	
10	214,38	37	7932,06	0,087	0,000366	21,853211	2,9274E-06	
9	214,38	33,3	7138,854	0,078	0,000319	21,853211	2,2238E-06	
8	214,38	29,6	6345,648	0,069	0,000279	21,853211	1,7011E-06	
7	214,38	25,9	5552,442	0,061	0,000268	21,853211	1,5696E-06	
6	214,38	22,2	4759,236	0,052	0,000226	21,853211	1,1162E-06	
5	214,38	18,5	3966,03	0,043	0,000177	21,853211	6,8464E-07	
4	214,38	14,8	3172,824	0,035	0,000131	21,853211	3,7502E-07	
3	214,38	11,1	2379,618	0,026	8,7E-05	21,853211	1,6541E-07	
2	214,38	7,4	1586,412	0,017	4,9E-05	21,853211	5,247E-08	
1	214,38	3,7	793,206	0,009	1,8E-05	21,853211	7,0804E-09	
ΣW=	3151,953	Σ=	91646,7615	1	T1=	1,91	3,4496E-05	
KAT	Ffi.dfi	Fi(t)[M]	Vi(t)[M]	M(x-y)[M]	e(18.0,05)	Vw	ΣVw	
15	4,8256E-05	26,36	26,36	23,72	0,90	8,79	8,79	
14	6,313E-05	16,53	42,89	14,88	0,90	8,79	17,58	
13	5,5245E-05	15,35	58,24	13,82	0,90	8,79	26,37	
12	4,7049E-05	14,17	72,41	12,75	0,90	8,79	35,16	
11	3,9129E-05	12,99	85,40	11,69	0,90	8,79	43,96	
10	3,1677E-05	11,81	97,21	10,63	0,90	8,79	52,75	
9	2,4849E-05	10,63	107,84	9,57	0,90	8,79	61,54	
8	1,9318E-05	9,45	117,29	8,50	0,90	8,79	70,33	
7	1,6237E-05	8,27	125,55	7,44	0,90	8,79	79,12	
6	1,1736E-05	7,09	132,64	6,38	0,90	8,79	87,91	
5	7,6597E-06	5,90	138,54	5,31	0,90	6,39	94,31	
4	4,5352E-06	4,72	143,27	4,25	0,90	6,39	100,70	
3	2,259E-06	3,54	146,81	3,19	0,90	6,39	107,09	
2	8,4819E-07	2,36	149,17	2,13	0,90	4,00	111,09	
1	1,5579E-07	1,18	150,35	1,06	0,90	4,00	115,08	
Σ=	0,00037208	150,35						
R=	6,4	Vt=W.A(T1)/Ra(T1)=		150,352827	>	0,1,A0.I.W=		126,07812
		S(T1)=2,5.(TB/T1)0,8=		0,7632237		ΔFN	<	0,2Vt
T1=	1,32	A(T1)=A0.I.S(T1)=		0,30528948		13,9136506	<	30,0705654

Tablo A.15: 15KPV1 Yapısına etkiyen yatay yüklerin hesaplanması

KAT	wi(t)	Hi(m)	wixHi(tm)	Ffi	dfi	mi(t.sn2/m)	mi.(dfi)2	
15	150,633	55,5	8360,1315	0,091	0,000942	15,3550459	1,3626E-05	
14	214,38	51,8	11104,884	0,121	0,000869	21,853211	1,6503E-05	
13	214,38	48,1	10311,678	0,113	0,000795	21,853211	1,3812E-05	
12	214,38	44,4	9518,472	0,104	0,000718	21,853211	1,1266E-05	
11	214,38	40,7	8725,266	0,095	0,000641	21,853211	8,9791E-06	
10	214,38	37	7932,06	0,087	0,000563	21,853211	6,9268E-06	
9	214,38	33,3	7138,854	0,078	0,000485	21,853211	5,1404E-06	
8	214,38	29,6	6345,648	0,069	0,000412	21,853211	3,7095E-06	
7	214,38	25,9	5552,442	0,061	0,000388	21,853211	3,2899E-06	
6	214,38	22,2	4759,236	0,052	0,000319	21,853211	2,2238E-06	
5	214,38	18,5	3966,03	0,043	0,000249	21,853211	1,3549E-06	
4	214,38	14,8	3172,824	0,035	0,000185	21,853211	7,4793E-07	
3	214,38	11,1	2379,618	0,026	0,000126	21,853211	3,4694E-07	
2	214,38	7,4	1586,412	0,017	7,4E-05	21,853211	1,1967E-07	
1	214,38	3,7	793,206	0,009	3,1E-05	21,853211	2,1001E-08	
ΣW=	3151,953	Σ=	91646,7615	1	T1=	2,42	8,8066E-05	
KAT	Ffi.dfi	Fi(t)[P]	Vi(t)[P]	M(x-y)[P]	e(18.0,05)	Vw	ΣVw	
15	8,593E-05	28,46	28,46	25,62	0,90	8,79	8,79	
14	0,0001053	13,02	41,48	11,71	0,90	8,79	17,58	
13	8,945E-05	12,09	53,56	10,88	0,90	8,79	26,37	
12	7,4572E-05	11,16	64,72	10,04	0,90	8,79	35,16	
11	6,1027E-05	10,23	74,95	9,20	0,90	8,79	43,96	
10	4,8728E-05	9,30	84,24	8,37	0,90	8,79	52,75	
9	3,7779E-05	8,37	92,61	7,53	0,90	8,79	61,54	
8	2,8527E-05	7,44	100,05	6,69	0,90	8,79	70,33	
7	2,3507E-05	6,51	106,55	5,86	0,90	8,79	79,12	
6	1,6566E-05	5,58	112,13	5,02	0,90	8,79	87,91	
5	1,0776E-05	4,65	116,78	4,18	0,90	6,39	94,31	
4	6,4047E-06	3,72	120,50	3,35	0,90	6,39	100,70	
3	3,2716E-06	2,79	123,29	2,51	0,90	6,39	107,09	
2	1,2809E-06	1,86	125,15	1,67	0,90	4,00	111,09	
1	2,6831E-07	0,93	126,08	0,84	0,90	4,00	115,08	
Σ=	0,00059338	126,08						
R=	6	Vt=W.A(T1)/Ra(T1)=		110,134409	<	0,1.A0.I.W=		126,07812
		S(T1)=2,5.(TB/T1)0,8=		0,52412461		ΔFN	<	0,2Vt
T1=	2,11	A(T1)=A0.I.S(T1)=		0,20964984		18,6634033	<	25,215624

Tablo A.16: 15KPV2 Yapısına etkiyen yatay yüklerin hesaplanması

KAT	wi(t)	Hi(m)	wixHi(tm)	Ffi	dfi	mi(t.sn2/m)	mi.(dfi)2	
15	150,633	55,5	8360,1315	0,091	0,000706	15,3550459	7,6535E-06	
14	214,38	51,8	11104,884	0,121	0,000694	21,853211	1,0525E-05	
13	214,38	48,1	10311,678	0,113	0,000649	21,853211	9,2046E-06	
12	214,38	44,4	9518,472	0,104	0,000598	21,853211	7,8148E-06	
11	214,38	40,7	8725,266	0,095	0,000544	21,853211	6,4672E-06	
10	214,38	37	7932,06	0,087	0,000488	21,853211	5,2042E-06	
9	214,38	33,3	7138,854	0,078	0,000428	21,853211	4,0032E-06	
8	214,38	29,6	6345,648	0,069	0,000427	21,853211	3,9845E-06	
7	214,38	25,9	5552,442	0,061	0,000348	21,853211	2,6465E-06	
6	214,38	22,2	4759,236	0,052	0,00029	21,853211	1,8379E-06	
5	214,38	18,5	3966,03	0,043	0,000229	21,853211	1,146E-06	
4	214,38	14,8	3172,824	0,035	0,000172	21,853211	6,4651E-07	
3	214,38	11,1	2379,618	0,026	0,000118	21,853211	3,0428E-07	
2	214,38	7,4	1586,412	0,017	7,1E-05	21,853211	1,1016E-07	
1	214,38	3,7	793,206	0,009	3E-05	21,853211	1,9668E-08	
ΣW=	3151,953	Σ=	91646,7615	1	T1=	2,21	6,1568E-05	
KAT	Ffi.dfi	Fi(t)[P]	Vi(t)[P]	M(x-y)[P]	e(18.0,05)	Vw	ΣVw	
15	6,4402E-05	28,46	28,46	25,62	0,90	8,79	8,79	
14	8,4092E-05	13,02	41,48	11,71	0,90	8,79	17,58	
13	7,3023E-05	12,09	53,56	10,88	0,90	8,79	26,37	
12	6,2109E-05	11,16	64,72	10,04	0,90	8,79	35,16	
11	5,1792E-05	10,23	74,95	9,20	0,90	8,79	43,96	
10	4,2237E-05	9,30	84,24	8,37	0,90	8,79	52,75	
9	3,3339E-05	8,37	92,61	7,53	0,90	8,79	61,54	
8	2,9566E-05	7,44	100,05	6,69	0,90	8,79	70,33	
7	2,1084E-05	6,51	106,55	5,86	0,90	8,79	79,12	
6	1,506E-05	5,58	112,13	5,02	0,90	8,79	87,91	
5	9,91E-06	4,65	116,78	4,18	0,90	6,39	94,31	
4	5,9547E-06	3,72	120,50	3,35	0,90	6,39	100,70	
3	3,0639E-06	2,79	123,29	2,51	0,90	6,39	107,09	
2	1,229E-06	1,86	125,15	1,67	0,90	4,00	111,09	
1	2,5965E-07	0,93	126,08	0,84	0,90	4,00	115,08	
Σ=	0,00049712	126,08						
R=	6	Vt=W.A(T1)/Ra(T1)=		110,134409	<	0,1.A0.I.W=		126,07812
		S(T1)=2,5.(TB/T1)0,8=		0,52412461		ΔFN	<	0,2Vt
T1=	2,11	A(T1)=A0.I.S(T1)=		0,20964984		18,6634033	<	25,215624

EK B

Seçilen Kesitlerin Gerilme Kontrolleri

Seçilen Kesitlerin Tahkikleri

Çevre Kirişlerin Boyutlandırılması

Seçilen Kesit: **IPE 400**

d= 40 cm	b= 18 cm	A= 84,46 cm ²
t _f = 1,35 cm	t _w = 0,86 cm	W _x = 1156 cm ³
I _x = 23130 cm ⁴	i _x = 16,55 cm	i _y = 3,95 cm

Seçilen Kiriş Profili İçin Enkesit Koşullarının Sağlanması

$b / 2t_f < 9,2 \Rightarrow 18 / (2 \cdot 1,35) = 6,67 < 9,2$	(uygun)
$d / t_w < 90,5 \Rightarrow 40 / 0,86 = 46,51 < 90,5$	(uygun)

Kirişin Boyutlandırılmasında Kullanılacak Yük Birleşimi

1,0G+1,0Q+1,0E

N= 0 t	M= 9,98 tm	V= 5,22 t
--------	------------	-----------

Kiriş İçin Gereken Gerilme Kontrolleri

$$\sigma = \frac{M}{W_x} \leq \sigma_{cem} = 2,16 \text{ t/cm}^2 \Rightarrow 998 / 1156 = 0,86 \text{ t/cm}^2 < 2,16 \text{ t/cm}^2 \text{ (uygun)}$$

$$\tau = \frac{Q}{t_w h_i} \leq \tau_{em} = 1,247 \text{ t/cm}^2$$

$$\tau = \frac{5,22}{0,86 \cdot 37,3} = 0,163 \text{ t/cm}^2 < 1,247 \text{ t/cm}^2 \text{ (uygun)}$$

Sehim kontrolü:

$$\text{Analiz sonucunda elde edilen sehim} = 0,7 \text{ cm} \leq \frac{l}{300} = \frac{600}{300} = 2 \text{ cm}$$

Yanal Burkulma Tahkiki:

$$I_{yb} = t_f \frac{b_f^3}{12} = 1,35 \frac{18^3}{12} \Rightarrow I_{yb} = 656,1 \text{ cm}^4$$

$$F_{yb} = b_f t_f + \left(\frac{d - 2t_f}{2} \frac{1}{3} \right) t_w \Rightarrow F_{yb} = 18 \cdot 1,35 + \left(\frac{40 - 2 \cdot 1,35}{2} \frac{1}{3} \right) \cdot 0,86 \Rightarrow F_{yb} = 29,65 \text{ cm}^2$$

$$i_{yb} = \sqrt{I_{yb} / F_{yb}} \Rightarrow i_{yb} = \sqrt{656,1 / 29,65} \Rightarrow i_{yb} = 4,7 \text{ cm}$$

$$C_b = 1,75 + 1,05 \left(\frac{M_1}{M_2} \right) + 0,3 \left(\frac{M_1}{M_2} \right) \leq 2,3 \Rightarrow C_b = 1,75$$

$$\frac{s}{i_{yb}} \leq \sqrt{\frac{300000000C_b}{\sigma_y}} \Rightarrow \sigma_B = \left[\frac{2}{3} - \frac{\sigma_y (s/i_{yb})^2}{900000000C_b} \right] \sigma_y < 0,6.1,33\sigma_y$$

$$\frac{s}{i_{yb}} \geq \sqrt{\frac{300000000C_b}{\sigma_y}} \Rightarrow \sigma_B = \frac{100000000C_b}{(s/i_{yb})^2}$$

$$\frac{s}{i_{yb}} = 600/4,7 = 127,6$$

$$\sqrt{\frac{300000000C_b}{\sigma_y}} = \sqrt{\frac{300000000.1,75}{3600}} = 120,761$$

$$\Rightarrow \frac{s}{i_{yb}} > \sqrt{\frac{300000000C_b}{\sigma_y}}$$

$$\sigma_B = \frac{100000000C_b}{(s/i_{yb})^2} = \frac{100000000.1,75}{127,6^2} = 1075,81 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_B = 1075,81 \text{ kg/cm}^2 < 2160 \text{ kg/cm}^2 \Rightarrow \sigma_B = 1075,81 \text{ kg/cm}^2$$

$$\frac{\sigma_{bx}}{\sigma_{Bx}} = \frac{860}{1075,81} = 0,80 < 1 \text{ (uygun)}$$

İç Kirişlerin Boyutlandırılması

Seçilen Kesit: **IPE 450**

d= 45 cm	b= 19 cm	A= 98,82 cm ²
t _f = 1,46 cm	t _w = 0,94 cm	W _x = 1500 cm ³
I _x = 33740 cm ⁴	i _x = 18,48 cm	i _y = 4,12 cm

Seçilen Kiriş Profili İçin Enkesit Koşullarının Sağlanması

$b/2t_f < 9,2 \Rightarrow 19/(2. 1,46) = 6,51 < 9,2$	(uygun)
$d/t_w < 90,5 \Rightarrow 45/0,94 = 47,9 < 90,5$	(uygun)

Kirişin Boyutlandırılmasında Kullanılacak Yük Birleşimi

1,0G+1,0Q+1,0E

N= 0 t	M= 17,28 tm	V= 8,67 t
--------	-------------	-----------

Kiriş İçin Gereken Gerilme Kontrolleri

$$\sigma = \frac{M}{W_x} \leq \sigma_{\zeta em} = 2,16 \text{ t/cm}^2 \Rightarrow 1728/1500 = 1,152 \text{ t/cm}^2 < 2,16 \text{ t/cm}^2 \text{ (uygun)}$$

$$\tau = \frac{Q}{t_w h_i} \leq \tau_{em} = 1,247 \text{ t/cm}^2$$

$$\tau = \frac{8,67}{0,94.42,08} = 0,22 \text{ t/cm}^2 < 1,247 \text{ t/cm}^2 \text{ (uygun)}$$

Sehim kontrolü:

$$\text{Analiz sonucunda elde edilen sehim} = 0,9 \text{ cm} \leq \frac{l}{300} = \frac{600}{300} = 2 \text{ cm}$$

Yanal Burkulma Tahkiki:

$$I_{yb} = t_f \frac{b_f^3}{12} = 1,46 \frac{19^3}{12} \Rightarrow I_{yb} = 834,5 \text{ cm}^4$$

$$F_{yb} = b_f t_f + \left(\frac{d - 2t_f}{2} \frac{1}{3} \right) t_w \Rightarrow F_{yb} = 19.1,46 + \left(\frac{40 - 2.1,46}{2} \frac{1}{3} \right) 0,94 \Rightarrow F_{yb} = 34,33 \text{ cm}^2$$

$$i_{yb} = \sqrt{I_{yb} / F_{yb}} \Rightarrow i_{yb} = \sqrt{834,5 / 34,33} \Rightarrow i_{yb} = 4,9 \text{ cm}$$

$$C_b = 1,75 + 1,05 \left(\frac{M_1}{M_2} \right) + 0,3 \left(\frac{M_1}{M_2} \right) \leq 2,3 \Rightarrow C_b = 1,75$$

$$\frac{s}{i_{yb}} \leq \sqrt{\frac{30000000 C_b}{\sigma_y}} \Rightarrow \sigma_B = \left[\frac{2}{3} - \frac{\sigma_y (s / i_{yb})^2}{90000000 C_b} \right] \sigma_y < 0,6.1,33 \sigma_y$$

$$\frac{s}{i_{yb}} \geq \sqrt{\frac{30000000 C_b}{\sigma_y}} \Rightarrow \sigma_B = \frac{10000000 C_b}{(s / i_{yb})^2}$$

$$\frac{s}{i_{yb}} = 600 / 4,9 = 121,7$$

$$\sqrt{\frac{30000000 C_b}{\sigma_y}} = \sqrt{\frac{30000000.1,75}{3600}} = 120,761$$

$$\Rightarrow \frac{s}{i_{yb}} > \sqrt{\frac{30000000 C_b}{\sigma_y}}$$

$$\sigma_B = \frac{10000000 C_b}{(s / i_{yb})^2} = \frac{10000000.1,75}{121,7^2} = 1181,6 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_B = 1181,6 \text{ kg/cm}^2 < 2160 \text{ kg/cm}^2 \Rightarrow \sigma_B = 1181,6 \text{ kg/cm}^2$$

$$\frac{\sigma_{bx}}{\sigma_{Bx}} = \frac{1152}{1181,6} = 0,99 < 1 \text{ (uygun)}$$

Bağlantı Kirişlerinin Boyutlandırılması (5KDM,10KDM,15KDM)

Seçilen Kesit: IPE 400 (Çevre Kirişi)

d= 40 cm	b= 18 cm	A= 84,46 cm ²
t _f = 1,35 cm	t _w = 0,86 cm	W _x = 1156 cm ³
I _x = 23130 cm ⁴	i _x = 16,55 cm	i _y = 3,95 cm
W _{pl,x} = 1307 cm ³	r=2,1	

Seçilen Kiriş Profili İçin Enkesit Koşullarının Sağlanması

$b/2t_f < 9,2 \Rightarrow 18/(2 \cdot 1,35) = 6,67 < 9,2$	(uygun)
$d/t_w < 90,5 \Rightarrow 40/0,86 = 46,51 < 90,5$	(uygun)

Kirişin Boyutlandırılmasında Kullanılacak Yük Birleşimi

1,0G+1,0Q+1,0E

N= 0 t	M= 9,98 tm	V= 20,3 t
--------	------------	-----------

Bağlantı Kirişinin Boyu

$$\frac{l}{10} < e < \frac{l}{5} \text{ olmalı.}$$

$$e=1m, l=6m$$

$$\frac{l}{10} = \frac{6}{10} = 0,6m < e = 1m < \frac{l}{5} = \frac{6}{5} = 1,2m \text{ (uygun)}$$

Bağlantı Kirişi Kesme Kuvveti Kontrolü

$$V_u \leq 0,9V_n$$

$$V_n = \min \left[\begin{array}{l} V_p \\ 2M_p / e \end{array} \right]$$

$$V_p = 0,60(d - 2t_f)t_w\sigma_y = 0,6 \cdot (40 - 2 \cdot 1,35) \cdot 0,86 \cdot 3,6 = 69,3t$$

$$M_p = W_p\sigma_y = 1307 \cdot 3,6 = 4705,2 \text{ tcm}$$

$$2M_p / e = 2 \cdot 4705,2 / 100 = 94,1$$

$$\Rightarrow V_n = 69,3t$$

$$0,9V_n = 0,9.69,3=62,4t$$

$$V_u = 28,1t \leq 0,9V_n = 62,4t \text{ (uygun)}$$

TS 648'e göre Bağlantı Kirişi Kesme Kuvveti Kontrolü

$$\tau = \frac{28,1}{0,86.37,3} = 0,88 \text{ t/cm}^2 < 1,247 \text{ t/cm}^2 \text{ (uygun)}$$

*Eksenel Kuvvetin Bağlantı kirişi Kesme Dayanımına olan etkisi N=0 olduğu için yoktur.

Bağlantı Kirişi Dönme Açısı Kontrolü

$\delta = 0,4cm$ ile en elverişsiz olan 15KDM'dir. 5KDM ve 10KDM için tahkike gerek yoktur.

$$e=100cm < 1,6 \frac{M_p}{V_p} = 1,6 \frac{4705,2}{69,3} = 108,65cm \Rightarrow \gamma_p \leq 0,08 \text{radyan olmalı.}$$

$$\gamma_p = \frac{L}{e} \theta_p = \frac{L}{e} \frac{\delta}{h} = \frac{600}{100} \frac{0,4}{370} = 0,007 < 0,08 \text{ radyan (uygun)}$$

Kolonun Boyutlandırılması (15KM-V1)

Seçilen Kesit: **HE 400 M**

d= 43,2 cm	b= 30,7 cm	A= 325,8 cm ²
t _f = 4 cm	t _w = 2,1 cm	W _x = 4820 cm ³
I _x = 104100 cm ⁴	i _x = 17,88 cm	i _y = 7,7 cm

Seçilen Kolon Profili İçin Enkesit Koşullarının Sağlanması

$b / 2t_f < 9,2 \Rightarrow 30,7/(2.4)= 3,84 < 9,2$	(uygun)
$d / t_w < 90,5 \Rightarrow 43,2/2,1= 20,57 < 90,5$	(uygun)

Kolonun Boyutlandırılmasında Kullanılacak Yük Birleşimi

$$1,0G+1,0Q+1,0E$$

N= -510 t	M= 12,82 tm	V= 3,5 t
-----------	-------------	----------

Kolon İçin Gereken Gerilme Kontrolleri

$$\lambda = \frac{kl}{r_y} = 1.370/7,7 = 48,05 \Rightarrow \sigma_{bem} = 1604,8 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{eb} = \frac{N}{A} = 510.1000/325,8 = 1565 \text{ kg/cm}^2$$

$$\frac{\sigma_{eb}}{1,33\sigma_{bem}} > 0,15 \Rightarrow \begin{cases} \frac{\sigma_{eb}}{1,33\sigma_{bem}} + \frac{C_{mx}\sigma_{bx}}{\left(1 - \frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{ex}}\right)\sigma_{Bx}} \leq 1 \\ \frac{\sigma_{eb}}{0,6.1,33.\sigma_y} + \frac{\sigma_{bx}}{\sigma_{Bx}} \leq 1 \end{cases}$$

$$\frac{\sigma_{eb}}{1,33.\sigma_{bem}} \leq 0,15 \Rightarrow \frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{bem}} + \frac{\sigma_{bx}}{\sigma_{Bx}} \leq 1$$

$$\frac{\sigma_{eb}}{1,33\sigma_{bem}} = \frac{1565}{1,33.1604,8} = 0,733 > 0,15$$

$$I_{yb} = t_f \frac{b_f^3}{12} = 4 \frac{30,7^3}{12} \Rightarrow I_{yb} = 9645 \text{ cm}^4$$

$$F_{yb} = b_f t_f + \left(\frac{d - 2t_f}{2} \frac{1}{3} \right) t_w \Rightarrow F_{yb} = 30,7.4 + \left(\frac{43,2 - 2.4}{2} \frac{1}{3} \right) 2,1 \Rightarrow F_{yb} = 135,12 \text{ cm}^2$$

$$i_{yb} = \sqrt{I_{yb} / F_{yb}} \Rightarrow i_{yb} = \sqrt{9645 / 135,12} \Rightarrow i_{yb} = 8,45 \text{ cm}$$

$$C_b = 1,75 + 1,05 \left(\frac{M_1}{M_2} \right) + 0,3 \left(\frac{M_1}{M_2} \right) \leq 2,3 \Rightarrow C_b = 1,75$$

$$\frac{s}{i_{yb}} \leq \sqrt{\frac{30000000C_b}{\sigma_y}} \Rightarrow \sigma_B = \left[\frac{2}{3} - \frac{\sigma_y (s/i_{yb})^2}{90000000C_b} \right] \sigma_y < 0,6.1,33\sigma_y$$

$$\frac{s}{i_{yb}} \geq \sqrt{\frac{30000000C_b}{\sigma_y}} \Rightarrow \sigma_B = \frac{10000000C_b}{(s/i_{yb})^2}$$

$$\frac{s}{i_{yb}} = 370/8,45 = 43,79$$

$$\sqrt{\frac{30000000C_b}{\sigma_y}} = \sqrt{\frac{30000000.1,75}{3600}} = 120,761$$

$$\Rightarrow \frac{s}{i_{yb}} < \sqrt{\frac{30000000C_b}{\sigma_y}}$$

$$\sigma_B = \left[\frac{2}{3} - \frac{\sigma_y (s/i_{yb})^2}{90000000C_b} \right] \sigma_y = \left[\frac{2}{3} - \frac{3600.(43,79)^2}{90000000.1,75} \right] 3600 < 0,6.1,33.3600$$

$$\sigma_B = 2242 \text{ kg/cm}^2 < 2873 \text{ kg/cm}^2 \Rightarrow \sigma_B = 2242 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_e' = \frac{\pi^2 E}{(Ks/i_b)^2} \Rightarrow \sigma_e' = \frac{(3,14)^2 . 2100000}{(370/17,88)^2} = 48400,6 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_b = \frac{M}{W_x} \Rightarrow \sigma_b = \frac{12,82.100000}{4820} = 265,98 \text{ kg/cm}^2$$

$$\frac{\sigma_{eb}}{1,33\sigma_{bem}} + \frac{C_{mx}\sigma_{bx}}{\left(1 - \frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{ex}}\right)\sigma_{Bx}} = \frac{1565}{1,33.1604,8} + \frac{0,85.265,98}{\left(1 - \frac{1565}{48400,6}\right).2242} = 0,84 < 1 \text{ (uygun)}$$

$$\frac{\sigma_{eb}}{0,6.1,33.\sigma_y} + \frac{\sigma_{bx}}{\sigma_{Bx}} = \frac{1565}{0,6.1,33.3600} + \frac{265,98}{2242} = 0,66 < 1 \text{ (uygun)}$$

$$\tau = \frac{Q}{t_w h_i} < 1,33\tau_{em} = 1,33.1,247 = 1,659 \text{ t/cm}^2$$

$$\tau = \frac{3,5}{2,1.35,2} = 0,047 \text{ t/cm}^2 < 1,659 \text{ t/cm}^2 \text{ (uygun)}$$

Kolonun Boyutlandırılması (15KM-V2)

Seçilen Kesit: **HE 400 M**

d= 43,2 cm	b= 30,7 cm	A= 325,8 cm ²
t _f = 4 cm	t _w = 2,1 cm	W _x = 4820 cm ³
I _x = 104100 cm ⁴	i _x = 17,88 cm	i _y = 7,7 cm

Seçilen Kolon Profili İçin Enkesit Koşullarının Sağlanması

$b / 2t_f < 9,2 \Rightarrow 30,7/(2.4) = 3,84 < 9,2$	(uygun)
$d / t_w < 90,5 \Rightarrow 43,2/2,1 = 20,57 < 90,5$	(uygun)

Kolonun Boyutlandırılmasında Kullanılacak Yük Birleşimi

1,0G+1,0Q+1,0E

N= -508,5 t	M= 12,4 tm	V= 3,24 t
-------------	------------	-----------

Kolon İçin Gereken Gerilme Kontrolleri

$$\lambda = \frac{kl}{r_y} = 1.370/7,7 = 48,05 \Rightarrow \sigma_{bem} = 1604,8 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{eb} = \frac{N}{A} = 508,5.1000/325,8 = 1561 \text{ kg/cm}^2$$

$$\frac{\sigma_{eb}}{1,33\sigma_{bem}} > 0,15 \Rightarrow \begin{cases} \frac{\sigma_{eb}}{1,33\sigma_{bem}} + \frac{C_{mx}\sigma_{bx}}{\left(1 - \frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{ex}}\right)\sigma_{Bx}} \leq 1 \\ \frac{\sigma_{eb}}{0,6.1,33.\sigma_y} + \frac{\sigma_{bx}}{\sigma_{Bx}} \leq 1 \end{cases}$$

$$\frac{\sigma_{eb}}{1,33.\sigma_{bem}} \leq 0,15 \Rightarrow \frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{bem}} + \frac{\sigma_{bx}}{\sigma_{Bx}} \leq 1$$

$$\frac{\sigma_{eb}}{1,33\sigma_{bem}} = \frac{1561}{1,33.1604,8} = 0,731 > 0,15$$

$$I_{yb} = t_f \frac{b_f^3}{12} = 4 \frac{30,7^3}{12} \Rightarrow I_{yb} = 9645 \text{ cm}^4$$

$$F_{yb} = b_f t_f + \left(\frac{d - 2t_f}{2} \frac{1}{3} \right) t_w \Rightarrow F_{yb} = 30,7.4 + \left(\frac{43,2 - 2.4}{2} \frac{1}{3} \right) 2,1 \Rightarrow F_{yb} = 135,12 \text{ cm}^2$$

$$i_{yb} = \sqrt{I_{yb} / F_{yb}} \Rightarrow i_{yb} = \sqrt{9645 / 135,12} \Rightarrow i_{yb} = 8,45 \text{ cm}$$

$$C_b = 1,75 + 1,05 \left(\frac{M_1}{M_2} \right) + 0,3 \left(\frac{M_1}{M_2} \right) \leq 2,3 \Rightarrow C_b = 1,75$$

$$\frac{s}{i_{yb}} \leq \sqrt{\frac{30000000C_b}{\sigma_y}} \Rightarrow \sigma_B = \left[\frac{2}{3} - \frac{\sigma_y (s/i_{yb})^2}{90000000C_b} \right] \sigma_y < 0,6.1,33\sigma_y$$

$$\frac{s}{i_{yb}} \geq \sqrt{\frac{30000000C_b}{\sigma_y}} \Rightarrow \sigma_B = \frac{10000000C_b}{(s/i_{yb})^2}$$

$$\frac{s}{i_{yb}} = 370/8,45 = 43,79$$

$$\sqrt{\frac{30000000C_b}{\sigma_y}} = \sqrt{\frac{30000000.1,75}{3600}} = 120,761$$

$$\Rightarrow \frac{s}{i_{yb}} < \sqrt{\frac{30000000C_b}{\sigma_y}}$$

$$\sigma_B = \left[\frac{2}{3} - \frac{\sigma_y (s/i_{yb})^2}{90000000C_b} \right] \sigma_y = \left[\frac{2}{3} - \frac{3600.(43,79)^2}{90000000.1,75} \right] 3600 < 0,6.1,33.3600$$

$$\sigma_B = 2242 \text{ kg/cm}^2 < 2873 \text{ kg/cm}^2 \Rightarrow \sigma_B = 2242 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_e' = \frac{\pi^2 E}{(Ks/i_b)^2} \Rightarrow \sigma_e' = \frac{(3,14)^2 . 2100000}{(370/17,88)^2} = 48400,6 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_b = \frac{M}{W_x} \Rightarrow \sigma_b = \frac{12,4.100000}{4820} = 257,3 \text{ kg/cm}^2$$

$$\frac{\sigma_{eb}}{1,33\sigma_{bem}} + \frac{C_{mx}\sigma_{bx}}{\left(1 - \frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{ex}}\right)\sigma_{Bx}} = \frac{1561}{1,33.1604,8} + \frac{0,85.257,3}{\left(1 - \frac{1561}{48400,6}\right).2242} = 0,83 < 1 \text{ (uygun)}$$

$$\frac{\sigma_{eb}}{0,6.1,33.\sigma_y} + \frac{\sigma_{bx}}{\sigma_{Bx}} = \frac{1561}{0,6.1,33.3600} + \frac{257,3}{2242} = 0,66 < 1 \text{ (uygun)}$$

$$\tau = \frac{Q}{t_w h_i} < 1,33\tau_{em} = 1,33.1,247 = 1,659 \text{ t/cm}^2$$

$$\tau = \frac{3,24}{2,1.35,2} = 0,044 \text{ t/cm}^2 < 1,659 \text{ t/cm}^2 \text{ (uygun)}$$

Kolonun Boyutlandırılması (15KMV2(R=3))

Seçilen Kesit: **HE 600X399**

d= 64,8 cm	b= 31,5 cm	A= 508,5 cm ²
t _f = 5,4 cm	t _w = 3 cm	W _x = 10640 cm ³
I _x = 344600 cm ⁴	i _x = 26,03 cm	i _y = 7,46 cm

Seçilen Kolon Profili İçin Enkesit Koşullarının Sağlanması

$$b / 2t_f < 9,2 \Rightarrow 31,5 / (2.5,4) = 2,92 < 9,2 \text{ (uygun)}$$

$$d / t_w < 90,5 \Rightarrow 64,8 / 3 = 21,6 < 90,5 \text{ (uygun)}$$

Kolonun Boyutlandırılmasında Kullanılacak Yük Birleşimi

$$1,0G+1,0Q+1,0E$$

$$N = -742,8 \text{ t}$$

$$M = 51,7 \text{ tm}$$

$$V = 11,6 \text{ t}$$

Kolon İçin Gereken Gerilme Kontrolleri

$$\lambda = \frac{kl}{r_y} = 1.370 / 7,46 = 49,6 \Rightarrow \sigma_{bem} = 1574 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{eb} = \frac{N}{A} = 742,8.1000 / 508,5 = 1461 \text{ kg/cm}^2$$

$$\frac{\sigma_{eb}}{1,33\sigma_{bem}} > 0,15 \Rightarrow \begin{cases} \frac{\sigma_{eb}}{1,33\sigma_{bem}} + \frac{C_{mx}\sigma_{bx}}{\left(1 - \frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{ex}}\right)\sigma_{Bx}} \leq 1 \\ \frac{\sigma_{eb}}{0,6.1,33.\sigma_y} + \frac{\sigma_{bx}}{\sigma_{Bx}} \leq 1 \end{cases}$$

$$\frac{\sigma_{eb}}{1,33.\sigma_{bem}} \leq 0,15 \Rightarrow \frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{bem}} + \frac{\sigma_{bx}}{\sigma_{Bx}} \leq 1$$

$$\frac{\sigma_{eb}}{1,33\sigma_{bem}} = \frac{1461}{1,33.1574} = 0,69 > 0,15$$

$$I_{yb} = t_f \frac{b_f^3}{12} = 5,4 \frac{31,5^3}{12} \Rightarrow I_{yb} = 14065 \text{ cm}^4$$

$$F_{yb} = b_f t_f + \left(\frac{d - 2t_f}{2} \frac{1}{3} \right) t_w \Rightarrow F_{yb} = 31,5.5,4 + \left(\frac{64,8 - 2.5,4}{2} \frac{1}{3} \right) .3 \Rightarrow F_{yb} = 197,1 \text{ cm}^2$$

$$i_{yb} = \sqrt{I_{yb} / F_{yb}} \Rightarrow i_{yb} = \sqrt{14065 / 197,1} \Rightarrow i_{yb} = 8,45 \text{ cm}$$

$$C_b = 1,75 + 1,05 \left(\frac{M_1}{M_2} \right) + 0,3 \left(\frac{M_1}{M_2} \right) \leq 2,3 \Rightarrow C_b = 1,75$$

$$\frac{s}{i_{yb}} \leq \sqrt{\frac{30000000C_b}{\sigma_y}} \Rightarrow \sigma_B = \left[\frac{2}{3} - \frac{\sigma_y (s/i_{yb})^2}{90000000C_b} \right] \sigma_y < 0,6.1,33\sigma_y$$

$$\frac{s}{i_{yb}} \geq \sqrt{\frac{30000000C_b}{\sigma_y}} \Rightarrow \sigma_B = \frac{10000000C_b}{(s/i_{yb})^2}$$

$$\frac{s}{i_{yb}} = 370/8,45 = 43,8$$

$$\sqrt{\frac{30000000C_b}{\sigma_y}} = \sqrt{\frac{30000000.1,75}{3600}} = 120,761$$

$$\Rightarrow \frac{s}{i_{yb}} < \sqrt{\frac{30000000C_b}{\sigma_y}}$$

$$\sigma_B = \left[\frac{2}{3} - \frac{\sigma_y (s/i_{yb})^2}{90000000C_b} \right] \sigma_y = \left[\frac{2}{3} - \frac{3600.(43,8)^2}{90000000.1,75} \right] .3600 < 0,6.1,33.3600$$

$$\sigma_B = 2242 \text{ kg/cm}^2 < 2873 \text{ kg/cm}^2 \Rightarrow \sigma_B = 2242 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_e' = \frac{\pi^2 E}{(Ks/i_b)^2} \Rightarrow \sigma_e' = \frac{(3,14)^2 . 2100000}{(370/26,03)^2} = 102580 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_b = \frac{M}{W_x} \Rightarrow \sigma_b = \frac{51,7.100000}{10640} = 485,9 \text{ kg/cm}^2$$

$$\frac{\sigma_{eb}}{1,33\sigma_{bem}} + \frac{C_{mx}\sigma_{bx}}{\left(1 - \frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{ex}}\right)\sigma_{Bx}} = \frac{1461}{1,33.1574} + \frac{0,85.485,9}{\left(1 - \frac{1461}{102580}\right).2242} = 0,88 < 1 \text{ (uygun)}$$

$$\frac{\sigma_{eb}}{0,6.1,33.\sigma_y} + \frac{\sigma_{bx}}{\sigma_{Bx}} = \frac{1461}{0,6.1,33.3600} + \frac{485,9}{2242} = 0,73 < 1 \text{ (uygun)}$$

$$\tau = \frac{Q}{t_w h_i} < 1,33\tau_{em} = 1,33.1,247 = 1,659 \text{ t/cm}^2$$

$$\tau = \frac{11,6}{3,54} = 0,072 \text{ t/cm}^2 < 1,659 \text{ t/cm}^2 \text{ (uygun)}$$

Kolonun Boyutlandırılması (15KDM-V2)

Seçilen Kesit: **HE 400 M**

d= 43,2 cm	b= 30,7 cm	A= 325,8 cm ²
t _f = 4 cm	t _w = 2,1 cm	W _x = 4820 cm ³
I _x = 104100 cm ⁴	i _x = 17,88 cm	i _y = 7,7 cm

Seçilen Kolon Profili İçin Enkesit Koşullarının Sağlanması

$b / 2t_f < 9,2 \Rightarrow 30,7 / (2.4) = 3,84 < 9,2$	(uygun)
$d / t_w < 90,5 \Rightarrow 43,2 / 2,1 = 20,57 < 90,5$	(uygun)

Kolonun Boyutlandırılmasında Kullanılacak Yük Birleşimi

1,0G+1,0Q+1,0E

N= -508,5 t	M= 17,2 tm	V= 3,9 t
-------------	------------	----------

Kolon İçin Gereken Gerilme Kontrolleri

$$\lambda = \frac{kl}{r_y} = 1.370 / 7,7 = 48,05 \Rightarrow \sigma_{bem} = 1604,8 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{eb} = \frac{N}{A} = 508,5.1000 / 325,8 = 1561 \text{ kg/cm}^2$$

$$\frac{\sigma_{eb}}{1,33\sigma_{bem}} > 0,15 \Rightarrow \begin{cases} \frac{\sigma_{eb}}{1,33\sigma_{bem}} + \frac{C_{mx}\sigma_{bx}}{\left(1 - \frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{ex}}\right)\sigma_{Bx}} \leq 1 \\ \frac{\sigma_{eb}}{0,6.1,33.\sigma_y} + \frac{\sigma_{bx}}{\sigma_{Bx}} \leq 1 \end{cases}$$

$$\frac{\sigma_{eb}}{1,33.\sigma_{bem}} \leq 0,15 \Rightarrow \frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{bem}} + \frac{\sigma_{bx}}{\sigma_{Bx}} \leq 1$$

$$\frac{\sigma_{eb}}{1,33\sigma_{bem}} = \frac{1561}{1,33.1604,8} = 0,731 > 0,15$$

$$I_{yb} = t_f \frac{b_f^3}{12} = 4 \frac{30,7^3}{12} \Rightarrow I_{yb} = 9645 \text{ cm}^4$$

$$F_{yb} = b_f t_f + \left(\frac{d - 2t_f}{2} \frac{1}{3} \right) t_w \Rightarrow F_{yb} = 30,7.4 + \left(\frac{43,2 - 2.4}{2} \frac{1}{3} \right) 2,1 \Rightarrow F_{yb} = 135,12 \text{ cm}^2$$

$$i_{yb} = \sqrt{I_{yb}/F_{yb}} \Rightarrow i_{yb} = \sqrt{9645/135,12} \Rightarrow i_{yb} = 8,45 \text{ cm}$$

$$C_b = 1,75 + 1,05 \left(\frac{M_1}{M_2} \right) + 0,3 \left(\frac{M_1}{M_2} \right) \leq 2,3 \Rightarrow C_b = 1,75$$

$$\frac{s}{i_{yb}} \leq \sqrt{\frac{30000000C_b}{\sigma_y}} \Rightarrow \sigma_B = \left[\frac{2}{3} - \frac{\sigma_y (s/i_{yb})^2}{90000000C_b} \right] \sigma_y < 0,6.1,33\sigma_y$$

$$\frac{s}{i_{yb}} \geq \sqrt{\frac{30000000C_b}{\sigma_y}} \Rightarrow \sigma_B = \frac{10000000C_b}{(s/i_{yb})^2}$$

$$\frac{s}{i_{yb}} = 370/8,45 = 43,79$$

$$\sqrt{\frac{30000000C_b}{\sigma_y}} = \sqrt{\frac{30000000.1,75}{3600}} = 120,761$$

$$\Rightarrow \frac{s}{i_{yb}} < \sqrt{\frac{30000000C_b}{\sigma_y}}$$

$$\sigma_B = \left[\frac{2}{3} - \frac{\sigma_y (s/i_{yb})^2}{90000000C_b} \right] \sigma_y = \left[\frac{2}{3} - \frac{3600.(43,79)^2}{90000000.1,75} \right] .3600 < 0,6.1,33.3600$$

$$\sigma_B = 2242 \text{ kg/cm}^2 < 2873 \text{ kg/cm}^2 \Rightarrow \sigma_B = 2242 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_e' = \frac{\pi^2 E}{(KS/i_b)^2} \Rightarrow \sigma_e' = \frac{(3,14)^2 . 2100000}{(370/17,88)^2} = 48400,6 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_b = \frac{M}{W_x} \Rightarrow \sigma_b = \frac{17,2.100000}{4820} = 356,9 \text{ kg/cm}^2$$

$$\frac{\sigma_{eb}}{1,33\sigma_{bem}} + \frac{C_{mx}\sigma_{bx}}{\left(1 - \frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{ex}'}\right)\sigma_{Bx}} = \frac{1561}{1,33.1604,8} + \frac{0,85.356,9}{\left(1 - \frac{1561}{48400,6}\right).2242} = 0,87 < 1 \text{ (uygun)}$$

$$\frac{\sigma_{eb}}{0,6.1,33.\sigma_y} + \frac{\sigma_{bx}}{\sigma_{Bx}} = \frac{1561}{0,6.1,33.3600} + \frac{356,9}{2242} = 0,70 < 1 \text{ (uygun)}$$

$$\tau = \frac{Q}{t_w h_i} < 1,33\tau_{em} = 1,33.1,247 = 1,659 \text{ t/cm}^2$$

$$\tau = \frac{3,9}{2,1.35,2} = 0,053 \text{ t/cm}^2 < 1,659 \text{ t/cm}^2 \text{ (uygun)}$$

Kolonun Boyutlandırılması (15KP)

Seçilen Kesit: **HE 360 M**

$d = 39,5 \text{ cm}$	$b = 30,8 \text{ cm}$	$A = 318,8 \text{ cm}^2$
$t_f = 4 \text{ cm}$	$t_w = 2,1 \text{ cm}$	$W_x = 4297 \text{ cm}^3$
$I_x = 84870 \text{ cm}^4$	$i_x = 16,32 \text{ cm}$	$i_y = 7,83 \text{ cm}$

Seçilen Kolon Profili İçin Enkesit Koşullarının Sağlanması

$b / 2t_f < 9,2 \Rightarrow 39,5 / (2.4) = 3,85 < 9,2$	(uygun)
$d / t_w < 90,5 \Rightarrow 39,5 / 2,1 = 18,8 < 90,5$	(uygun)

Kolonun Boyutlandırılmasında Kullanılacak Yük Birleşimi

1,0G+1,0Q+1,0E

$N = -508,5 \text{ t}$	$M = 5,6 \text{ tm}$	$V = 1,44 \text{ t}$
------------------------	----------------------	----------------------

Kolon İçin Gereken Gerilme Kontrolleri

$$\lambda = \frac{kl}{r_y} = 1.370 / 7,83 = 47,25 \Rightarrow \sigma_{bem} = 1620,2 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{eb} = \frac{N}{A} = 508,5.1000 / 318,8 = 1595 \text{ kg/cm}^2$$

$$\frac{\sigma_{eb}}{1,33\sigma_{bem}} > 0,15 \Rightarrow \begin{cases} \frac{\sigma_{eb}}{1,33\sigma_{bem}} + \frac{C_{mx}\sigma_{bx}}{\left(1 - \frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{ex}}\right)\sigma_{Bx}} \leq 1 \\ \frac{\sigma_{eb}}{0,6.1,33.\sigma_y} + \frac{\sigma_{bx}}{\sigma_{Bx}} \leq 1 \end{cases}$$

$$\frac{\sigma_{eb}}{1,33.\sigma_{bem}} \leq 0,15 \Rightarrow \frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{bem}} + \frac{\sigma_{bx}}{\sigma_{Bx}} \leq 1$$

$$\frac{\sigma_{eb}}{1,33\sigma_{bem}} = \frac{1595}{1,33.1620,2} = 0,74 > 0,15$$

$$I_{yb} = t_f \frac{b_f^3}{12} = 4 \frac{30,8^3}{12} \Rightarrow I_{yb} = 9739 \text{ cm}^4$$

$$F_{yb} = b_f t_f + \left(\frac{d - 2t_f}{2} \frac{1}{3} \right) t_w \Rightarrow F_{yb} = 30,8.4 + \left(\frac{39,5 - 2.4}{2} \frac{1}{3} \right) 2,1 \Rightarrow F_{yb} = 134,23 \text{ cm}^2$$

$$i_{yb} = \sqrt{I_{yb} / F_{yb}} \Rightarrow i_{yb} = \sqrt{9739 / 134,23} \Rightarrow i_{yb} = 8,52 \text{ cm}$$

$$C_b = 1,75 + 1,05 \left(\frac{M_1}{M_2} \right) + 0,3 \left(\frac{M_1}{M_2} \right) \leq 2,3 \Rightarrow C_b = 1,75$$

$$\frac{s}{i_{yb}} \leq \sqrt{\frac{30000000C_b}{\sigma_y}} \Rightarrow \sigma_B = \left[\frac{2}{3} - \frac{\sigma_y (s/i_{yb})^2}{90000000C_b} \right] \sigma_y < 0,6.1,33\sigma_y$$

$$\frac{s}{i_{yb}} \geq \sqrt{\frac{30000000C_b}{\sigma_y}} \Rightarrow \sigma_B = \frac{10000000C_b}{(s/i_{yb})^2}$$

$$\frac{s}{i_{yb}} = 370/8,52 = 43,44$$

$$\sqrt{\frac{30000000C_b}{\sigma_y}} = \sqrt{\frac{30000000.1,75}{3600}} = 120,761$$

$$\Rightarrow \frac{s}{i_{yb}} < \sqrt{\frac{30000000C_b}{\sigma_y}}$$

$$\sigma_B = \left[\frac{2}{3} - \frac{\sigma_y (s/i_{yb})^2}{90000000C_b} \right] \sigma_y = \left[\frac{2}{3} - \frac{3600.(43,44)^2}{90000000.1,75} \right] 3600 < 0,6.1,33.3600$$

$$\sigma_B = 2245 \text{ kg/cm}^2 < 2873 \text{ kg/cm}^2 \Rightarrow \sigma_B = 2245 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_e' = \frac{\pi^2 E}{(Ks/i_b)^2} \Rightarrow \sigma_e' = \frac{(3,14)^2 . 2100000}{(370/16,32)^2} = 40323,3 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_b = \frac{M}{W_x} \Rightarrow \sigma_b = \frac{5,6.100000}{4297} = 130,32 \text{ kg/cm}^2$$

$$\frac{\sigma_{eb}}{1,33\sigma_{bem}} + \frac{C_{mx}\sigma_{bx}}{\left(1 - \frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{ex}}\right)\sigma_{Bx}} = \frac{1595}{1,33.1620,2} + \frac{0,85.130,32}{\left(1 - \frac{1595}{40323,3}\right).2245} = 0,79 < 1 \text{ (uygun)}$$

$$\frac{\sigma_{eb}}{0,6.1,33.\sigma_y} + \frac{\sigma_{bx}}{\sigma_{Bx}} = \frac{1595}{0,6.1,33.3600} + \frac{130,32}{2245} = 0,61 < 1 \text{ (uygun)}$$

$$\tau = \frac{Q}{t_w h_i} < 1,33\tau_{em} = 1,33.1,247 = 1,659 \text{ t/cm}^2$$

$$\tau = \frac{1,44}{2.1.31,5} = 0,022 \text{ t/cm}^2 < 1,659 \text{ t/cm}^2 \text{ (uygun)}$$

Kolonun Boyutlandırılması (15KP-V1)

Seçilen Kesit: **HE 360 M**

$d = 39,5 \text{ cm}$	$b = 30,8 \text{ cm}$	$A = 318,8 \text{ cm}^2$
$t_f = 4 \text{ cm}$	$t_w = 2,1 \text{ cm}$	$W_x = 4297 \text{ cm}^3$
$I_x = 84870 \text{ cm}^4$	$i_x = 16,32 \text{ cm}$	$i_y = 7,83 \text{ cm}$

Seçilen Kolon Profili İçin Enkesit Koşullarının Sağlanması

$b / 2t_f < 9,2 \Rightarrow 39,5 / (2.4) = 3,85 < 9,2$	(uygun)
$d / t_w < 90,5 \Rightarrow 39,5 / 2,1 = 18,8 < 90,5$	(uygun)

Kolonun Boyutlandırılmasında Kullanılacak Yük Birleşimi

1,0G+1,0Q+1,0E

$N = -508,5 \text{ t}$	$M = 13,9 \text{ tm}$	$V = 4,2 \text{ t}$
------------------------	-----------------------	---------------------

Kolon İçin Gereken Gerilme Kontrolleri

$$\lambda = \frac{kl}{r_y} = 1.370 / 7,83 = 47,25 \Rightarrow \sigma_{bem} = 1620,2 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{eb} = \frac{N}{A} = 508,5.1000 / 318,8 = 1595 \text{ kg/cm}^2$$

$$\frac{\sigma_{eb}}{1,33\sigma_{bem}} > 0,15 \Rightarrow \begin{cases} \frac{\sigma_{eb}}{1,33\sigma_{bem}} + \frac{C_{mx}\sigma_{bx}}{\left(1 - \frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{ex}}\right)\sigma_{Bx}} \leq 1 \\ \frac{\sigma_{eb}}{0,6.1,33.\sigma_y} + \frac{\sigma_{bx}}{\sigma_{Bx}} \leq 1 \end{cases}$$

$$\frac{\sigma_{eb}}{1,33.\sigma_{bem}} \leq 0,15 \Rightarrow \frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{bem}} + \frac{\sigma_{bx}}{\sigma_{Bx}} \leq 1$$

$$\frac{\sigma_{eb}}{1,33\sigma_{bem}} = \frac{1595}{1,33.1620,2} = 0,74 > 0,15$$

$$I_{yb} = t_f \frac{b_f^3}{12} = 4 \frac{30,8^3}{12} \Rightarrow I_{yb} = 9739 \text{ cm}^4$$

$$F_{yb} = b_f t_f + \left(\frac{d - 2t_f}{2} \frac{1}{3} \right) t_w \Rightarrow F_{yb} = 30,8.4 + \left(\frac{39,5 - 2.4}{2} \frac{1}{3} \right) 2,1 \Rightarrow F_{yb} = 134,23 \text{ cm}^2$$

$$i_{yb} = \sqrt{I_{yb} / F_{yb}} \Rightarrow i_{yb} = \sqrt{9739 / 134,23} \Rightarrow i_{yb} = 8,52 \text{ cm}$$

$$C_b = 1,75 + 1,05 \left(\frac{M_1}{M_2} \right) + 0,3 \left(\frac{M_1}{M_2} \right) \leq 2,3 \Rightarrow C_b = 1,75$$

$$\frac{s}{i_{yb}} \leq \sqrt{\frac{30000000C_b}{\sigma_y}} \Rightarrow \sigma_B = \left[\frac{2}{3} - \frac{\sigma_y (s/i_{yb})^2}{90000000C_b} \right] \sigma_y < 0,6.1,33\sigma_y$$

$$\frac{s}{i_{yb}} \geq \sqrt{\frac{30000000C_b}{\sigma_y}} \Rightarrow \sigma_B = \frac{10000000C_b}{(s/i_{yb})^2}$$

$$\frac{s}{i_{yb}} = 370/8,52 = 43,44$$

$$\sqrt{\frac{30000000C_b}{\sigma_y}} = \sqrt{\frac{30000000.1,75}{3600}} = 120,761$$

$$\Rightarrow \frac{s}{i_{yb}} < \sqrt{\frac{30000000C_b}{\sigma_y}}$$

$$\sigma_B = \left[\frac{2}{3} - \frac{\sigma_y (s/i_{yb})^2}{90000000C_b} \right] \sigma_y = \left[\frac{2}{3} - \frac{3600.(43,44)^2}{90000000.1,75} \right] 3600 < 0,6.1,33.3600$$

$$\sigma_B = 2245 \text{ kg/cm}^2 < 2873 \text{ kg/cm}^2 \Rightarrow \sigma_B = 2245 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_e' = \frac{\pi^2 E}{(Ks/i_b)^2} \Rightarrow \sigma_e' = \frac{(3,14)^2 . 2100000}{(370/16,32)^2} = 40323,3 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_b = \frac{M}{W_x} \Rightarrow \sigma_b = \frac{13,9.100000}{4297} = 323,5 \text{ kg/cm}^2$$

$$\frac{\sigma_{eb}}{1,33\sigma_{bem}} + \frac{C_{mx}\sigma_{bx}}{\left(1 - \frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{ex}}\right)\sigma_{Bx}} = \frac{1595}{1,33.1620,2} + \frac{0,85.323,5}{\left(1 - \frac{1595}{40323,3}\right).2245} = 0,87 < 1 \text{ (uygun)}$$

$$\frac{\sigma_{eb}}{0,6.1,33.\sigma_y} + \frac{\sigma_{bx}}{\sigma_{Bx}} = \frac{1595}{0,6.1,33.3600} + \frac{323,5}{2245} = 0,70 < 1 \text{ (uygun)}$$

$$\tau = \frac{Q}{t_w h_i} < 1,33\tau_{em} = 1,33.1,247 = 1,659 \text{ t/cm}^2$$

$$\tau = \frac{4,2}{2.1.31,5} = 0,063 \text{ t/cm}^2 < 1,659 \text{ t/cm}^2 \text{ (uygun)}$$

Kolonun Boyutlandırılması (15KP-V2)

Seçilen Kesit: **HE 360 M**

$d = 39,5 \text{ cm}$	$b = 30,8 \text{ cm}$	$A = 318,8 \text{ cm}^2$
$t_f = 4 \text{ cm}$	$t_w = 2,1 \text{ cm}$	$W_x = 4297 \text{ cm}^3$
$I_x = 84870 \text{ cm}^4$	$i_x = 16,32 \text{ cm}$	$i_y = 7,83 \text{ cm}$

Seçilen Kolon Profili İçin Enkesit Koşullarının Sağlanması

$b / 2t_f < 9,2 \Rightarrow 39,5 / (2.4) = 3,85 < 9,2$	(uygun)
$d / t_w < 90,5 \Rightarrow 39,5 / 2,1 = 18,8 < 90,5$	(uygun)

Kolonun Boyutlandırılmasında Kullanılacak Yük Birleşimi

1,0G+1,0Q+1,0E

$N = -508,5 \text{ t}$	$M = 13,6 \text{ tm}$	$V = 4,2 \text{ t}$
------------------------	-----------------------	---------------------

Kolon İçin Gereken Gerilme Kontrolleri

$$\lambda = \frac{kl}{r_y} = 1.370 / 7,83 = 47,25 \Rightarrow \sigma_{bem} = 1620,2 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{eb} = \frac{N}{A} = 508,5.1000 / 318,8 = 1595 \text{ kg/cm}^2$$

$$\frac{\sigma_{eb}}{1,33\sigma_{bem}} > 0,15 \Rightarrow \begin{cases} \frac{\sigma_{eb}}{1,33\sigma_{bem}} + \frac{C_{mx}\sigma_{bx}}{\left(1 - \frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{ex}}\right)\sigma_{Bx}} \leq 1 \\ \frac{\sigma_{eb}}{0,6.1,33.\sigma_y} + \frac{\sigma_{bx}}{\sigma_{Bx}} \leq 1 \end{cases}$$

$$\frac{\sigma_{eb}}{1,33.\sigma_{bem}} \leq 0,15 \Rightarrow \frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{bem}} + \frac{\sigma_{bx}}{\sigma_{Bx}} \leq 1$$

$$\frac{\sigma_{eb}}{1,33\sigma_{bem}} = \frac{1595}{1,33.1620,2} = 0,74 > 0,15$$

$$I_{yb} = t_f \frac{b_f^3}{12} = 4 \frac{30,8^3}{12} \Rightarrow I_{yb} = 9739 \text{ cm}^4$$

$$F_{yb} = b_f t_f + \left(\frac{d - 2t_f}{2} \frac{1}{3} \right) t_w \Rightarrow F_{yb} = 30,8.4 + \left(\frac{39,5 - 2.4}{2} \frac{1}{3} \right) 2,1 \Rightarrow F_{yb} = 134,23 \text{ cm}^2$$

$$i_{yb} = \sqrt{I_{yb} / F_{yb}} \Rightarrow i_{yb} = \sqrt{9739 / 134,23} \Rightarrow i_{yb} = 8,52 \text{ cm}$$

$$C_b = 1,75 + 1,05 \left(\frac{M_1}{M_2} \right) + 0,3 \left(\frac{M_1}{M_2} \right) \leq 2,3 \Rightarrow C_b = 1,75$$

$$\frac{s}{i_{yb}} \leq \sqrt{\frac{30000000C_b}{\sigma_y}} \Rightarrow \sigma_B = \left[\frac{2}{3} - \frac{\sigma_y (s/i_{yb})^2}{90000000C_b} \right] \sigma_y < 0,6.1,33\sigma_y$$

$$\frac{s}{i_{yb}} \geq \sqrt{\frac{30000000C_b}{\sigma_y}} \Rightarrow \sigma_B = \frac{10000000C_b}{(s/i_{yb})^2}$$

$$\frac{s}{i_{yb}} = 370/8,52 = 43,44$$

$$\sqrt{\frac{30000000C_b}{\sigma_y}} = \sqrt{\frac{30000000.1,75}{3600}} = 120,761$$

$$\Rightarrow \frac{s}{i_{yb}} < \sqrt{\frac{30000000C_b}{\sigma_y}}$$

$$\sigma_B = \left[\frac{2}{3} - \frac{\sigma_y (s/i_{yb})^2}{90000000C_b} \right] \sigma_y = \left[\frac{2}{3} - \frac{3600.(43,44)^2}{90000000.1,75} \right] 3600 < 0,6.1,33.3600$$

$$\sigma_B = 2245 \text{ kg/cm}^2 < 2873 \text{ kg/cm}^2 \Rightarrow \sigma_B = 2245 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_e' = \frac{\pi^2 E}{(Ks/i_b)^2} \Rightarrow \sigma_e' = \frac{(3,14)^2 . 2100000}{(370/16,32)^2} = 40323,3 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_b = \frac{M}{W_x} \Rightarrow \sigma_b = \frac{13,6.100000}{4297} = 316,5 \text{ kg/cm}^2$$

$$\frac{\sigma_{eb}}{1,33\sigma_{bem}} + \frac{C_{mx}\sigma_{bx}}{\left(1 - \frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{ex}}\right)\sigma_{Bx}} = \frac{1595}{1,33.1620,2} + \frac{0,85.316,5}{\left(1 - \frac{1595}{40323,3}\right).2245} = 0,87 < 1 \text{ (uygun)}$$

$$\frac{\sigma_{eb}}{0,6.1,33.\sigma_y} + \frac{\sigma_{bx}}{\sigma_{Bx}} = \frac{1595}{0,6.1,33.3600} + \frac{316,5}{2245} = 0,70 < 1 \text{ (uygun)}$$

$$\tau = \frac{Q}{t_w h_i} < 1,33\tau_{em} = 1,33.1,247 = 1,659 \text{ t/cm}^2$$

$$\tau = \frac{4,2}{2,1.31,5} = 0,063 \text{ t/cm}^2 < 1,659 \text{ t/cm}^2 \text{ (uygun)}$$

Kolonun Boyutlandırılması (10KM)

Seçilen Kesit: **HE 360 M**

$d=39,5 \text{ cm}$	$b=30,8 \text{ cm}$	$A=318,8 \text{ cm}^2$
$t_f=4 \text{ cm}$	$t_w=2,1 \text{ cm}$	$W_x=4297 \text{ cm}^3$
$I_x=84870 \text{ cm}^4$	$i_x=16,32 \text{ cm}$	$i_y=7,83 \text{ cm}$

Seçilen Kolon Profili İçin Enkesit Koşullarının Sağlanması

$b/2t_f < 9,2 \Rightarrow 39,5/(2.4)=3,85 < 9,2$	(uygun)
$d/t_w < 90,5 \Rightarrow 39,5/2,1=18,8 < 90,5$	(uygun)

Kolonun Boyutlandırılmasında Kullanılacak Yük Birleşimi

1,0G+1,0Q+1,0E

$N=-415,3 \text{ t}$	$M=9,04 \text{ tm}$	$V=2,44 \text{ t}$
----------------------	---------------------	--------------------

Kolon İçin Gereken Gerilme Kontrolleri

$$\lambda = \frac{kl}{r_y} = 1.370/7,83 = 47,25 \Rightarrow \sigma_{bem} = 1620,2 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{eb} = \frac{N}{A} = 415,3.1000/318,8 = 1303 \text{ kg/cm}^2$$

$$\frac{\sigma_{eb}}{1,33\sigma_{bem}} > 0,15 \Rightarrow \begin{cases} \frac{\sigma_{eb}}{1,33\sigma_{bem}} + \frac{C_{mx}\sigma_{bx}}{\left(1 - \frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{ex}}\right)\sigma_{Bx}} \leq 1 \\ \frac{\sigma_{eb}}{0,6.1,33.\sigma_y} + \frac{\sigma_{bx}}{\sigma_{Bx}} \leq 1 \end{cases}$$

$$\frac{\sigma_{eb}}{1,33.\sigma_{bem}} \leq 0,15 \Rightarrow \frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{bem}} + \frac{\sigma_{bx}}{\sigma_{Bx}} \leq 1$$

$$\frac{\sigma_{eb}}{1,33\sigma_{bem}} = \frac{1303}{1,33.1620,2} = 0,61 > 0,15$$

$$I_{yb} = t_f \frac{b_f^3}{12} = 4 \frac{30,8^3}{12} \Rightarrow I_{yb} = 9739 \text{ cm}^4$$

$$F_{yb} = b_f t_f + \left(\frac{d - 2t_f}{2} \frac{1}{3} \right) t_w \Rightarrow F_{yb} = 30,8.4 + \left(\frac{39,5 - 2.4}{2} \frac{1}{3} \right) 2,1 \Rightarrow F_{yb} = 134,23 \text{ cm}^2$$

$$i_{yb} = \sqrt{I_{yb}/F_{yb}} \Rightarrow i_{yb} = \sqrt{9739/134,23} \Rightarrow i_{yb} = 8,52 \text{ cm}$$

$$C_b = 1,75 + 1,05 \left(\frac{M_1}{M_2} \right) + 0,3 \left(\frac{M_1}{M_2} \right) \leq 2,3 \Rightarrow C_b = 1,75$$

$$\frac{s}{i_{yb}} \leq \sqrt{\frac{30000000C_b}{\sigma_y}} \Rightarrow \sigma_B = \left[\frac{2}{3} - \frac{\sigma_y (s/i_{yb})^2}{90000000C_b} \right] \sigma_y < 0,6.1,33\sigma_y$$

$$\frac{s}{i_{yb}} \geq \sqrt{\frac{30000000C_b}{\sigma_y}} \Rightarrow \sigma_B = \frac{10000000C_b}{(s/i_{yb})^2}$$

$$\frac{s}{i_{yb}} = 370/8,52 = 43,44$$

$$\sqrt{\frac{30000000C_b}{\sigma_y}} = \sqrt{\frac{30000000.1,75}{3600}} = 120,761$$

$$\Rightarrow \frac{s}{i_{yb}} < \sqrt{\frac{30000000C_b}{\sigma_y}}$$

$$\sigma_B = \left[\frac{2}{3} - \frac{\sigma_y (s/i_{yb})^2}{90000000C_b} \right] \sigma_y = \left[\frac{2}{3} - \frac{3600.(43,44)^2}{90000000.1,75} \right] .3600 < 0,6.1,33.3600$$

$$\sigma_B = 2245 \text{ kg/cm}^2 < 2873 \text{ kg/cm}^2 \Rightarrow \sigma_B = 2245 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_e' = \frac{\pi^2 E}{(Ks/i_b)^2} \Rightarrow \sigma_e' = \frac{(3,14)^2 . 2100000}{(370/16,32)^2} = 40323,3 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_b = \frac{M}{W_x} \Rightarrow \sigma_b = \frac{9,04.100000}{4297} = 210,4 \text{ kg/cm}^2$$

$$\frac{\sigma_{eb}}{1,33\sigma_{bem}} + \frac{C_{mx}\sigma_{bx}}{\left(1 - \frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{ex}'}\right)\sigma_{Bx}} = \frac{1303}{1,33.1620,2} + \frac{0,85.210,4}{\left(1 - \frac{1303}{40323,3}\right).2245} = 0,69 < 1 \text{ (uygun)}$$

$$\frac{\sigma_{eb}}{0,6.1,33.\sigma_y} + \frac{\sigma_{bx}}{\sigma_{Bx}} = \frac{1303}{0,6.1,33.3600} + \frac{210,4}{2245} = 0,55 < 1 \text{ (uygun)}$$

$$\tau = \frac{Q}{t_w h_i} < 1,33\tau_{em} = 1,33.1,247 = 1,659 \text{ t/cm}^2$$

$$\tau = \frac{2,44}{2.1.31,5} = 0,037 \text{ t/cm}^2 < 1,659 \text{ t/cm}^2 \text{ (uygun)}$$

Kolonun Boyutlandırılması (10KM(R=3))

Seçilen Kesit: HE 600X337

$d=63,2 \text{ cm}$	$b=31 \text{ cm}$	$A=429,2 \text{ cm}^2$
$t_f=4,6 \text{ cm}$	$t_w=2,55 \text{ cm}$	$W_x=8961 \text{ cm}^3$
$I_x=283200 \text{ cm}^4$	$i_x=25,69 \text{ cm}$	$i_y=7,31 \text{ cm}$

Seçilen Kolon Profili İçin Enkesit Koşullarının Sağlanması

$$b/2t_f < 9,2 \Rightarrow 31/(2 \cdot 4,6) = 3,4 < 9,2 \quad (\text{uygun})$$

$$d/t_w < 90,5 \Rightarrow 63,2/2,55 = 24,8 < 90,5 \quad (\text{uygun})$$

Kolonun Boyutlandırılmasında Kullanılacak Yük Birleşimi

$$1,0G+1,0Q+1,0E$$

$$N = -678 \text{ t}$$

$$M = 37,6 \text{ tm}$$

$$V = 7,8 \text{ t}$$

Kolon İçin Gereken Gerilme Kontrolleri

$$\lambda = \frac{kl}{r_y} = 1.370/7,31 = 50,62 \Rightarrow \sigma_{bem} = 1558,6 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{eb} = \frac{N}{A} = 678.1000/429,2 = 1580 \text{ kg/cm}^2$$

$$\frac{\sigma_{eb}}{1,33\sigma_{bem}} > 0,15 \Rightarrow \begin{cases} \frac{\sigma_{eb}}{1,33\sigma_{bem}} + \frac{C_{mx}\sigma_{bx}}{\left(1 - \frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{ex}}\right)\sigma_{Bx}} \leq 1 \\ \frac{\sigma_{eb}}{0,6 \cdot 1,33 \cdot \sigma_y} + \frac{\sigma_{bx}}{\sigma_{Bx}} \leq 1 \end{cases}$$

$$\frac{\sigma_{eb}}{1,33 \cdot \sigma_{bem}} \leq 0,15 \Rightarrow \frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{bem}} + \frac{\sigma_{bx}}{\sigma_{Bx}} \leq 1$$

$$\frac{\sigma_{eb}}{1,33\sigma_{bem}} = \frac{1558,6}{1,33 \cdot 1580} = 0,76 > 0,15$$

$$I_{yb} = t_f \frac{b_f^3}{12} = 4,6 \frac{31^3}{12} \Rightarrow I_{yb} = 11420 \text{ cm}^4$$

$$F_{yb} = b_f t_f + \left(\frac{d - 2t_f}{2} \frac{1}{3} \right) t_w \Rightarrow F_{yb} = 31 \cdot 4,6 + \left(\frac{63,2 - 2 \cdot 4,6}{2} \frac{1}{3} \right) \cdot 2,55 \Rightarrow F_{yb} = 165,55$$

cm^2

$$i_{yb} = \sqrt{I_{yb}/F_{yb}} \Rightarrow i_{yb} = \sqrt{11420/165,55} \Rightarrow i_{yb} = 8,3 \text{ cm}$$

$$C_b = 1,75 + 1,05 \left(\frac{M_1}{M_2} \right) + 0,3 \left(\frac{M_1}{M_2} \right) \leq 2,3 \Rightarrow C_b = 1,75$$

$$\frac{s}{i_{yb}} \leq \sqrt{\frac{30000000C_b}{\sigma_y}} \Rightarrow \sigma_B = \left[\frac{2}{3} - \frac{\sigma_y (s/i_{yb})^2}{90000000C_b} \right] \sigma_y < 0,6.1,33\sigma_y$$

$$\frac{s}{i_{yb}} \geq \sqrt{\frac{30000000C_b}{\sigma_y}} \Rightarrow \sigma_B = \frac{10000000C_b}{(s/i_{yb})^2}$$

$$\frac{s}{i_{yb}} = 370/8,3 = 44,55$$

$$\sqrt{\frac{30000000C_b}{\sigma_y}} = \sqrt{\frac{30000000.1,75}{3600}} = 120,761$$

$$\Rightarrow \frac{s}{i_{yb}} < \sqrt{\frac{30000000C_b}{\sigma_y}}$$

$$\sigma_B = \left[\frac{2}{3} - \frac{\sigma_y (s/i_{yb})^2}{90000000C_b} \right] \sigma_y = \left[\frac{2}{3} - \frac{3600.(44,55)^2}{90000000.1,75} \right] .3600 < 0,6.1,33.3600$$

$$\sigma_B = 2237 \text{ kg/cm}^2 < 2873 \text{ kg/cm}^2 \Rightarrow \sigma_B = 2237 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_e' = \frac{\pi^2 E}{(Ks/i_b)^2} \Rightarrow \sigma_e' = \frac{(3,14)^2 . 2100000}{(370/25,69)^2} = 99918 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_b = \frac{M}{W_x} \Rightarrow \sigma_b = \frac{37,6.100000}{8961} = 419,6 \text{ kg/cm}^2$$

$$\frac{\sigma_{eb}}{1,33\sigma_{bem}} + \frac{C_{mx}\sigma_{bx}}{\left(1 - \frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{ex}}\right)\sigma_{Bx}} = \frac{1580}{1,33.1558,6} + \frac{0,85.419,6}{\left(1 - \frac{1580}{99918}\right).2237} = 0,92 < 1 \text{ (uygun)}$$

$$\frac{\sigma_{eb}}{0,6.1,33.\sigma_y} + \frac{\sigma_{bx}}{\sigma_{Bx}} = \frac{1580}{0,6.1,33.3600} + \frac{419,6}{2237} = 0,74 < 1 \text{ (uygun)}$$

$$\tau = \frac{Q}{t_w h_i} < 1,33\tau_{em} = 1,33.1,247 = 1,659 \text{ t/cm}^2$$

$$\tau = \frac{7,8}{2,55.54} = 0,057 \text{ t/cm}^2 < 1,659 \text{ t/cm}^2 \text{ (uygun)}$$

Kolonun Boyutlandırılması (10KDM)

Seçilen Kesit: **HE 360 M**

$d = 39,5 \text{ cm}$	$b = 30,8 \text{ cm}$	$A = 318,8 \text{ cm}^2$
$t_f = 4 \text{ cm}$	$t_w = 2,1 \text{ cm}$	$W_x = 4297 \text{ cm}^3$
$I_x = 84870 \text{ cm}^4$	$i_x = 16,32 \text{ cm}$	$i_y = 7,83 \text{ cm}$

Seçilen Kolon Profili İçin Enkesit Koşullarının Sağlanması

$b / 2t_f < 9,2 \Rightarrow 39,5 / (2.4) = 3,85 < 9,2$	(uygun)
$d / t_w < 90,5 \Rightarrow 39,5 / 2,1 = 18,8 < 90,5$	(uygun)

Kolonun Boyutlandırılmasında Kullanılacak Yük Birleşimi

1,0G+1,0Q+1,0E

$N = -342,3 \text{ t}$	$M = 10,4 \text{ tm}$	$V = 2,5 \text{ t}$
------------------------	-----------------------	---------------------

Kolon İçin Gereken Gerilme Kontrolleri

$$\lambda = \frac{kl}{r_y} = 1.370 / 7,83 = 47,25 \Rightarrow \sigma_{bem} = 1620,2 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{eb} = \frac{N}{A} = 342,3.1000 / 318,8 = 1074 \text{ kg/cm}^2$$

$$\frac{\sigma_{eb}}{1,33\sigma_{bem}} > 0,15 \Rightarrow \begin{cases} \frac{\sigma_{eb}}{1,33\sigma_{bem}} + \frac{C_{mx}\sigma_{bx}}{\left(1 - \frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{ex}}\right)\sigma_{Bx}} \leq 1 \\ \frac{\sigma_{eb}}{0,6.1,33.\sigma_y} + \frac{\sigma_{bx}}{\sigma_{Bx}} \leq 1 \end{cases}$$

$$\frac{\sigma_{eb}}{1,33.\sigma_{bem}} \leq 0,15 \Rightarrow \frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{bem}} + \frac{\sigma_{bx}}{\sigma_{Bx}} \leq 1$$

$$\frac{\sigma_{eb}}{1,33\sigma_{bem}} = \frac{1074}{1,33.1620,2} = 0,50 > 0,15$$

$$I_{yb} = t_f \frac{b_f^3}{12} = 4 \frac{30,8^3}{12} \Rightarrow I_{yb} = 9739 \text{ cm}^4$$

$$F_{yb} = b_f t_f + \left(\frac{d - 2t_f}{2} \frac{1}{3} \right) t_w \Rightarrow F_{yb} = 30,8.4 + \left(\frac{39,5 - 2.4}{2} \frac{1}{3} \right) 2,1 \Rightarrow F_{yb} = 134,23 \text{ cm}^2$$

$$i_{yb} = \sqrt{I_{yb} / F_{yb}} \Rightarrow i_{yb} = \sqrt{9739 / 134,23} \Rightarrow i_{yb} = 8,52 \text{ cm}$$

$$C_b = 1,75 + 1,05 \left(\frac{M_1}{M_2} \right) + 0,3 \left(\frac{M_1}{M_2} \right) \leq 2,3 \Rightarrow C_b = 1,75$$

$$\frac{s}{i_{yb}} \leq \sqrt{\frac{30000000C_b}{\sigma_y}} \Rightarrow \sigma_B = \left[\frac{2}{3} - \frac{\sigma_y (s/i_{yb})^2}{90000000C_b} \right] \sigma_y < 0,6.1,33\sigma_y$$

$$\frac{s}{i_{yb}} \geq \sqrt{\frac{30000000C_b}{\sigma_y}} \Rightarrow \sigma_B = \frac{10000000C_b}{(s/i_{yb})^2}$$

$$\frac{s}{i_{yb}} = 370/8,52 = 43,44$$

$$\sqrt{\frac{30000000C_b}{\sigma_y}} = \sqrt{\frac{30000000.1,75}{3600}} = 120,761$$

$$\Rightarrow \frac{s}{i_{yb}} < \sqrt{\frac{30000000C_b}{\sigma_y}}$$

$$\sigma_B = \left[\frac{2}{3} - \frac{\sigma_y (s/i_{yb})^2}{90000000C_b} \right] \sigma_y = \left[\frac{2}{3} - \frac{3600.(43,44)^2}{90000000.1,75} \right] .3600 < 0,6.1,33.3600$$

$$\sigma_B = 2245 \text{ kg/cm}^2 < 2873 \text{ kg/cm}^2 \Rightarrow \sigma_B = 2245 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_e' = \frac{\pi^2 E}{(Ks/i_b)^2} \Rightarrow \sigma_e' = \frac{(3,14)^2 . 2100000}{(370/16,32)^2} = 40323,3 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_b = \frac{M}{W_x} \Rightarrow \sigma_b = \frac{10,4.100000}{4297} = 242,03 \text{ kg/cm}^2$$

$$\frac{\sigma_{eb}}{1,33\sigma_{bem}} + \frac{C_{mx}\sigma_{bx}}{\left(1 - \frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{ex}}\right)\sigma_{Bx}} = \frac{1074}{1,33.1620,2} + \frac{0,85.242,03}{\left(1 - \frac{1074}{40323,3}\right).2245} = 0,60 < 1 \text{ (uygun)}$$

$$\frac{\sigma_{eb}}{0,6.1,33.\sigma_y} + \frac{\sigma_{bx}}{\sigma_{Bx}} = \frac{1074}{0,6.1,33.3600} + \frac{242,03}{2245} = 0,50 < 1 \text{ (uygun)}$$

$$\tau = \frac{Q}{t_w h_i} < 1,33\tau_{em} = 1,33.1,247 = 1,659 \text{ t/cm}^2$$

$$\tau = \frac{2,5}{2.1.31,5} = 0,038 \text{ t/cm}^2 < 1,659 \text{ t/cm}^2 \text{ (uygun)}$$

Kolonun Boyutlandırılması (10KP)

Seçilen Kesit: **HE 240 M**

d= 27 cm	b= 24,8 cm	A= 199,6 cm ²
t _f = 3,2 cm	t _w = 1,8 cm	W _x = 1799 cm ³
I _x = 24290 cm ⁴	i _x = 11,03 cm	i _y = 6,39 cm

Seçilen Kolon Profili İçin Enkesit Koşullarının Sağlanması

$b / 2t_f < 9,2 \Rightarrow 24,8 / (2.3,2) = 3,875 < 9,2$	(uygun)
$d / t_w < 90,5 \Rightarrow 27 / 1,8 = 15 < 90,5$	(uygun)

Kolonun Boyutlandırılmasında Kullanılacak Yük Birleşimi

1,0G+1,0Q+1,0E

N= -335,1 t	M= 3,6 tm	V= 1,42 t
-------------	-----------	-----------

Kolon İçin Gereken Gerilme Kontrolleri

$$\lambda = \frac{kl}{r_y} = 1.370 / 6,39 = 57,9 \Rightarrow \sigma_{bem} = 1452,1 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{eb} = \frac{N}{A} = 335,1.1000 / 199,6 = 1679 \text{ kg/cm}^2$$

$$\frac{\sigma_{eb}}{1,33\sigma_{bem}} > 0,15 \Rightarrow \begin{cases} \frac{\sigma_{eb}}{1,33\sigma_{bem}} + \frac{C_{mx}\sigma_{bx}}{\left(1 - \frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{ex}}\right)\sigma_{Bx}} \leq 1 \\ \frac{\sigma_{eb}}{0,6.1,33.\sigma_y} + \frac{\sigma_{bx}}{\sigma_{Bx}} \leq 1 \end{cases}$$

$$\frac{\sigma_{eb}}{1,33.\sigma_{bem}} \leq 0,15 \Rightarrow \frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{bem}} + \frac{\sigma_{bx}}{\sigma_{Bx}} \leq 1$$

$$\frac{\sigma_{eb}}{1,33\sigma_{bem}} = \frac{1679}{1,33.1452,1} = 0,87 > 0,15$$

$$I_{yb} = t_f \frac{b_f^3}{12} = 3,2 \frac{24,8^3}{12} \Rightarrow I_{yb} = 4067 \text{ cm}^4$$

$$F_{yb} = b_f t_f + \left(\frac{d - 2t_f}{2} \frac{1}{3} \right) t_w \Rightarrow F_{yb} = 24,8.3,2 + \left(\frac{27 - 2.3,2}{2} \frac{1}{3} \right) 1,8 \Rightarrow F_{yb} = 85,54 \text{ cm}^2$$

$$i_{yb} = \sqrt{I_{yb} / F_{yb}} \Rightarrow i_{yb} = \sqrt{4067 / 85,54} \Rightarrow i_{yb} = 6,89 \text{ cm}$$

$$C_b = 1,75 + 1,05 \left(\frac{M_1}{M_2} \right) + 0,3 \left(\frac{M_1}{M_2} \right) \leq 2,3 \Rightarrow C_b = 1,75$$

$$\frac{s}{i_{yb}} \leq \sqrt{\frac{30000000C_b}{\sigma_y}} \Rightarrow \sigma_B = \left[\frac{2}{3} - \frac{\sigma_y (s/i_{yb})^2}{90000000C_b} \right] \sigma_y < 0,6.1,33\sigma_y$$

$$\frac{s}{i_{yb}} \geq \sqrt{\frac{30000000C_b}{\sigma_y}} \Rightarrow \sigma_B = \frac{10000000C_b}{(s/i_{yb})^2}$$

$$\frac{s}{i_{yb}} = 370/6,89 = 53,66$$

$$\sqrt{\frac{30000000C_b}{\sigma_y}} = \sqrt{\frac{30000000.1,75}{3600}} = 120,761$$

$$\Rightarrow \frac{s}{i_{yb}} < \sqrt{\frac{30000000C_b}{\sigma_y}}$$

$$\sigma_B = \left[\frac{2}{3} - \frac{\sigma_y (s/i_{yb})^2}{90000000C_b} \right] \sigma_y = \left[\frac{2}{3} - \frac{3600.(53,66)^2}{90000000.1,75} \right] 3600 < 0,6.1,33.3600$$

$$\sigma_B = 2163 \text{ kg/cm}^2 < 2873 \text{ kg/cm}^2 \Rightarrow \sigma_B = 2163 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_e' = \frac{\pi^2 E}{(Ks/i_b)^2} \Rightarrow \sigma_e' = \frac{(3,14)^2 . 2100000}{(370/11,03)^2} = 18419 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_b = \frac{M}{W_x} \Rightarrow \sigma_b = \frac{13,6.100000}{1799} = 200,1 \text{ kg/cm}^2$$

$$\frac{\sigma_{eb}}{1,33\sigma_{bem}} + \frac{C_{mx}\sigma_{bx}}{\left(1 - \frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{ex}}\right)\sigma_{Bx}} = \frac{1679}{1,33.1452,1} + \frac{0,85.200,1}{\left(1 - \frac{1679}{18419}\right).2163} = 0,96 < 1 \text{ (uygun)}$$

$$\frac{\sigma_{eb}}{0,6.1,33.\sigma_y} + \frac{\sigma_{bx}}{\sigma_{Bx}} = \frac{1679}{0,6.1,33.3600} + \frac{200,1}{2163} = 0,68 < 1 \text{ (uygun)}$$

$$\tau = \frac{Q}{t_w h_i} < 1,33\tau_{em} = 1,33.1,247 = 1,659 \text{ t/cm}^2$$

$$\tau = \frac{1,42}{1,8.20,6} = 0,038 \text{ t/cm}^2 < 1,659 \text{ t/cm}^2 \text{ (uygun)}$$

Kolonun Boyutlandırılması (5KM)

Seçilen Kesit: **HE 240 B**

d= 24 cm	b= 24 cm	A= 106 cm ²
t _f = 1,7 cm	t _w = 1 cm	W _x = 938,3 cm ³
I _x = 11260 cm ⁴	i _x = 10,31 cm	i _y = 6,08 cm

Seçilen Kolon Profili İçin Enkesit Koşullarının Sağlanması

$b / 2t_f < 9,2 \Rightarrow 24 / (2 \cdot 1,7) = 7,058 < 9,2$	(uygun)
$d / t_w < 90,5 \Rightarrow 24 / 1 = 24 < 90,5$	(uygun)

Kolonun Boyutlandırılmasında Kullanılacak Yük Birleşimi

1,0G+1,0Q+1,0E

N= -161,7 t	M= 1,53 tm	V= 0,6 t
-------------	------------	----------

Kolon İçin Gereken Gerilme Kontrolleri

$$\lambda = \frac{kl}{r_y} = 1.370 / 6,08 = 60,86 \Rightarrow \sigma_{bem} = 1406,9 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{eb} = \frac{N}{A} = 161,7 \cdot 1000 / 106 = 1525,47 \text{ kg/cm}^2$$

$$\frac{\sigma_{eb}}{1,33\sigma_{bem}} > 0,15 \Rightarrow \begin{cases} \frac{\sigma_{eb}}{1,33\sigma_{bem}} + \frac{C_{mx}\sigma_{bx}}{\left(1 - \frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{ex}}\right)\sigma_{Bx}} \leq 1 \\ \frac{\sigma_{eb}}{0,6 \cdot 1,33 \cdot \sigma_y} + \frac{\sigma_{bx}}{\sigma_{Bx}} \leq 1 \end{cases}$$

$$\frac{\sigma_{eb}}{1,33 \cdot \sigma_{bem}} \leq 0,15 \Rightarrow \frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{bem}} + \frac{\sigma_{bx}}{\sigma_{Bx}} \leq 1$$

$$\frac{\sigma_{eb}}{1,33\sigma_{bem}} = \frac{1525,47}{1,33 \cdot 1406,9} = 0,50 > 0,15$$

$$I_{yb} = t_f \frac{b_f^3}{12} = 1,7 \frac{24^3}{12} \Rightarrow I_{yb} = 1958,4 \text{ cm}^4$$

$$F_{yb} = b_f t_f + \left(\frac{d - 2t_f}{2} \frac{1}{3} \right) t_w \Rightarrow F_{yb} = 24 \cdot 1,7 + \left(\frac{24 - 2 \cdot 1,7}{2} \frac{1}{3} \right) \cdot 1 \Rightarrow F_{yb} = 44,23 \text{ cm}^2$$

$$i_{yb} = \sqrt{I_{yb} / F_{yb}} \Rightarrow i_{yb} = \sqrt{1958,4 / 44,23} \Rightarrow i_{yb} = 6,65 \text{ cm}$$

$$C_b = 1,75 + 1,05 \left(\frac{M_1}{M_2} \right) + 0,3 \left(\frac{M_1}{M_2} \right) \leq 2,3 \Rightarrow C_b = 1,75$$

$$\frac{s}{i_{yb}} \leq \sqrt{\frac{30000000C_b}{\sigma_y}} \Rightarrow \sigma_B = \left[\frac{2}{3} - \frac{\sigma_y (s/i_{yb})^2}{90000000C_b} \right] \sigma_y < 0,6.1,33\sigma_y$$

$$\frac{s}{i_{yb}} \geq \sqrt{\frac{30000000C_b}{\sigma_y}} \Rightarrow \sigma_B = \frac{10000000C_b}{(s/i_{yb})^2}$$

$$\frac{s}{i_{yb}} = 370/6,65 = 55,60$$

$$\sqrt{\frac{30000000C_b}{\sigma_y}} = \sqrt{\frac{30000000.1,75}{3600}} = 120,761$$

$$\Rightarrow \frac{s}{i_{yb}} < \sqrt{\frac{30000000C_b}{\sigma_y}}$$

$$\sigma_B = \left[\frac{2}{3} - \frac{\sigma_y (s/i_{yb})^2}{90000000C_b} \right] \sigma_y = \left[\frac{2}{3} - \frac{3600.(55,6)^2}{90000000.1,75} \right] .3600 < 0,6.1,33.3600$$

$$\sigma_B = 2146 \text{ kg/cm}^2 < 2873 \text{ kg/cm}^2 \Rightarrow \sigma_B = 2146 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_e' = \frac{\pi^2 E}{(Ks/i_b)^2} \Rightarrow \sigma_e' = \frac{(3,14)^2 . 2100000}{(370/10,31)^2} = 16092,8 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_b = \frac{M}{W_x} \Rightarrow \sigma_b = \frac{1,53.100000}{938,3} = 163,06 \text{ kg/cm}^2$$

$$\frac{\sigma_{eb}}{1,33\sigma_{bem}} + \frac{C_{mx}\sigma_{bx}}{\left(1 - \frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{ex}}\right)\sigma_{Bx}} = \frac{1525,47}{1,33.1406,9} + \frac{0,85.163,06}{\left(1 - \frac{1525,47}{16092,8}\right).2146} = 0,89 < 1 \text{ (uygun)}$$

$$\frac{\sigma_{eb}}{0,6.1,33.\sigma_y} + \frac{\sigma_{bx}}{\sigma_{Bx}} = \frac{1525,47}{0,6.1,33.3600} + \frac{163,06}{2146} = 0,61 < 1 \text{ (uygun)}$$

$$\tau = \frac{Q}{t_w h_i} < 1,33\tau_{em} = 1,33.1,247 = 1,659 \text{ t/cm}^2$$

$$\tau = \frac{0,60}{1.20,6} = 0,029 \text{ t/cm}^2 < 1,659 \text{ t/cm}^2 \text{ (uygun)}$$

Kolonun Boyutlandırılması (5KM(R=3))

Seçilen Kesit: **HE 240 M**

$d = 27 \text{ cm}$	$b = 24,8 \text{ cm}$	$A = 199,6 \text{ cm}^2$
$t_f = 3,2 \text{ cm}$	$t_w = 1,8 \text{ cm}$	$W_x = 1799 \text{ cm}^3$
$I_x = 24290 \text{ cm}^4$	$i_x = 11,03 \text{ cm}$	$i_y = 6,39 \text{ cm}$

Seçilen Kolon Profili İçin Enkesit Koşullarının Sağlanması

$$b / 2t_f < 9,2 \Rightarrow 24,8 / (2 \cdot 3,2) = 3,875 < 9,2 \quad (\text{uygun})$$

$$d / t_w < 90,5 \Rightarrow 27 / 1,8 = 15 < 90,5 \quad (\text{uygun})$$

Kolonun Boyutlandırılmasında Kullanılacak Yük Birleşimi

$$1,0G + 1,0Q + 1,0E$$

$$N = -253,8 \text{ t}$$

$$M = 4,9 \text{ tm}$$

$$V = 1,72 \text{ t}$$

Kolon İçin Gereken Gerilme Kontrolleri

$$\lambda = \frac{kl}{r_y} = 1.370 / 6,39 = 57,9 \Rightarrow \sigma_{bem} = 1452,1 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{eb} = \frac{N}{A} = 253,8 \cdot 1000 / 199,6 = 1272 \text{ kg/cm}^2$$

$$\frac{\sigma_{eb}}{1,33\sigma_{bem}} > 0,15 \Rightarrow \begin{cases} \frac{\sigma_{eb}}{1,33\sigma_{bem}} + \frac{C_{mx}\sigma_{bx}}{\left(1 - \frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{ex}}\right)\sigma_{Bx}} \leq 1 \\ \frac{\sigma_{eb}}{0,6 \cdot 1,33\sigma_y} + \frac{\sigma_{bx}}{\sigma_{Bx}} \leq 1 \end{cases}$$

$$\frac{\sigma_{eb}}{1,33\sigma_{bem}} \leq 0,15 \Rightarrow \frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{bem}} + \frac{\sigma_{bx}}{\sigma_{Bx}} \leq 1$$

$$\frac{\sigma_{eb}}{1,33\sigma_{bem}} = \frac{1272}{1,33 \cdot 1452,1} = 0,66 > 0,15$$

$$I_{yb} = t_f \frac{b_f^3}{12} = 3,2 \frac{24,8^3}{12} \Rightarrow I_{yb} = 4067 \text{ cm}^4$$

$$F_{yb} = b_f t_f + \left(\frac{d - 2t_f}{2} \frac{1}{3} \right) t_w \Rightarrow F_{yb} = 24,8 \cdot 3,2 + \left(\frac{27 - 2 \cdot 3,2}{2} \frac{1}{3} \right) \cdot 1,8 \Rightarrow F_{yb} = 85,54 \text{ cm}^2$$

$$i_{yb} = \sqrt{I_{yb} / F_{yb}} \Rightarrow i_{yb} = \sqrt{4067 / 85,54} \Rightarrow i_{yb} = 6,89 \text{ cm}$$

$$C_b = 1,75 + 1,05 \left(\frac{M_1}{M_2} \right) + 0,3 \left(\frac{M_1}{M_2} \right) \leq 2,3 \Rightarrow C_b = 1,75$$

$$\frac{s}{i_{yb}} \leq \sqrt{\frac{30000000C_b}{\sigma_y}} \Rightarrow \sigma_B = \left[\frac{2}{3} - \frac{\sigma_y (s/i_{yb})^2}{90000000C_b} \right] \sigma_y < 0,6.1,33\sigma_y$$

$$\frac{s}{i_{yb}} \geq \sqrt{\frac{30000000C_b}{\sigma_y}} \Rightarrow \sigma_B = \frac{10000000C_b}{(s/i_{yb})^2}$$

$$\frac{s}{i_{yb}} = 370/6,89 = 53,66$$

$$\sqrt{\frac{30000000C_b}{\sigma_y}} = \sqrt{\frac{30000000.1,75}{3600}} = 120,761$$

$$\Rightarrow \frac{s}{i_{yb}} < \sqrt{\frac{30000000C_b}{\sigma_y}}$$

$$\sigma_B = \left[\frac{2}{3} - \frac{\sigma_y (s/i_{yb})^2}{90000000C_b} \right] \sigma_y = \left[\frac{2}{3} - \frac{3600.(53,66)^2}{90000000.1,75} \right] 3600 < 0,6.1,33.3600$$

$$\sigma_B = 2163 \text{ kg/cm}^2 < 2873 \text{ kg/cm}^2 \Rightarrow \sigma_B = 2163 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_e' = \frac{\pi^2 E}{(Ks/i_b)^2} \Rightarrow \sigma_e' = \frac{(3,14)^2 . 2100000}{(370/11,03)^2} = 18419 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_b = \frac{M}{W_x} \Rightarrow \sigma_b = \frac{4,9.100000}{1799} = 272,4 \text{ kg/cm}^2$$

$$\frac{\sigma_{eb}}{1,33\sigma_{bem}} + \frac{C_{mx}\sigma_{bx}}{\left(1 - \frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{ex}}\right)\sigma_{Bx}} = \frac{1272}{1,33.1452,1} + \frac{0,85.272,4}{\left(1 - \frac{1272}{18419}\right).2163} = 0,77 < 1 \text{ (uygun)}$$

$$\frac{\sigma_{eb}}{0,6.1,33.\sigma_y} + \frac{\sigma_{bx}}{\sigma_{Bx}} = \frac{1272}{0,6.1,33.3600} + \frac{272,4}{2163} = 0,57 < 1 \text{ (uygun)}$$

$$\tau = \frac{Q}{t_w h_i} < 1,33\tau_{em} = 1,33.1,247 = 1,659 \text{ t/cm}^2$$

$$\tau = \frac{1,72}{1,8.20,6} = 0,046 \text{ t/cm}^2 < 1,659 \text{ t/cm}^2 \text{ (uygun)}$$

Kolonun Boyutlandırılması (SKDM)

Seçilen Kesit: **HE 240 B**

$d = 24 \text{ cm}$	$b = 24 \text{ cm}$	$A = 106 \text{ cm}^2$
$t_f = 1,7 \text{ cm}$	$t_w = 1 \text{ cm}$	$W_x = 938,3 \text{ cm}^3$
$I_x = 11260 \text{ cm}^4$	$i_x = 10,31 \text{ cm}$	$i_y = 6,08 \text{ cm}$

Seçilen Kolon Profili İçin Enkesit Koşullarının Sağlanması

$b / 2t_f < 9,2 \Rightarrow 24 / (2 \cdot 1,7) = 7,058 < 9,2$	(uygun)
$d / t_w < 90,5 \Rightarrow 24 / 1 = 24 < 90,5$	(uygun)

Kolonun Boyutlandırılmasında Kullanılacak Yük Birleşimi

1,0G+1,0Q+1,0E

$N = -161,7 \text{ t}$	$M = 1,61 \text{ tm}$	$V = 0,5 \text{ t}$
------------------------	-----------------------	---------------------

Kolon İçin Gereken Gerilme Kontrolleri

$$\lambda = \frac{kl}{r_y} = 1.370 / 6,08 = 60,86 \Rightarrow \sigma_{bem} = 1406,9 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{eb} = \frac{N}{A} = 161,7 \cdot 1000 / 106 = 1525,47 \text{ kg/cm}^2$$

$$\frac{\sigma_{eb}}{1,33\sigma_{bem}} > 0,15 \Rightarrow \begin{cases} \frac{\sigma_{eb}}{1,33\sigma_{bem}} + \frac{C_{mx}\sigma_{bx}}{\left(1 - \frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{ex}}\right)\sigma_{Bx}} \leq 1 \\ \frac{\sigma_{eb}}{0,6 \cdot 1,33 \cdot \sigma_y} + \frac{\sigma_{bx}}{\sigma_{Bx}} \leq 1 \end{cases}$$

$$\frac{\sigma_{eb}}{1,33 \cdot \sigma_{bem}} \leq 0,15 \Rightarrow \frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{bem}} + \frac{\sigma_{bx}}{\sigma_{Bx}} \leq 1$$

$$\frac{\sigma_{eb}}{1,33\sigma_{bem}} = \frac{1525,47}{1,33 \cdot 1406,9} = 0,50 > 0,15$$

$$I_{yb} = t_f \frac{b_f^3}{12} = 1,7 \frac{24^3}{12} \Rightarrow I_{yb} = 1958,4 \text{ cm}^4$$

$$F_{yb} = b_f t_f + \left(\frac{d - 2t_f}{2} \frac{1}{3} \right) t_w \Rightarrow F_{yb} = 24 \cdot 1,7 + \left(\frac{24 - 2 \cdot 1,7}{2} \frac{1}{3} \right) \cdot 1 \Rightarrow F_{yb} = 44,23 \text{ cm}^2$$

$$i_{yb} = \sqrt{I_{yb} / F_{yb}} \Rightarrow i_{yb} = \sqrt{1958,4 / 44,23} \Rightarrow i_{yb} = 6,65 \text{ cm}$$

$$C_b = 1,75 + 1,05 \left(\frac{M_1}{M_2} \right) + 0,3 \left(\frac{M_1}{M_2} \right) \leq 2,3 \Rightarrow C_b = 1,75$$

$$\frac{s}{i_{yb}} \leq \sqrt{\frac{30000000C_b}{\sigma_y}} \Rightarrow \sigma_B = \left[\frac{2}{3} - \frac{\sigma_y (s/i_{yb})^2}{90000000C_b} \right] \sigma_y < 0,6.1,33\sigma_y$$

$$\frac{s}{i_{yb}} \geq \sqrt{\frac{30000000C_b}{\sigma_y}} \Rightarrow \sigma_B = \frac{10000000C_b}{(s/i_{yb})^2}$$

$$\frac{s}{i_{yb}} = 370/6,65 = 55,60$$

$$\sqrt{\frac{30000000C_b}{\sigma_y}} = \sqrt{\frac{30000000.1,75}{3600}} = 120,761$$

$$\Rightarrow \frac{s}{i_{yb}} < \sqrt{\frac{30000000C_b}{\sigma_y}}$$

$$\sigma_B = \left[\frac{2}{3} - \frac{\sigma_y (s/i_{yb})^2}{90000000C_b} \right] \sigma_y = \left[\frac{2}{3} - \frac{3600.(55,6)^2}{90000000.1,75} \right] .3600 < 0,6.1,33.3600$$

$$\sigma_B = 2146 \text{ kg/cm}^2 < 2873 \text{ kg/cm}^2 \Rightarrow \sigma_B = 2146 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_e' = \frac{\pi^2 E}{(Ks/i_b)^2} \Rightarrow \sigma_e' = \frac{(3,14)^2 . 2100000}{(370/10,31)^2} = 16092,8 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_b = \frac{M}{W_x} \Rightarrow \sigma_b = \frac{1,61.100000}{938,3} = 171,6 \text{ kg/cm}^2$$

$$\frac{\sigma_{eb}}{1,33\sigma_{bem}} + \frac{C_{mx}\sigma_{bx}}{\left(1 - \frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{ex}}\right)\sigma_{Bx}} = \frac{1525,47}{1,33.1406,9} + \frac{0,85.171,6}{\left(1 - \frac{1525,47}{16092,8}\right).2146} = 0,89 < 1 \text{ (uygun)}$$

$$\frac{\sigma_{eb}}{0,6.1,33.\sigma_y} + \frac{\sigma_{bx}}{\sigma_{Bx}} = \frac{1525,47}{0,6.1,33.3600} + \frac{171,6}{2146} = 0,61 < 1 \text{ (uygun)}$$

$$\tau = \frac{Q}{t_w h_i} < 1,33\tau_{em} = 1,33.1,247 = 1,659 \text{ t/cm}^2$$

$$\tau = \frac{0,5}{1.20,6} = 0,024 \text{ t/cm}^2 < 1,659 \text{ t/cm}^2 \text{ (uygun)}$$

Kolonun Boyutlandırılması (SKP)

Seçilen Kesit: **HE 200 M**

$d = 22 \text{ cm}$	$b = 20,6 \text{ cm}$	$A = 131,3 \text{ cm}^2$
$t_f = 2,5 \text{ cm}$	$t_w = 1,5 \text{ cm}$	$W_x = 967,4 \text{ cm}^3$
$I_x = 10640 \text{ cm}^4$	$i_x = 9 \text{ cm}$	$i_y = 5,27 \text{ cm}$

Seçilen Kolon Profili İçin Enkesit Koşullarının Sağlanması

$b / 2t_f < 9,2 \Rightarrow 20,6 / (2 \cdot 2,5) = 4,12 < 9,2$	(uygun)
$d / t_w < 90,5 \Rightarrow 22 / 1,5 = 14,7 < 90,5$	(uygun)

Kolonun Boyutlandırılmasında Kullanılacak Yük Birleşimi

1,0G+1,0Q+1,0E

$N = -161,7 \text{ t}$	$M = 2,64 \text{ tm}$	$V = 1,3 \text{ t}$
------------------------	-----------------------	---------------------

Kolon İçin Gereken Gerilme Kontrolleri

$$\lambda = \frac{kl}{r_y} = 1.370 / 5,27 = 70,21 \Rightarrow \sigma_{bem} = 1272,4 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{eb} = \frac{N}{A} = 161,7 \cdot 1000 / 131,3 = 1232 \text{ kg/cm}^2$$

$$\frac{\sigma_{eb}}{1,33\sigma_{bem}} > 0,15 \Rightarrow \begin{cases} \frac{\sigma_{eb}}{1,33\sigma_{bem}} + \frac{C_{mx}\sigma_{bx}}{\left(1 - \frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{ex}}\right)\sigma_{Bx}} \leq 1 \\ \frac{\sigma_{eb}}{0,6 \cdot 1,33 \cdot \sigma_y} + \frac{\sigma_{bx}}{\sigma_{Bx}} \leq 1 \end{cases}$$

$$\frac{\sigma_{eb}}{1,33 \cdot \sigma_{bem}} \leq 0,15 \Rightarrow \frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{bem}} + \frac{\sigma_{bx}}{\sigma_{Bx}} \leq 1$$

$$\frac{\sigma_{eb}}{1,33\sigma_{bem}} = \frac{1232}{1,33 \cdot 1272,4} = 0,73 > 0,15$$

$$I_{yb} = t_f \frac{b_f^3}{12} = 2,5 \frac{20,6^3}{12} \Rightarrow I_{yb} = 1821 \text{ cm}^4$$

$$F_{yb} = b_f t_f + \left(\frac{d - 2t_f}{2} \cdot \frac{1}{3} \right) t_w \Rightarrow F_{yb} = 20,6 \cdot 2,5 + \left(\frac{22 - 2 \cdot 2,5}{2} \cdot \frac{1}{3} \right) \cdot 1,5 \Rightarrow F_{yb} = 55,75 \text{ cm}^2$$

$$i_{yb} = \sqrt{I_{yb} / F_{yb}} \Rightarrow i_{yb} = \sqrt{1875 / 55,75} \Rightarrow i_{yb} = 5,72 \text{ cm}$$

$$C_b = 1,75 + 1,05 \left(\frac{M_1}{M_2} \right) + 0,3 \left(\frac{M_1}{M_2} \right) \leq 2,3 \Rightarrow C_b = 1,75$$

$$\frac{s}{i_{yb}} \leq \sqrt{\frac{30000000C_b}{\sigma_y}} \Rightarrow \sigma_B = \left[\frac{2}{3} - \frac{\sigma_y (s/i_{yb})^2}{90000000C_b} \right] \sigma_y < 0,6.1,33\sigma_y$$

$$\frac{s}{i_{yb}} \geq \sqrt{\frac{30000000C_b}{\sigma_y}} \Rightarrow \sigma_B = \frac{10000000C_b}{(s/i_{yb})^2}$$

$$\frac{s}{i_{yb}} = 370/5,72 = 64,74$$

$$\sqrt{\frac{30000000C_b}{\sigma_y}} = \sqrt{\frac{30000000.1,75}{3600}} = 120,761$$

$$\Rightarrow \frac{s}{i_{yb}} < \sqrt{\frac{30000000C_b}{\sigma_y}}$$

$$\sigma_B = \left[\frac{2}{3} - \frac{\sigma_y (s/i_{yb})^2}{90000000C_b} \right] \sigma_y = \left[\frac{2}{3} - \frac{3600.(64,74)^2}{90000000.1,75} \right] 3600 < 0,6.1,33.3600$$

$$\sigma_B = 2055 \text{ kg/cm}^2 < 2873 \text{ kg/cm}^2 \Rightarrow \sigma_B = 2055 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_e' = \frac{\pi^2 E}{(Ks/i_b)^2} \Rightarrow \sigma_e' = \frac{(3,14)^2 . 2100000}{(370/9)^2} = 12263,1 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_b = \frac{M}{W_x} \Rightarrow \sigma_b = \frac{2,64.100000}{967,4} = 272,9 \text{ kg/cm}^2$$

$$\frac{\sigma_{eb}}{1,33\sigma_{bem}} + \frac{C_{mx}\sigma_{bx}}{\left(1 - \frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{ex}}\right)\sigma_{Bx}} = \frac{1232}{1,33.1272,4} + \frac{0,85.272,9}{\left(1 - \frac{1232}{12262,1}\right).2055} = 0,85 < 1 \text{ (uygun)}$$

$$\frac{\sigma_{eb}}{0,6.1,33.\sigma_y} + \frac{\sigma_{bx}}{\sigma_{Bx}} = \frac{1232}{0,6.1,33.3600} + \frac{272,9}{2055} = 0,56 < 1 \text{ (uygun)}$$

$$\tau = \frac{Q}{t_w h_i} < 1,33\tau_{em} = 1,33.1,247 = 1,659 \text{ t/cm}^2$$

$$\tau = \frac{1,3}{1,5.17} = 0,051 \text{ t/cm}^2 < 1,659 \text{ t/cm}^2 \text{ (uygun)}$$

Çapraz Elemanın Boyutlandırılması (10KM)

Seçilen Kesit: **HE 180 B**

d= 18 cm	b= 18 cm	A= 65,25 cm ²
t _f = 1,4 cm	t _w = 0,85 cm	W _x = 425,7 cm ³
I _x = 3831 cm ⁴	i _x = 7,66 cm	i _y = 4,57 cm

Seçilen Çapraz Elemanı Profili İçin Enkesit Koşullarının Sağlanması

$b / 2t_f < 9,2 \Rightarrow 18 / (2 \cdot 1,4) = 6,42 < 9,2$	(uygun)
$d / t_w < 90,5 \Rightarrow 18 / 1,4 = 21,18 < 90,5$	(uygun)

Çapraz Elemanın Boyutlandırılmasında Kullanılacak Yük Birleşimi

1,0G+1,0Q+1,0E

Elastik analiz sonucunda çapraz elemana etkiyen en büyük eksenel basınç kuvveti:

N= -55 t

Çapraz Eleman İçin Basınç Dayanım Kontrolü

$$\lambda = \frac{kl}{r_y} \leq 5,87 \sqrt{E_s / F_y} = 5,87 \sqrt{2100 / 3,6} = 141,8$$

$$\lambda = \frac{kl}{r_y} = 1.476,34 / 4,57 = 104,232 \leq 141,8 \Rightarrow \sigma_{bem} = 769,5 \text{ kg/cm}^2$$

$$\phi_c = 0,85$$

$$P_n = A \cdot \sigma_{bem}$$

$$1,7\phi_c P_n = 1,7 \cdot 0,85 \cdot 65,25 \cdot 0,7695 = 72,55 \text{ t}$$

$$N = 55 \text{ t} < 72,55 \text{ t} \quad \text{(uygun)}$$

Çapraz Elemanın Boyutlandırılması (15KM-V1)

Seçilen Kesit: **HE 180 B**

d= 18 cm	b= 18 cm	A= 65,25 cm ²
t _f = 1,4 cm	t _w = 0,85 cm	W _x = 425,7 cm ³
I _x = 3831 cm ⁴	i _x = 7,66 cm	i _y = 4,57 cm

Seçilen Çapraz Elemanı Profili İçin Enkesit Koşullarının Sağlanması

$b / 2t_f < 9,2 \Rightarrow 18 / (2 \cdot 1,4) = 6,42 < 9,2$	(uygun)
$d / t_w < 90,5 \Rightarrow 18 / 1,4 = 21,18 < 90,5$	(uygun)

Çapraz Elemanın Boyutlandırılmasında Kullanılacak Yük Birleşimi

1,0G+1,0Q+1,0E

Elastik analiz sonucunda çapraz elemana etkiyen en büyük eksenel basınç kuvveti:

N= -65 t

Çapraz Eleman İçin Basınç Dayanım Kontrolü

$$\lambda = \frac{kl}{r_y} \leq 5,87 \sqrt{E_s / F_y} = 5,87 \sqrt{2100 / 3,6} = 141,8$$

$$\lambda = \frac{kl}{r_y} = 1.476,34 / 4,57 = 104,232 \leq 141,8 \Rightarrow \sigma_{bem} = 769,5 \text{ kg/cm}^2$$

$$\phi_c = 0,85$$

$$P_n = A \cdot \sigma_{bem}$$

$$1,7\phi_c P_n = 1,7 \cdot 0,85 \cdot 65,25 \cdot 0,7695 = 72,55 \text{ t}$$

$$N = 65 \text{ t} < 72,55 \text{ t} \quad \text{(uygun)}$$

Çapraz Elemanın Boyutlandırılması (8. katta eklenenler)(15KM-V1)Seçilen Kesit: **HE 220 B**

d= 22 cm	b= 22 cm	A= 91,04 cm ²
t _f = 1,6 cm	t _w = 0,95 cm	W _x = 735,5 cm ³
I _x = 8091 cm ⁴	i _x = 9,43 cm	i _y = 5,59 cm

Seçilen Çapraz Elemanı Profili İçin Enkesit Koşullarının Sağlanması

$b / 2t_f < 9,2 \Rightarrow 22 / (2 \cdot 1,6) = 6,88 < 9,2$	(uygun)
$d / t_w < 90,5 \Rightarrow 22 / 0,95 = 23,2 < 90,5$	(uygun)

Çapraz Elemanın Boyutlandırılmasında Kullanılacak Yük Birleşimi

1,0G+1,0Q+1,0E

Elastik analiz sonucunda çapraz elemana etkiyen en büyük eksenel basınç kuvveti:

N= -109,5 t

Çapraz Eleman İçin Basınç Dayanım Kontrolü

$$\lambda = \frac{kl}{r_y} \leq 5,87 \sqrt{E_s / F_y} = 5,87 \sqrt{2100 / 3,6} = 141,8$$

$$\lambda = \frac{kl}{r_y} = 1.476,34 / 5,59 = 85,21 \leq 141,8 \Rightarrow \sigma_{bem} = 1050,8 \text{ kg/cm}^2$$

$$\phi_c = 0,85$$

$$P_n = A \cdot \sigma_{bem}$$

$$1,7\phi_c P_n = 1,7 \cdot 0,85 \cdot 91,04 \cdot 1,0508 = 72,55 \text{ t}$$

$$N = 109,5 \text{ t} < 138,234 \text{ t} \quad \textbf{(uygun)}$$

Çapraz Elemanın Boyutlandırılması (15KM-V2)

Seçilen Kesit: **HE 180 B**

d= 18 cm	b= 18 cm	A= 65,25 cm ²
t _f = 1,4 cm	t _w = 0,85 cm	W _x = 425,7 cm ³
I _x = 3831 cm ⁴	i _x = 7,66 cm	i _y = 4,57 cm

Seçilen Çapraz Elemanı Profili İçin Enkesit Koşullarının Sağlanması

$b / 2t_f < 9,2 \Rightarrow 18 / (2 \cdot 1,4) = 6,42 < 9,2$	(uygun)
$d / t_w < 90,5 \Rightarrow 18 / 1,4 = 21,18 < 90,5$	(uygun)

Çapraz Elemanın Boyutlandırılmasında Kullanılacak Yük Birleşimi

1,0G+1,0Q+1,0E

Elastik analiz sonucunda çapraz elemana etkiyen en büyük eksenel basınç kuvveti:

N= -65,3 t

Çapraz Eleman İçin Basınç Dayanım Kontrolü

$$\lambda = \frac{kl}{r_y} \leq 5,87 \sqrt{E_s / F_y} = 5,87 \sqrt{2100 / 3,6} = 141,8$$

$$\lambda = \frac{kl}{r_y} = 1.476,34 / 4,57 = 104,232 \leq 141,8 \Rightarrow \sigma_{bem} = 769,5 \text{ kg/cm}^2$$

$$\phi_c = 0,85$$

$$P_n = A \cdot \sigma_{bem}$$

$$1,7\phi_c P_n = 1,7 \cdot 0,85 \cdot 65,25 \cdot 0,7695 = 72,55 \text{ t}$$

$$N = 65,3 \text{ t} < 72,55 \text{ t} \quad (\text{uygun})$$

Çapraz Elemanın Boyutlandırılması (8. Katta Eklenenler) (15KM-V2)

Seçilen Kesit: **HE 200 B**

d= 20 cm	b= 20 cm	A= 78,08 cm ²
t _f = 1,5 cm	t _w = 0,9 cm	W _x = 569,6 cm ³
I _x = 5696 cm ⁴	i _x = 8,54 cm	i _y = 5,07 cm

Seçilen Çapraz Elemanı Profili İçin Enkesit Koşullarının Sağlanması

$b / 2t_f < 9,2 \Rightarrow 20 / (2 \cdot 1,5) = 6,67 < 9,2$	(uygun)
$d / t_w < 90,5 \Rightarrow 20 / 0,9 = 22,2 < 90,5$	(uygun)

Çapraz Elemanın Boyutlandırılmasında Kullanılacak Yük Birleşimi

1,0G+1,0Q+1,0E

Elastik analiz sonucunda çapraz elemana etkiyen en büyük eksenel basınç kuvveti:

N= -85,3 t

Çapraz Eleman İçin Basınç Dayanım Kontrolü

$$\lambda = \frac{kl}{r_y} \leq 5,87 \sqrt{E_s / F_y} = 5,87 \sqrt{2100 / 3,6} = 141,8$$

$$\lambda = \frac{kl}{r_y} = 1.476,34 / 5,07 = 93,95 \leq 141,8 \Rightarrow \sigma_{bem} = 918,1 \text{ kg/cm}^2$$

$$\phi_c = 0,85$$

$$P_n = A \cdot \sigma_{bem}$$

$$1,7\phi_c P_n = 1,7 \cdot 0,85 \cdot 78,08 \cdot 0,9181 = 103,6 \text{ t}$$

$$N = 85,3 \text{ t} < 103,6 \text{ t} \quad \text{(uygun)}$$

Çapraz Elemanın Boyutlandırılması (15KMV2(R=3))

Seçilen Kesit: **HE 220 B**

d= 22 cm	b= 22 cm	A= 91,04 cm ²
t _f = 1,6 cm	t _w = 0,95 cm	W _x = 735,5 cm ³
I _x = 8091 cm ⁴	i _x = 9,43 cm	i _y = 5,59 cm

Seçilen Çapraz Elemanı Profili İçin Enkesit Koşullarının Sağlanması

$$b / 2t_f < 9,2 \Rightarrow 22/(2.1,6)= 6,88 < 9,2 \quad \textbf{(uygun)}$$

$$d / t_w < 90,5 \Rightarrow 22/1,6=23,16 < 90,5 \quad \textbf{(uygun)}$$

Çapraz Elemanın Boyutlandırılmasında Kullanılacak Yük Birleşimi

$$1,0G+1,0Q+1,0E$$

Elastik analiz sonucunda çapraz elemana etkiyen en büyük eksenel basınç kuvveti:

$$N= -128 \text{ t}$$

Çapraz Eleman İçin Basınç Dayanım Kontrolü

$$\lambda = \frac{kl}{r_y} \leq 5,87\sqrt{E_s / F_y} = 5,87\sqrt{2100/3,6} = 141,8$$

$$\lambda = \frac{kl}{r_y} = 1.476,34/5,59 = 85,21 \leq 141,8 \Rightarrow \sigma_{bem} = 1050,8 \text{ kg/cm}^2$$

$$\phi_c = 0,85$$

$$P_n = A.\sigma_{bem}$$

$$1,7\phi_c P_n = 1,7.0,85.91,04.0,10508=138,2 \text{ t}$$

$$N= 128 \text{ t} < 138,2 \text{ t} \quad \textbf{(uygun)}$$

Çapraz Elemanın Boyutlandırılması (10KM(R=3))

Seçilen Kesit: **HE 220 B**

d= 22 cm	b= 22 cm	A= 91,04 cm ²
t _f = 1,6 cm	t _w = 0,95 cm	W _x = 735,5 cm ³
I _x = 8091 cm ⁴	i _x = 9,43 cm	i _y = 5,59 cm

Seçilen Çapraz Elemanı Profili İçin Enkesit Koşullarının Sağlanması

$$b / 2t_f < 9,2 \Rightarrow 22 / (2 \cdot 1,6) = 6,88 < 9,2 \quad (\text{uygun})$$

$$d / t_w < 90,5 \Rightarrow 22 / 1,6 = 23,16 < 90,5 \quad (\text{uygun})$$

Çapraz Elemanın Boyutlandırılmasında Kullanılacak Yük Birleşimi

$$1,0G+1,0Q+1,0E$$

Elastik analiz sonucunda çapraz elemana etkiyen en büyük eksenel basınç kuvveti:

$$N = -108,3 \text{ t}$$

Çapraz Eleman İçin Basınç Dayanım Kontrolü

$$\lambda = \frac{kl}{r_y} \leq 5,87 \sqrt{E_s / F_y} = 5,87 \sqrt{2100 / 3,6} = 141,8$$

$$\lambda = \frac{kl}{r_y} = 1.476,34 / 5,59 = 85,21 \leq 141,8 \Rightarrow \sigma_{bem} = 1050,8 \text{ kg/cm}^2$$

$$\phi_c = 0,85$$

$$P_n = A \cdot \sigma_{bem}$$

$$1,7\phi_c P_n = 1,7 \cdot 0,85 \cdot 91,04 \cdot 1050,8 = 138,2 \text{ t}$$

$$N = 108,3 \text{ t} < 138,2 \text{ t} \quad (\text{uygun})$$

Çapraz Elemanın Boyutlandırılması (5KM(R=3))

Seçilen Kesit: **HE 200 B**

d= 20 cm	b= 20 cm	A= 78,08 cm ²
t _f = 1,5 cm	t _w = 0,9 cm	W _x = 569,6 cm ³
I _x = 5696 cm ⁴	i _x = 8,54 cm	i _y = 5,07 cm

Seçilen Çapraz Elemanı Profili İçin Enkesit Koşullarının Sağlanması

$$b / 2t_f < 9,2 \Rightarrow 20 / (2 \cdot 1,5) = 6,67 < 9,2 \quad (\text{uygun})$$

$$d / t_w < 90,5 \Rightarrow 20 / 0,9 = 22,2 < 90,5 \quad (\text{uygun})$$

Çapraz Elemanın Boyutlandırılmasında Kullanılacak Yük Birleşimi

$$1,0G+1,0Q+1,0E$$

Elastik analiz sonucunda çapraz elemana etkiyen en büyük eksenel basınç kuvveti:

$$N = -86,5 \text{ t}$$

Çapraz Eleman İçin Basınç Dayanım Kontrolü

$$\lambda = \frac{kl}{r_y} \leq 5,87 \sqrt{E_s / F_y} = 5,87 \sqrt{2100 / 3,6} = 141,8$$

$$\lambda = \frac{kl}{r_y} = 1.476,34 / 5,07 = 93,95 \leq 141,8 \Rightarrow \sigma_{bem} = 918,1 \text{ kg/cm}^2$$

$$\phi_c = 0,85$$

$$P_n = A \cdot \sigma_{bem}$$

$$1,7 \phi_c P_n = 1,7 \cdot 0,85 \cdot 78,08 \cdot 0,9181 = 103,6 \text{ t}$$

$$N = 86,5 \text{ t} < 103,6 \text{ t} \quad (\text{uygun})$$

Çapraz Elemanın Boyutlandırılması (15KDM)

Seçilen Kesit: **HE 180 B**

$d = 18 \text{ cm}$	$b = 18 \text{ cm}$	$A = 65,25 \text{ cm}^2$
$t_f = 1,4 \text{ cm}$	$t_w = 0,85 \text{ cm}$	$W_x = 425,7 \text{ cm}^3$
$I_x = 3831 \text{ cm}^4$	$i_x = 7,66 \text{ cm}$	$i_y = 4,57 \text{ cm}$

Seçilen Çapraz Profili İçin Enkesit Koşullarının Sağlanması

$b / 2t_f < 9,2 \Rightarrow 18 / (2 \cdot 1,4) = 6,43 < 9,2$	(uygun)
$d / t_w < 90,5 \Rightarrow 18 / 0,85 = 21,2 < 90,5$	(uygun)

Çapraz Elemanın Boyutlandırılmasında Kullanılacak Yük Birleşimi

1,0G+1,0Q+1,0E

$N = -45,6 \text{ t}$	$M = 1,3 \text{ tm}$	$V = 0,3 \text{ t}$
-----------------------	----------------------	---------------------

Çapraz Eleman İçin Gereken Gerilme Kontrolleri

$$\lambda = \frac{kl}{r_y} = 1.446,5 / 4,57 = 97,7 \Rightarrow \sigma_{bem} = 858,8 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{eb} = \frac{N}{A} = 45,6 \cdot 1000 / 65,25 = 698,9 \text{ kg/cm}^2$$

$$\frac{\sigma_{eb}}{1,33\sigma_{bem}} > 0,15 \Rightarrow \begin{cases} \frac{\sigma_{eb}}{1,33\sigma_{bem}} + \frac{C_{mx}\sigma_{bx}}{\left(1 - \frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{ex}}\right)\sigma_{Bx}} \leq 1 \\ \frac{\sigma_{eb}}{0,6 \cdot 1,33 \cdot \sigma_y} + \frac{\sigma_{bx}}{\sigma_{Bx}} \leq 1 \end{cases}$$

$$\frac{\sigma_{eb}}{1,33 \cdot \sigma_{bem}} \leq 0,15 \Rightarrow \frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{bem}} + \frac{\sigma_{bx}}{\sigma_{Bx}} \leq 1$$

$$\frac{\sigma_{eb}}{1,33\sigma_{bem}} = \frac{698,9}{1,33 \cdot 858,8} = 0,61 > 0,15$$

$$I_{yb} = t_f \frac{b_f^3}{12} = 1,4 \frac{18^3}{12} \Rightarrow I_{yb} = 680,4 \text{ cm}^4$$

$$F_{yb} = b_f t_f + \left(\frac{d - 2t_f}{2} \cdot \frac{1}{3} \right) t_w \Rightarrow F_{yb} = 18 \cdot 1,4 + \left(\frac{18 - 2 \cdot 1,4}{2} \cdot \frac{1}{3} \right) \cdot 0,85 \Rightarrow F_{yb} = 27,35 \text{ cm}^2$$

$$i_{yb} = \sqrt{I_{yb} / F_{yb}} \Rightarrow i_{yb} = \sqrt{680,4 / 27,35} \Rightarrow i_{yb} = 5 \text{ cm}$$

$$C_b = 1,75 + 1,05 \left(\frac{M_1}{M_2} \right) + 0,3 \left(\frac{M_1}{M_2} \right) \leq 2,3 \Rightarrow C_b = 1,75$$

$$\frac{s}{i_{yb}} \leq \sqrt{\frac{30000000C_b}{\sigma_y}} \Rightarrow \sigma_B = \left[\frac{2}{3} - \frac{\sigma_y (s/i_{yb})^2}{90000000C_b} \right] \sigma_y < 0,6.1,33\sigma_y$$

$$\frac{s}{i_{yb}} \geq \sqrt{\frac{30000000C_b}{\sigma_y}} \Rightarrow \sigma_B = \frac{10000000C_b}{(s/i_{yb})^2}$$

$$\frac{s}{i_{yb}} = 446,5/5 = 89,53$$

$$\sqrt{\frac{30000000C_b}{\sigma_y}} = \sqrt{\frac{30000000.1,75}{3600}} = 120,761$$

$$\Rightarrow \frac{s}{i_{yb}} < \sqrt{\frac{30000000C_b}{\sigma_y}}$$

$$\sigma_B = \left[\frac{2}{3} - \frac{\sigma_y (s/i_{yb})^2}{90000000C_b} \right] \sigma_y = \left[\frac{2}{3} - \frac{3600.(5)^2}{90000000.1,75} \right] .3600 < 0,6.1,33.3600$$

$$\sigma_B = 1741 \text{ kg/cm}^2 < 2873 \text{ kg/cm}^2 \Rightarrow \sigma_B = 1741 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_e' = \frac{\pi^2 E}{(Ks/i_b)^2} \Rightarrow \sigma_e' = \frac{(3,14)^2 . 2100000}{(446,5/7,66)^2} = 6100,05 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_b = \frac{M}{W_x} \Rightarrow \sigma_b = \frac{1,3.100000}{425,7} = 305,4 \text{ kg/cm}^2$$

$$\frac{\sigma_{eb}}{1,33\sigma_{bem}} + \frac{C_{mx}\sigma_{bx}}{\left(1 - \frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{ex}}\right)\sigma_{Bx}} = \frac{698,9}{1,33.858,8} + \frac{0,85.305,4}{\left(1 - \frac{698,9}{6100,05}\right).1741} = 0,78 < 1 \text{ (uygun)}$$

$$\frac{\sigma_{eb}}{0,6.1,33.\sigma_y} + \frac{\sigma_{bx}}{\sigma_{Bx}} = \frac{698,9}{0,6.1,33.3600} + \frac{305,4}{1741} = 0,42 < 1 \text{ (uygun)}$$

$$\tau = \frac{Q}{t_w h_i} < 1,33\tau_{em} = 1,33.1,247 = 1,659 \text{ t/cm}^2$$

$$\tau = \frac{0,3}{0,85.15,2} = 0,023 \text{ t/cm}^2 < 1,659 \text{ t/cm}^2 \text{ (uygun)}$$

Çapraz Elemanın Boyutlandırılması (10KDM)

Seçilen Kesit: **HE 180 B**

d= 18 cm	b= 18 cm	A= 65,25 cm ²
t _f = 1,4 cm	t _w = 0,85 cm	W _x = 425,7 cm ³
I _x = 3831 cm ⁴	i _x = 7,66 cm	i _y = 4,57 cm

Seçilen Çapraz Profili İçin Enkesit Koşullarının Sağlanması

$b / 2t_f < 9,2 \Rightarrow 18/(2.1,4)= 6,43 < 9,2$	(uygun)
$d / t_w < 90,5 \Rightarrow 18/0,85=21,2 < 90,5$	(uygun)

Çapraz Elemanın Boyutlandırılmasında Kullanılacak Yük Birleşimi

1,0G+1,0Q+1,0E

N= -34,4 t	M= 1tm	V= 0,2 t
------------	--------	----------

Çapraz Eleman İçin Gereken Gerilme Kontrolleri

$$\lambda = \frac{kl}{r_y} = 1.446,5/4,57 = 97,7 \Rightarrow \sigma_{bem} = 858,8 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{eb} = \frac{N}{A} = 34,4.1000/65,25 = 527,2 \text{ kg/cm}^2$$

$$\frac{\sigma_{eb}}{1,33\sigma_{bem}} > 0,15 \Rightarrow \begin{cases} \frac{\sigma_{eb}}{1,33\sigma_{bem}} + \frac{C_{mx}\sigma_{bx}}{\left(1 - \frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{ex}}\right)\sigma_{Bx}} \leq 1 \\ \frac{\sigma_{eb}}{0,6.1,33.\sigma_y} + \frac{\sigma_{bx}}{\sigma_{Bx}} \leq 1 \end{cases}$$

$$\frac{\sigma_{eb}}{1,33.\sigma_{bem}} \leq 0,15 \Rightarrow \frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{bem}} + \frac{\sigma_{bx}}{\sigma_{Bx}} \leq 1$$

$$\frac{\sigma_{eb}}{1,33\sigma_{bem}} = \frac{527,2}{1,33.858,8} = 0,46 > 0,15$$

$$I_{yb} = t_f \frac{b_f^3}{12} = 1,4 \frac{18^3}{12} \Rightarrow I_{yb} = 680,4 \text{ cm}^4$$

$$F_{yb} = b_f t_f + \left(\frac{d - 2t_f}{2} \frac{1}{3} \right) t_w \Rightarrow F_{yb} = 18.1,4 + \left(\frac{18 - 2.1,4}{2} \frac{1}{3} \right) .0,85 \Rightarrow F_{yb} = 27,35 \text{ cm}^2$$

$$i_{yb} = \sqrt{I_{yb} / F_{yb}} \Rightarrow i_{yb} = \sqrt{680,4 / 27,35} \Rightarrow i_{yb} = 5 \text{ cm}$$

$$C_b = 1,75 + 1,05 \left(\frac{M_1}{M_2} \right) + 0,3 \left(\frac{M_1}{M_2} \right) \leq 2,3 \Rightarrow C_b = 1,75$$

$$\frac{s}{i_{yb}} \leq \sqrt{\frac{30000000C_b}{\sigma_y}} \Rightarrow \sigma_B = \left[\frac{2}{3} - \frac{\sigma_y (s/i_{yb})^2}{90000000C_b} \right] \sigma_y < 0,6.1,33\sigma_y$$

$$\frac{s}{i_{yb}} \geq \sqrt{\frac{30000000C_b}{\sigma_y}} \Rightarrow \sigma_B = \frac{10000000C_b}{(s/i_{yb})^2}$$

$$\frac{s}{i_{yb}} = 446,5/5 = 89,53$$

$$\sqrt{\frac{30000000C_b}{\sigma_y}} = \sqrt{\frac{30000000.1,75}{3600}} = 120,761$$

$$\Rightarrow \frac{s}{i_{yb}} < \sqrt{\frac{30000000C_b}{\sigma_y}}$$

$$\sigma_B = \left[\frac{2}{3} - \frac{\sigma_y (s/i_{yb})^2}{90000000C_b} \right] \sigma_y = \left[\frac{2}{3} - \frac{3600.(5)^2}{90000000.1,75} \right] .3600 < 0,6.1,33.3600$$

$$\sigma_B = 1741 \text{ kg/cm}^2 < 2873 \text{ kg/cm}^2 \Rightarrow \sigma_B = 1741 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_e' = \frac{\pi^2 E}{(Ks/i_b)^2} \Rightarrow \sigma_e' = \frac{(3,14)^2 . 2100000}{(446,5/7,66)^2} = 6100,05 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_b = \frac{M}{W_x} \Rightarrow \sigma_b = \frac{1.100000}{425,7} = 235 \text{ kg/cm}^2$$

$$\frac{\sigma_{eb}}{1,33\sigma_{bem}} + \frac{C_{mx}\sigma_{bx}}{\left(1 - \frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{ex}}\right)\sigma_{Bx}} = \frac{527,2}{1,33.858,8} + \frac{0,85.235}{\left(1 - \frac{527,2}{6100,05}\right).1741} = 0,59 < 1 \text{ (uygun)}$$

$$\frac{\sigma_{eb}}{0,6.1,33.\sigma_y} + \frac{\sigma_{bx}}{\sigma_{Bx}} = \frac{527,2}{0,6.1,33.3600} + \frac{235}{1741} = 0,32 < 1 \text{ (uygun)}$$

$$\tau = \frac{Q}{t_w h_i} < 1,33\tau_{em} = 1,33.1,247 = 1,659 \text{ t/cm}^2$$

$$\tau = \frac{0,2}{0,85.15,2} = 0,015 \text{ t/cm}^2 < 1,659 \text{ t/cm}^2 \text{ (uygun)}$$

Çapraz Elemanın Boyutlandırılması (5KDM)

Seçilen Kesit: HE 160 B

d= 16 cm	b= 16 cm	A= 54,25 cm ²
t _f = 1,3 cm	t _w = 0,8 cm	W _x = 311,5 cm ³
I _x = 2492 cm ⁴	i _x = 6,78 cm	i _y = 4,05 cm

Seçilen Çapraz Profili İçin Enkesit Koşullarının Sağlanması

$b / 2t_f < 9,2 \Rightarrow 16/(2.1,3) = 6,2 < 9,2$	(uygun)
$d / t_w < 90,5 \Rightarrow 16/0,8 = 20 < 90,5$	(uygun)

Çapraz Elemanın Boyutlandırılmasında Kullanılacak Yük Birleşimi

1,0G+1,0Q+1,0E

N= -33 t	M= 0,64tm	V= 0,2 t
----------	-----------	----------

Çapraz Eleman İçin Gereken Gerilme Kontrolleri

$$\lambda = \frac{kl}{r_y} = 1.446,5/4,05 = 110,2 \Rightarrow \sigma_{bem} = 685,2 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{eb} = \frac{N}{A} = 33.1000/54,25 = 608,3 \text{ kg/cm}^2$$

$$\frac{\sigma_{eb}}{1,33\sigma_{bem}} > 0,15 \Rightarrow \begin{cases} \frac{\sigma_{eb}}{1,33\sigma_{bem}} + \frac{C_{mx}\sigma_{bx}}{\left(1 - \frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{ex}}\right)\sigma_{Bx}} \leq 1 \\ \frac{\sigma_{eb}}{0,6.1,33.\sigma_y} + \frac{\sigma_{bx}}{\sigma_{Bx}} \leq 1 \end{cases}$$

$$\frac{\sigma_{eb}}{1,33.\sigma_{bem}} \leq 0,15 \Rightarrow \frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{bem}} + \frac{\sigma_{bx}}{\sigma_{Bx}} \leq 1$$

$$\frac{\sigma_{eb}}{1,33\sigma_{bem}} = \frac{608,3}{1,33.685,2} = 0,67 > 0,15$$

$$I_{yb} = t_f \frac{b_f^3}{12} = 1,3 \frac{16^3}{12} \Rightarrow I_{yb} = 443,7 \text{ cm}^4$$

$$F_{yb} = b_f t_f + \left(\frac{d - 2t_f}{2} \frac{1}{3} \right) t_w \Rightarrow F_{yb} = 16.1,3 + \left(\frac{16 - 2.1,3}{2} \frac{1}{3} \right) 0,8 \Rightarrow F_{yb} = 22,6 \text{ cm}^2$$

$$i_{yb} = \sqrt{I_{yb} / F_{yb}} \Rightarrow i_{yb} = \sqrt{443,7 / 22,6} \Rightarrow i_{yb} = 4,43 \text{ cm}$$

$$C_b = 1,75 + 1,05 \left(\frac{M_1}{M_2} \right) + 0,3 \left(\frac{M_1}{M_2} \right) \leq 2,3 \Rightarrow C_b = 1,75$$

$$\frac{s}{i_{yb}} \leq \sqrt{\frac{30000000C_b}{\sigma_y}} \Rightarrow \sigma_B = \left[\frac{2}{3} - \frac{\sigma_y (s/i_{yb})^2}{90000000C_b} \right] \sigma_y < 0,6.1,33\sigma_y$$

$$\frac{s}{i_{yb}} \geq \sqrt{\frac{30000000C_b}{\sigma_y}} \Rightarrow \sigma_B = \frac{10000000C_b}{(s/i_{yb})^2}$$

$$\frac{s}{i_{yb}} = 446,5/4,43 = 100,7$$

$$\sqrt{\frac{30000000C_b}{\sigma_y}} = \sqrt{\frac{30000000.1,75}{3600}} = 120,761$$

$$\Rightarrow \frac{s}{i_{yb}} < \sqrt{\frac{30000000C_b}{\sigma_y}}$$

$$\sigma_B = \left[\frac{2}{3} - \frac{\sigma_y (s/i_{yb})^2}{90000000C_b} \right] \sigma_y = \left[\frac{2}{3} - \frac{3600.(4,43)^2}{90000000.1,75} \right] .3600 < 0,6.1,33.3600$$

$$\sigma_B = 1565 \text{ kg/cm}^2 < 2873 \text{ kg/cm}^2 \Rightarrow \sigma_B = 1565 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_e' = \frac{\pi^2 E}{(Ks/i_b)^2} \Rightarrow \sigma_e' = \frac{(3,14)^2 . 2100000}{(446,5/6,78)^2} = 4779 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_b = \frac{M}{W_x} \Rightarrow \sigma_b = \frac{0,64.100000}{311,5} = 206 \text{ kg/cm}^2$$

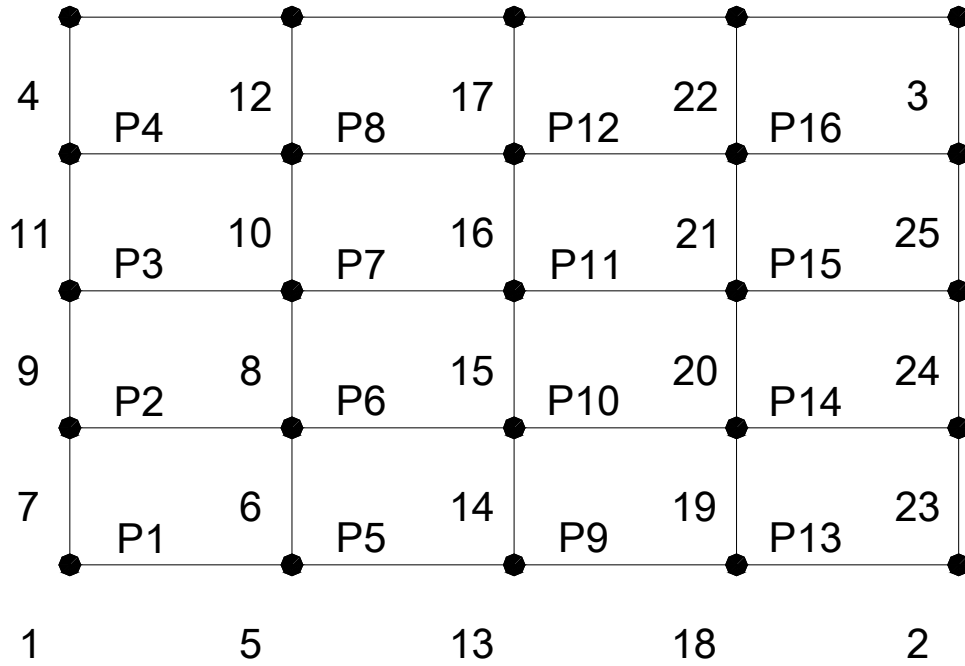
$$\frac{\sigma_{eb}}{1,33\sigma_{bem}} + \frac{C_{mx}\sigma_{bx}}{\left(1 - \frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{ex}}\right)\sigma_{Bx}} = \frac{608,3}{1,33.685,2} + \frac{0,85.206}{\left(1 - \frac{608,3}{4779}\right).1565} = 0,80 < 1 \text{ (uygun)}$$

$$\frac{\sigma_{eb}}{0,6.1,33.\sigma_y} + \frac{\sigma_{bx}}{\sigma_{Bx}} = \frac{608,3}{0,6.1,33.3600} + \frac{206}{1565} = 0,34 < 1 \text{ (uygun)}$$

$$\tau = \frac{Q}{t_w h_i} < 1,33\tau_{em} = 1,33.1,247 = 1,659 \text{ t/cm}^2$$

$$\tau = \frac{0,2}{0,8.13,4} = 0,019 \text{ t/cm}^2 < 1,659 \text{ t/cm}^2 \text{ (uygun)}$$

Plakanın Boyutlandırılmasında Kayma Kuvvetinin Hesaplanması



Şekil A.5: Plaka Modeli

Her bir plaka 16 adet mesh'e bölünüp, her bir meshdeki kayma kuvvetleri toplanarak her bir plakada oluşan kayma kuvveti hesaplanmıştır. Düğüm noktalarındaki kayma kuvvetleri birim uzunluktaki kayma kuvveti değeridir.

Hesap yöntemi şu şekildedir:

Plaka Uzunluğu=6m $\Rightarrow$ Mesh uzunluğu=6/4=1,5m

$$F_{\text{kayma}} = (F_{P1} + F_{P2} + F_{P3} + F_{P4} + F_{P5} + F_{P6} + F_{P7} + F_{P8} + F_{P9} + F_{P10} + F_{P11} + F_{P12} + F_{P13} + F_{P14} + F_{P15} + F_{P16}) / 4$$

Formülde her bir mesh, kendi uzunluğu ile çarpılıp 4'e bölüneceğinden kayma kuvvetleri 0,375(1,5/4) katsayısı ile çarpılır.

$$F_{\text{kayma}} = [(((F1+F7)/2 + (F5+F6)/2)/2) + (((F7+F9)/2 + (F6+F8)/2)/2) + (((F9+F11)/2 + (F8+F10)/2)/2) + (((F11+F13)/2 + (F10+F12)/2)/2) + (((F5+F6)/2 + (F13+F14)/2)/2) + (((F6+F8)/2 + (F14+F15)/2)/2) + (((F8+F10)/2 + (F15+F16)/2)/2) + (((F10+F12)/2 + (F16+F17)/2)/2) + (((F13+F14)/2 + (F18+F19)/2)/2) + (((F14+F15)/2 + (F19+F20)/2)/2) + (((F15+F16)/2 + (F20+F21)/2)/2) + (((F16+F17)/2 + (F21+F22)/2)/2) + (((F18+F19)/2 + (F22+F23)/2)/2) + (((F19+F20)/2 + (F23+F24)/2)/2) + (((F20+F21)/2 + (F24+F25)/2)/2) + (((F21+F22)/2 + (F25+F3)/2)/2)] \times 0,375$$

Plakanın Boyutlandırılması (5KP)

Yapılan elastik analiz sonucunda en alt katta bulunan plakaya gelen kesme kuvveti;
 $V = 40,23t$ olarak hesaplanmıştır.

$$V \leq \phi V_n$$

Plakanın ekonomik olması açısından kompakt olmayan plaka şeklinde tasarlanacaktır.

Seçilen plaka kalınlığı $t_w=2mm$

$a=3,7m$ (kat yüksekliği)

$h=6-0,22=5,78m$ (net açıklık)

$h/t_w=5780/2=2890$

$a/h=3,7/5,78=0,64$

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

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

$a/h=0,64 > [260/(h/t_w)]^2=(260/2890)^2=0,008 \Rightarrow k_v=5$ alınacaktır.

$h/t_w = 2890 > 1.10\sqrt{k_v E / F_{yw}} = 1,10\sqrt{5.2100 / 3,6} = 59,4$ (**kompakt olmayan**)

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

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

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

$$\frac{h}{t_w} = 2890 > 1.37 \sqrt{\frac{k_v E}{F_{yw}}} = 1,37\sqrt{5.2100 / 3,6} = 190,64 \text{ için;}$$

$$C_v = \frac{1.51.5.2100}{(2890)^2 .3,6} = 0,000527$$

$$V_n = 0.6.578.0,2.3,6 \frac{1 - 0,000527}{1.15\sqrt{1 + (0,64)^2}} = 182,77t$$

$$\phi V_n = 0,9.182,77 = 164,5t$$

$$V = 40,23t \leq \phi V_n = 164,5t \text{ (uygun)}$$

Sınır kirişi için Enkesit koşullarının sağlanması:

$$b_f / 2t_f \leq 52 / \sqrt{F_y}$$

$$b_f / 2t_f = 6,67 \leq 52 / \sqrt{F_y} = 52 / \sqrt{3,6} = 27,4 \quad (\text{uygun})$$

Sınır kolonu için Enkesit koşullarının sağlanması:

$$h_c / t_w \leq 520 / \sqrt{F_y}$$

$$h_c / t_w = 370 / 1,5 = 246,67 \leq 520 / \sqrt{F_y} = 520 / \sqrt{3,6} = 274,06 \quad (\text{uygun})$$

Plakanın Boyutlandırılması (10KP)

Yapılan elastik analiz sonucunda en alt katta bulunan plakaya gelen kesme kuvveti;
 $V = 47,6t$ olarak hesaplanmıştır.

$$V \leq \phi V_n$$

Plakanın ekonomik olması açısından kompakt olmayan plaka şeklinde tasarlanacaktır.

Seçilen plaka kalınlığı $t_w = 5\text{mm}$

$a = 3,7\text{m}$ (kat yüksekliği)

$h = 6 - 0,36 = 5,64\text{m}$ (net açıklık)

$h / t_w = 5640 / 5 = 1128$

$a / h = 3,7 / 5,64 = 0,66$

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

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

$a/h = 0,66 > [260/(h/t_w)]^2 = (260/2890)^2 = 0,008 \Rightarrow k_v = 5$ alınacaktır.

$$h / t_w = 1128 > 1,10 \sqrt{k_v E / F_{yw}} = 1,10 \sqrt{5.2100 / 3,6} = 59,4 \quad (\text{kompakt olmayan})$$

$$V_n = 0,6 A_w F_{yw} \frac{1 - C_w}{1,15 \sqrt{1 + (a/h)^2}}$$

$$\frac{h}{t_w} > 1,37 \sqrt{\frac{k_v E}{F_{yw}}} \text{ için;}$$

$$C_v = \frac{1,51 k_v E}{(h/t_w)^2 F_{yw}}$$

$$\frac{h}{t_w} = 1128 > 1,37 \sqrt{\frac{k_v E}{F_{yw}}} = 1,37 \sqrt{5.2100 / 3,6} = 190,64 \text{ için;}$$

$$C_v = \frac{1.51.5.2100}{(1128)^2 \cdot 3,6} = 0,003461$$

$$V_n = 0.6.564.0,5.3,6 \frac{1 - 0,003461}{1.15\sqrt{1 + (0,66)^2}} = 441,34t$$

$$\phi V_n = 0,9.441,34 = 397,21t$$

$$V = 47,6t \leq \phi V_n = 397,21t \text{ (uygun)}$$

Sınır kirişi için Enkesit koşullarının sağlanması:

$$b_f / 2t_f \leq 52 / \sqrt{F_y}$$

$$b_f / 2t_f = 6,67 \leq 52 / \sqrt{F_y} = 52 / \sqrt{3,6} = 27,4 \text{ (uygun)}$$

Sınır kolonu için Enkesit koşullarının sağlanması:

$$h_c / t_w \leq 520 / \sqrt{F_y}$$

$$h_c / t_w = 370 / 1,8 = 205,6 \leq 520 / \sqrt{F_y} = 520 / \sqrt{3,6} = 274,06 \text{ (uygun)}$$

Plakanın Boyutlandırılması (15KP)

Yapılan elastik analiz sonucunda en alt katta bulunan plakaya gelen kesme kuvveti;
V = 88,73t olarak hesaplanmıştır.

$$V \leq \phi V_n \text{ (4.5.6)}$$

Plakanın ekonomik olması açısından kompakt olmayan plaka şeklinde tasarlanacaktır.

Seçilen plaka kalınlığı $t_w=1,5\text{mm}$

$a=3,7\text{m}$ (kat yüksekliği)

$h=6-0,395=5,605\text{m}$ (net açıklık)

$h / t_w = 5605 / 15 = 373,67$

$a/h = 3,7 / 5,605 = 0,66$

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

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

$a/h = 0,66 > [260/(h/t_w)]^2 = (260/373,67)^2 = 0,008 \Rightarrow k_v = 5$ alınacaktır.

$$h / t_w = 373,67 > 1.10\sqrt{k_v E / F_{yw}} = 1,10\sqrt{5.2100 / 3,6} = 59,4 \text{ (kompakt olmayan)}$$

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

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

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

$$\frac{h}{t_w} = 373,67 > 1.37 \sqrt{\frac{k_v E}{F_{yw}}} = 1,37 \sqrt{5.2100/3,6} = 190,64 \text{ için;}$$

$$C_v = \frac{1.51 \cdot 5.2100}{(373,67)^2 \cdot 3,6} = 0,032$$

$$V_n = 0.6 \cdot 506,5 \cdot 1,5 \cdot 3,6 \frac{1 - 0,032}{1.15 \sqrt{1 + (0,66)^2}} = 1276,33t$$

$$\phi V_n = 0,9 \cdot 1276,33 = 1148,7t$$

$$V = 88,73t \leq \phi V_n = 1148,7t \text{ (uygun)}$$

Sınır kirişi için Enkesit koşullarının sağlanması:

$$b_f / 2t_f \leq 52 / \sqrt{F_y}$$

$$b_f / 2t_f = 6,67 \leq 52 / \sqrt{F_y} = 52 / \sqrt{3,6} = 27,4 \text{ (uygun)}$$

Sınır kolonu için Enkesit koşullarının sağlanması:

$$h_c / t_w \leq 520 / \sqrt{F_y}$$

$$h_c / t_w = 370 / 1,5 = 176,2 \leq 520 / \sqrt{F_y} = 520 / \sqrt{3,6} = 274,06 \text{ (uygun)}$$

Plakanın Boyutlandırılması (15KP-V1)

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

$V = 84,72t$ olarak hesaplanmıştır.

$$V \leq \phi V_n$$

Plakanın ekonomik olması açısından kompakt olmayan plaka şeklinde tasarlanacaktır.

Seçilen plaka kalınlığı $t_w = 2mm$

$a = 3,7m$ (kat yüksekliği)

$h = 6 - 0,395 = 5,605m$ (net açıklık)

$h / t_w = 5605 / 2 = 2802,5$

$$a/h=3,7/5,605=0,66$$

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

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

$$a/h=0,66 > [260/(h/t_w)]^2 = (260/2890)^2 = 0,008 \Rightarrow k_v=5 \text{ alınacaktır.}$$

$$h/t_w = 2802,5 > 1,10 \sqrt{k_v E / F_{yw}} = 1,10 \sqrt{5.2100 / 3,6} = 59,4 \text{ (kompakt olmayan)}$$

$$V_n = 0,6 A_w F_{yw} \frac{1 - C_w}{1,15 \sqrt{1 + (a/h)^2}}$$

$$\frac{h}{t_w} > 1,37 \sqrt{\frac{k_v E}{F_{yw}}} \text{ için;}$$

$$C_v = \frac{1,51 k_v E}{(h/t_w)^2 F_{yw}}$$

$$\frac{h}{t_w} = 2802,5 > 1,37 \sqrt{\frac{k_v E}{F_{yw}}} = 1,37 \sqrt{5.2100 / 3,6} = 190,64 \text{ için;}$$

$$C_v = \frac{1,51.5.2100}{(2802,5)^2 .3,6} = 0,0006$$

$$V_n = 0,6.560,5.0,2.3,6 \frac{1 - 0,0006}{1,15 \sqrt{1 + (0,66)^2}} = 175,62t$$

$$\phi V_n = 0,9.175,62 = 158,1t$$

$$V = 84,72t \leq \phi V_n = 158,1t \text{ (uygun)}$$

Sınır kirişi için Enkesit koşullarının sağlanması:

$$b_f / 2t_f \leq 52 / \sqrt{F_y}$$

$$b_f / 2t_f = 6,67 \leq 52 / \sqrt{F_y} = 52 / \sqrt{3,6} = 27,4 \text{ (uygun)}$$

Sınır kolonu için Enkesit koşullarının sağlanması:

$$h_c / t_w \leq 520 / \sqrt{F_y}$$

$$h_c / t_w = 370 / 2,1 = 176,2 \leq 520 / \sqrt{F_y} = 520 / \sqrt{3,6} = 274,06 \text{ (uygun)}$$

Plakanın Boyutlandırılması (15KP-V2)

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

$V = 64,6t$ olarak hesaplanmıştır.

$$V \leq \phi V_n$$

Plakanın ekonomik olması açısından kompakt olmayan plaka şeklinde tasarlanacaktır.

Seçilen plaka kalınlığı $t_w=2\text{mm}$

$a=3,7\text{m}$ (kat yüksekliği)

$h=6-0,395=5,605\text{m}$ (net açıklık)

$h/t_w=5605/2=2802,5$

$a/h=3,7/5,605=0,66$

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

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

$a/h=0,66 > [260/(h/t_w)]^2=(260/2890)^2=0,008 \Rightarrow k_v=5$ alınacaktır.

$h/t_w = 2802,5 > 1.10\sqrt{k_v E / F_{yw}} = 1,10\sqrt{5.2100/3,6} = 59,4$ (**kompakt olmayan**)

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

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

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

$$\frac{h}{t_w} = 2802,5 > 1.37 \sqrt{\frac{k_v E}{F_{yw}}} = 1,37\sqrt{5.2100/3,6} = 190,64 \text{ için;}$$

$$C_v = \frac{1.51.5.2100}{(2802,5)^2 .3,6} = 0,0006$$

$$V_n = 0.6.560,5.0,2.3,6 \frac{1 - 0,0006}{1.15\sqrt{1 + (0,66)^2}} = 175,62\text{t}$$

$$\phi V_n = 0,9.175,62 = 158,1\text{t}$$

$$V = 64,6\text{t} \leq \phi V_n = 158,1\text{t} \text{ (uygun)}$$

Sınır kirişi için Enkesit koşullarının sağlanması:

$$b_f / 2t_f \leq 52 / \sqrt{F_y}$$

$$b_f / 2t_f = 6,67 \leq 52 / \sqrt{F_y} = 52 / \sqrt{3,6} = 27,4$$

(uygun)

Sınır kolonu için Enkesit koşullarının sağlanması:

$$h_c / t_w \leq 520 / \sqrt{F_y}$$

$$h_c / t_w = 370 / 2,1 = 176,2 \leq 520 / \sqrt{F_y} = 520 / \sqrt{3,6} = 274,06 \quad \textbf{(uygun)}$$

ÖZGEÇMİŞ

30 Nisan 1979'da Adana'da doğmuştur. Özel Adana Fen Lisesi'nden üçüncülükle 1997 yılında mezun olmuştur. İTÜ'de 1997-1998 yılları arasında İngilizce hazırlık eğitimi almıştır. 1998 yılında İTÜ İnşaat Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'ne başlamıştır. 2000 yılında ÇAP öğrencisi olarak İTÜ Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümü'ne başlamıştır. 2002 yılında İnşaat Mühendisliği Bölümü'nden mezun olup, aynı yıl İTÜ Fen Bilimleri Yapı Mühendisliği Yüksek Lisans Programı'na başlamıştır. 2004 yılında Mimarlık Bölümünden mezun olarak, İTÜ'deki birinci ana dalı İnşaat Mühendisliği, ikinci ana dalı mimarlık olan ilk ÇAP öğrencisi olmuştur. İnşaat Mühendisliği alanında doktora çalışmalarına 2005 yılı Ağustos ayından itibaren, araştırma görevlisi olarak Amerika Birleşik Devletleri'ndeki Georgia Teknoloji Enstitüsü'nde (Georgia Institute of Technology) devam edecektir.