İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SÜNEKLİK DÜZEYİ YÜKSEK MERKEZİ ÇELİK ÇAPRAZLI PERDELER İLE İLGİLİ TASARIM KURALLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş. Müh. Mustafa CAN

Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Programı : YAPI MÜHENDİSLİĞİ

HAZİRAN 2008

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SÜNEKLİK DÜZEYİ YÜKSEK MERKEZİ ÇELİK ÇAPRAZLI PERDELER İLE İLGİLİ TASARIM KURALLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Mustafa CAN
(501051086)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 05 Mayıs 2008
Tezin Savunulduğu Tarih : 09 Haziran 2008

Tez Danışmanı : Prof.Dr. Cavidan YORGUN

Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr. Nesrin YARDIMCI (İ.T.Ü.)

Yrd.Doç.Dr. Z. Canan GİRGİN (Y.T.Ü.)

HAZİRAN 2008

ÖNSÖZ

Gerek lisans, gerekse yüksek lisans eğitimim boyunca, çalışmalarıma yön veren, değerli fikirleriyle bu çalışmanın ortaya çıkmasında büyük emeği olan, anlayışını ve emeğini benden esirgemeyen Sayın Hocam Prof. Dr. Cavidan YORGUN'a, yine tez çalışmam süresince beni anlayışla karşılayıp, bana yardımcı olan, çalıştığım ARÇE Mühendislik çalışanlarına, her zaman bana destek olan arkadaşlarıma saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca tüm hayatım boyunca benim için hiçbir fedakarlıktan kaçınmayan, bana karşı gösterdikleri sevgi, sabır, anlayış ve sağlamış oldukları maddi ve manevi destekleriyle her zaman yanımda olan aileme teşekkürü bir borç bilirim.

Mayıs 2008 Mustafa CAN

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR **vii**
TABLO LİSTESİ **viii**
ŞEKİL LİSTESİ **ix**
SEMBOL LİSTESİ **xii**
ÖZET **xvi**
SUMMARY **xvii**

1. GİRİŞ **1**
1.1 Yapı Malzemesi Olarak Çelik 1
1.2 Merkezi Çelik Çaprazlı Perdeler 2
1.3 Amaç ve Kapsam 2
1.4 Çalışmada İzlenen Yol 2

2. MERKEZİ ÇELİK ÇAPRAZLI SİSTEMLER **4**
2.1 Yapısal Çerçevelerin Sınıflandırılması 4
2.1.1 Rijit Çerçeveler 4
2.1.2 Basit (Mafsallı) Çerçeveler 4
2.1.3 Çelik Çaprazlı Perde Sistemleri 4
2.2 Çelik Çaprazlı Perdelerin Tasarım Konsepti 5
2.3 Merkezi Çelik Çaprazlı Perde Sistemlerinde Yapısal Formlar 7
2.3.1 X Tipi 7
2.3.2 Diyagonal Tipi 10
2.3.3 V ve Ters V Tipi 10
2.3.4 K Tipi 12
2.3.5 İki Katı Geçen X Tipi Çapraz 13
2.3.5.1 Düşey Yükler 13
2.3.5.2 Yatay Yükler 13
2.3.6 Dikme ile Desteklenmiş Ters V Tipi 14
2.3.7 Yarım Çelik Çaprazlı Çerçeveler 14
2.3.8 Payanda Tipi 15
2.3.9 Burkulması Önlenmiş Sistemler 15
2.4 Merkezi Çelik Çaprazlı Perdelerde Sismik Tasarım için Sünekliğin Önemi 17
2.4.1 Sünekliğin Belirlenmesi 17
2.4.2 Sismik Performansa Lineer Olmayan Şekil Değiştirmelerin Etkisi 17
2.5 Merkezi Çelik Çaprazlı Perdelerin Süneklik Özellikleri 18
2.6 Merkezi Çelik Çaprazlı Perdelerde Eleman ve Birleşim Tasarımı 19
2.6.1 Çapraz Elemanın Seçimi 19
2.6.1.1 Kutu Kesit 20
2.6.1.2 Boru Kesit 20
2.6.1.3 Geniş Başlıklı Kesit 21
2.6.1.4 Tek Korniyer Kesit 21
2.6.1.5 Çok Parçalı Korniyer Kesit 21

2.6.2 Çapraz Elemanda Düşük Tekrarlı Yorulma Dayanımı 22
2.6.3 KL/r Oranının Tasarıma Etkisi 22
2.6.4 Çapraz Elemanı Tasarımı 24
2.6.5 Çapraz Elemanı Birleşimi 25
2.6.6 Çapraz Elemanın Burkulma Şekli 25
2.6.7 Çaprazların Kiriş ve Kolonlar ile Birleşim Detaylarının Tasarlanması ve Dikkat Edilecek Hususlar 27
2.6.8 Guse Plakasının Düzlem Dışı Burkulması İçin Tasarım 33
2.6.9 Guse Plakasının Düzlem İçi Burkulması İçin Tasarım 34
2.6.10 Whitmore Kesiti 34
2.6.11 Guse Plakası Dayanımı 39
2.6.12 Guse Plakası Burkulması İçin Kullanılacak "K" Değeri 40
2.6.13 Guse Plakası Tasarımında Dikkat Edilecek Hususlar 41
2.6.14 Birleşim Kaynakları 44
2.6.15 Bulonlu Birleşimler 44
2.6.16 Guse Plakasının Burkulmasını Önlemek 45
2.6.17 Kuvvet Dağıtım Metodu 45
2.6.17.1 Özel Durum1 46
2.6.17.2 Özel Durum 2 47
2.6.17.3 Özel Durum 3 47
2.6.18 Kiriş- Kolon- Guse Plakası Kesişim Yüzeyleri 50
2.6.19 Guse Plakasının Mesnetlerine Birleşiminin Tasarımı 50
2.7 Kolonların Tasarımı 51
2.8 Kolonların Ekleri 52
2.9 Temel Tasarımında Dikkat Edilmesi Gereken Kurallar 52
2.10 Kirişlerin Tasarımı 53
2.11 Kat Yüksekliği Tavsiyesi 54
2.12 1994 Northridge Depreminde Ortaya Çıkan Sonuçlar 55

3. HER İKİ DOĞRULTUDA SÜNEKLİK DÜZEYİ YÜKSEK MERKEZİ ÇELİK ÇAPRAZLI GÜÇLENDİRME SİSTEMİNE SAHİP BİR BİNANIN İNCELENMESİ 56
3.1 Genel Bilgiler 56
3.2 Yükler 57
3.3 Deprem Karakteristikleri 57
3.4 Düzensizlik Kontrolleri 58
3.4.1 A1- Burulma Düzensizliği 58
3.4.2 A2- Döşeme Süreksizliği 60
3.4.3 A3- Planda Çıkıntılar Bulunması 60
3.4.4 B2- Komşu Katlar Arası Rijitlik Düzensizliği 60
3.4.5 B 3 Taşıyıcı Sistemin Düşey Elemanlarının Süreksizliği 60
3.5 Rüzgar Yükleri 61
3.5.1 Basınç Bölgesi 62
3.5.2 Emme Bölgesi 62
3.6 Yük Kombinasyonları 63
3.7 Sistem Analizleri 64
3.7.1 Göreli Kat Ötelemelerinin Kontrolü 64
3.7.2 İkinci Mertebe Etkileri 65
3.7.3 İkincil Döşeme Kirişlerinin Boyutlandırılması 65
3.7.4 Ana Çerçeve Kirişlerinin Boyutlandırılması 67

3.7.4.1 Eğilme Güvenlik Gerilmesi 68
3.7.4.2 Kayma Tahkiki 70
3.7.5 Kiriş Yanal Çaprazlarının Seçimi 71
3.7.6 Çapraz Elemanların Boyutlandırılması 73
3.7.7 Kolonların Boyutlandırılması 75
3.8 Çapraz Elemanı Birleşiminin Tasarımı 78
3.8.1 Çapraz Elemanın, Kiriş ve Kolonlar ile Birleşim Detaylarının Tasarımı 78
3.8.2 Kolon Gövdesi Akma Dayanımı Kontrolü 81
3.8.3 Kolon Gövde Buruşması Kontrolü 81
3.8.4 Kiriş Gövdesi Akma Dayanımı Kontrolü 82
3.8.5 Kiriş Gövde Buruşması Kontrolü 82
3.8.6 Çapraz Elemanı Guse Plakasına Bağlayan Kaynakların Kontrolü 83
3.8.7 Çekme Durumunda Guse Plakasının Kritik Kesit Kontrolü 83
3.8.8 Mafsal Bölgesinin Tasarımı 84
3.8.9 Guse Plakası Kenar Stabilitesinin Kontrolü 85
3.8.10 Guse Plakası Basınç Dayanımı Kontrolü 86
3.8.11 Guse Plakası Yırtılma Kontrolü 89
3.8.12 Çapraz Yırtılma Kontrolü 90
3.8.13 Net Enkesit Alanında Yırtılma Kontrolü 90
3.8.14 Guse Levhası Kiriş Bağlantı Kaynaklarının Kontrolü 91
3.8.15 Guse Levhası Kolon Bağlantı Kaynaklarının Kontrolü 91
3.9 Deprem Yönetmeliğine Göre Birleşimin Taşıma Kapasitesinin kontrolü 92
3.9.1 Guse Levhası Boyutlarının Belirlenmesi 92
3.9.2 Kolon Gövdesi Akma Dayanımı Kontrolü 93
3.9.3 Kolon Gövde Buruşması Kontrolü 94
3.9.4 Kiriş Gövdesi Akma Dayanımı Kontrolü 94
3.9.5 Kiriş Gövde Buruşması Kontrolü 94
3.9.6 Çapraz Elemanı Guse Plakasına Bağlayan Kaynakların Kontrolü 95
3.9.7 Çekme Durumunda Guse Plakasının Kritik Kesit Kontrolü 95
3.9.8 Guse Plakası Basınç Dayanımı Kontrolü 95
3.9.9 Guse Plakası Yırtılma Kontrolü 96
3.9.10 Çapraz Yırtılma Kontrolü 96
3.9.11 Net Enkesit Alanında Yırtılma Kontrolü 97
3.9.12 Guse Levhası – Çapraz Elemanı Eğilme Kapasitelerinin Kıyaslanması 97
3.9.13 Guse Levhası Kiriş Bağlantı Kaynaklarının Kapasite Kontrolü 98
3.9.14 Guse Levhası Kolon Bağlantı Kaynaklarının Kapasite Kontrolü 98
3.10 Tali kiriş - Ana Kiriş Bağlantı Detayı 98
3.11 Ana Kiriş – Kolon Bağlantı Detayı 101
3.12 Çapraz - Çapraz Bağlantı Detayı 106
3.13 Dış Çerçeve Kolon – Kolon Birleşimi 106
3.14 B/2 Aksı Kolon Ek Detayı 111
3.15 Dış Kolon Temel Detayı Tasarımı 114
3.16 Dış Kolon Ayağı Bağlantı Detayının Kapasitesinin Kontrolü 117
3.17 Dış Kolon Ayağı Guse Levhası Enkesit Kontrolü 118
3.18 B/2 Aksı Kolon Ayağı Detay Tasarımı 122

4 YÜK KOMBİNASYONLARININ KIYASLANMASI **125**
4.1 Türk Deprem Yönetmeliği Yük Kombinasyonları 125
4.2 Tali Kiriş Boyutlandırmasında Kullanılan Kombinasyonlar 127
4.3 Ana Kiriş Boyutlandırmasında Kullanılan Kombinasyonlar 127
4.4 Çapraz Elemanı Boyutlandırmasında Kullanılan Kombinasyonlar 127
4.5 A/2 Aksı C2 Kolonu Boyutlandırmasında Kullanılan Kombinasyonlar 127
4.6 A/2 Aksı Dış Kolon - Kolon Ek Detayında Kullanılan Kombinasyonlar 127
4.7 B/2 Aksı İç Kolon -Kolon Ek Detayında Kullanılan Kombinasyonlar 128
4.8 B/2 Aksı İç Kolon Temel Detayında Kullanılan Kombinasyonlar 128
4.9 A/2 Aksı Dış Kolon Temel Detayında Kullanılan Kombinasyonlar 128

5. SONUÇLAR ve DEĞERLENDİRMELER **129**

KAYNAKLAR **131**

EKLER **133**

ÖZGEÇMİŞ **146**

KISALTMALAR

AISC	: American Institute of Steel Construction
ASCE	: American Society of Civil Engineers
ASD	: Allowable Stres Design
D	: Ölü yük
D.M.G	**:** Dış merkez güçlendirilmiş
$\mathbf{E_X}$	: X yönünde etkiyen deprem yükü
$\mathbf{E_{XP}}$	: X yönünde + 0.05 dış merkezlik ile etkiyen deprem yükü
$\mathbf{E_{XN}}$	: X yönünde - 0.05 dış merkezlik ile etkiyen deprem yükü
$\mathbf{E_Y}$	: Y yönünde etkiyen deprem yükü
$\mathbf{E_{YP}}$	: Y yönünde + 0.05 dış merkezlik ile etkiyen deprem yükü
$\mathbf{E_{YN}}$	: Y yönünde - 0.05 dış merkezlik ile etkiyen deprem yükü
ISO	: International Organization for Standardization
L	**:** Hareketli yük
$\mathbf{L_r}$	**:** Çatı hareketli yükü
S.D.Y	: Süneklik Düzeyi Yüksek
S.D.N	: Süneklik Düzeyi Normal
S.D.Y.M.Ç.Ç.P	: Süneklik Düzeyi Yüksek Merkezi Çelik Çaprazlı Perdeler
S.N	: Sistem Noktası
TDY	: Türk Deprem Yönetmeliği
$\mathbf{W_{XN}}$	**:** X yönünde negatif yönde etkiyen rüzgar yükü
$\mathbf{W_{XP}}$	**:** X yönünde pozitif yönde etkiyen rüzgar yükü
$\mathbf{W_{YN}}$	**:** Y yönünde negatif yönde etkiyen rüzgar yükü
$\mathbf{W_{YP}}$	**:** Y yönünde pozitif yönde etkiyen rüzgar yükü

TABLO LİSTESİ

		Sayfa No
Tablo 2.1	Kat yüksekliğine bağlı olarak kullanılabilecek tipik enkesitler…….	54
Tablo 3.1	Kat ağırlık ve kütleleri ……..	58
Tablo 3.2	1 ve 6 numaralı noktalar için (E_{XP} - E_{XN})…….	59
Tablo 3.3	1 ve 6 numaralı noktalar için (E_X)……	60
Tablo 3.4	1 numaralı noktalar için (E_{YN}) ve 31 numaralı nokta için (E_{YP}) ……	64
Tablo 3.5	Seçilen enkesitler……...	77
Tablo 3.6	Kolon temel tasarımı için kullanılacak kuvvetler…….	114
Tablo 3.7	B/2 kolon temel tasarımı için kullanılacak kuvvetler ……...	122
Tablo 4.1	Tali kiriş boyutlaması için kullanılan yük kombinasyonları……..	127
Tablo 4.2	1. kat 2 B - 3 B akslarındaki ana kiriş boyutlaması için kullanılan yük kombinasyonları…….	127
Tablo 4.3	1B - 1C Akslarındaki çapraz boyutlaması için kullanılan yük kombinasyonları…….	127
Tablo A.1	1 ve 6 numaralı noktalar için (E_X)……	133
Tablo A.2	1 ve 31 numaralı noktalar için (E_Y)…….....	134
Tablo A.3	1 ve 31 numaralı noktalar için (E_{YP} - E_{YN})……...	134
Tablo A.4	1 ve 6 numaralı noktalar için (E_{XP} - E_{XN})……..	135
Tablo A.5	1 ve 31 numaralı noktalar için (E_Y)……..	135
Tablo A.6	1 ve 31 numaralı noktalar için (E_{YP} - E_{YN})……...	135
Tablo A.7	1 ve 6 numaralı noktalar için (E_X)……	135
Tablo A.8	1 numaralı noktalar için (E_{XP}) ve 6 numaralı nokta için (E_{XN})……...	136
Tablo A.9	1 numaralı noktalar için (E_{XN}) ve 6 numaralı nokta için (E_{XP})……...	136
Tablo A.10	1 ve 31 numaralı noktalar için (E_Y)……	136
Tablo A.11	1 numaralı noktalar için (E_{YP}) ve 31 numaralı nokta için (E_{YN})…….	136
Tablo A.12	A/2 Aksındaki C2 kolonun boyutlaması için kullanılan yük kombinasyonları…….	137
Tablo A.13	A/2 Aksı kolon - kolon birleşiminde kullanılan yük kombinasyonları…..	137
Tablo A.14	B/2 Aksı kolon - kolon birleşiminde kullanılan yük kombinasyonları…..	137
Tablo A.15	B/2 Aksı kolon temel detayında kullanılan yük kombinasyonları…….	137
Tablo A.16	A/2 Aksı kolon temel detayında kullanılan yük kombinasyonları…….	138

ŞEKİL LİSTESİ

		Sayfa No
Şekil 2.1	**:** Perde sistemlerine örnekler……..	5
Şekil 2.2	**:** Çaprazlar için yapısal formlar……..	7
Şekil 2.3	**:** Guse levhasında plastik mafsalın oluşma şekli ve yeri…….	9
Şekil 2.4	**:** V tipi çapraz düzeni için burkulma şekli……..	11
Şekil 2.5	**:** K tipi çaprazın davranışı……..	13
Şekil 2.6	**:** Yarım çelik çaprazlı çerçeve…….	14
Şekil 2.7	**:** Burkulması önlenmiş sistem bileşenleri……	15
Şekil 2.8	**:** Burkulması önlenmiş ve normal çaprazın yatay yük altındaki davranışı……..	16
Şekil 2.9	**:** Moment aktaran çerçevelerin tersinir yük altındaki davranışı…..	18
Şekil 2.10	: Merkezi çerçevelerin tersinir yük altındaki davranışı……..	19
Şekil 2.11	**:** Dış merkez çerçevelerin tersinir yük altındaki davranışı…….	19
Şekil 2.12	**:** V ve X tipi çerçevelerin yatay yük altındaki burkulma davranışı…….	26
Şekil 2.13	**:** Çaprazın burkulma şekli……..	27
Şekil 2.14	**:** Çift korniyerli detay örneği……..	29
Şekil 2.15	**:** Kutu veya boru kesit birleşim detayına örnek……..	30
Şekil 2.16	**:** Geniş başlıklı profil birleşim detayına örnek……	30
Şekil 2.17	**:** Geniş başlıklı profil birleşim detayına örnek……	31
Şekil 2.18	**:** Çapraz elemanda muhtemel hasar bölgeleri…….	32
Şekil 2.19	**:** Birleşim ve elemanlardan beklenen akma dayanımı sırası……..	33
Şekil 2.20	**:** Düzlem dışı burkulma için guse plakası detayı…….	33
Şekil 2.21	**:** Daha önceki depremlerde rapor edilen muhtemel hasar bölgeleri……..	35
Şekil 2.22	**:** Astaneh- asl ve diğerleri tarafından 1981 yılında kullanılan deney düzeneği……..	35
Şekil 2.23	**:** Çapraz elemanın **(a)** düzlem içi ve **(b)** dışı burkulma davranışı……..	36
Şekil 2.24	**:** Kötü detaylandırılmış guse plakasında düzlem dışı burkulmadan dolayı meydana gelen kopma şekli……	37
Şekil 2.25	**:** İyi detaylandırılmış guse plakasında sünek davranış……..	37
Şekil 2.26	**:** Kuvvetin bulon ve kaynakta 30 derecelik Whitmore kanununa göre dağılışı……..	38
Şekil 2.27	**:** Akma çizgisi ile çapraz arasında bırakılacak 2t mesafesi için örnekler……..	39
Şekil 2.28	**:** Çapraz ve guse plakası tasarımında kullanılacak mesafeler…….	40
Şekil 2.29	**:** Guse plakası basınç tasarımında kullanılacak ortalama uzunluğun ve kaynak hesabında kullanılacak mesafenin gösterimi……	41

Şekil 2.30 : Kuvvetin guse plakasında dağılımı ve guse kesit hesabında kullanılacak kesit……... 42
Şekil 2.31 : Çapraz elemanda yırtılmayı engellemek için atölye kaynağı ile kullanılabilecek detay…… 42
Şekil 2.32 : Çapraz elemanda yırtılmayı engellemek için şantiye kaynağı ile kullanılabilecek detay…… 43
Şekil 2.33 : Kuvvet Dağıtım Metodu……..……. 48
Şekil 2.34 : Özel durum 1……. 49
Şekil 2.35 : Çapraz ve guse plakası birleşim tasarımında kullanılabilecek Kuvvet Dağıtım Metotlarına örnekler……... 51
Şekil 3.1 : Düzensizlik kontrollerinde kullanılan noktaların plan üzerinde yerleri……. 59
Şekil 3.2 : Rüzgar yüklerinin iç kolonlara dağılış profili……... 61
Şekil 3.3 : Rüzgar yüklerinin dış kolonlara dağılış profili……. 62
Şekil 3.4 : Tali kiriş kesme kuvveti ve moment diyagramı…… 65
Şekil 3.5 : Ana kiriş kesme kuvveti ve moment diyagramı…… 68
Şekil 3.6 : Kuvvet Dağıtım Metodunda kullanılan simgeler…….. 78
Şekil 3.7 : Çapraz eleman - kiriş, kolon birleşim detayı……. 79
Şekil 3.8 : Whitmore kesiti……. 84
Şekil 3.9 : Guse plakası kenar stabilite kontrolünde kullanılan mesafeler…. 86
Şekil 3.10 : L_{g1}, L_{g2}, L_{g3}' ün gösterimi……. 87
Şekil 3.11 : Guse plakası yırtılma kontrolünde kullanılan mesafeler……... 89
Şekil 3.12 : Tali kiriş - Ana kiriş bağlantı detayı yan görünüş……. 100
Şekil 3.13 : Tali kiriş - Ana kiriş bağlantı detayı ön görünüş……... 101
Şekil 3.14 : Guse plakasındaki kuvvet dağılımı……... 102
Şekil 3.15 : Ana kirişteki kuvvetlerin dağılımı…… 102
Şekil 3.16 : Ana kiriş - kolon bağlantı detayı yan görünüş…….. 105
Şekil 3.17 : Ana kiriş - kolon bağlantı detayı ön görünüş…… 105
Şekil 3.18 : Çapraz düğüm noktası detayı…… 106
Şekil 3.19 : Kolon ek detayı yan görünüş……. 109
Şekil 3.20 : Kolon ek detayı ön görünüş…….. 110
Şekil 3.21 : Kolon ek detayı üst görünüş…….. 110
Şekil 3.22 : Kolon ek detayı ön görünüş…….. 113
Şekil 3.23 : Kolon ek detayı üst görünüş…….. 113
Şekil 3.24 : Kolon ek detayı yan görünüş……. 114
Şekil 3.25 : Dış kolon ayağı yan görünüş……. 116
Şekil 3.26 : Dış kolon ayağı üst görünüş…….. 116
Şekil 3.27 : Dış kolon ayağı ön görünüş……... 117
Şekil 3.28 : Dış kolon ayağı detayı……... 118
Şekil 3.29 : B/2 aksı kolon ayağı ön görünüş……... 123
Şekil 3.30 : B/2 aksı kolon ayağı üst görünüş…….. 123
Şekil 3.31 : B/2 aksı kolon ayağı yan görünüş……. 124
Şekil B.1 : V tipi çapraz formunda kutu kesit çapraz eleman - kiriş bağlantı detayı…….. 139
Şekil B.2 : V tipi çapraz formunda geniş başlıklı çapraz eleman - kiriş bağlantı detayı…… 139
Şekil B.3 : Geniş başlıklı çaprazlarınn düğüm noktası detayı……. 140
Şekil B.4 : Kutu kesit çaprazların düğüm noktası detayı…… 140
Şekil B.5 : Özel durum 2……. 141
Şekil B.6 : Özel durum 3……. 142

Şekil B.7 : 1. kat planı……. 143
Şekil B.8 : 1-1 aksı görünüş…… 144
Şekil B.9 : A-A aksı görünüş……... 145

SEMBOL LİSTESİ

A : Kolon taban plakası kenar mesafesi
A_b : Bulonun diş açılmamış gövde enkesit alanı
A_{bp} : Profil başlık alanı
A_e : Etkili net alan
A_g : Toplam alan
A_{gv} : Kayma maruz kalan tüm alan
A_i : Rüzgar yükünü aktaran alan
A_n : Elemanın net alanı
A_{net} : Net en kesit alanı
A_{nt} : Kayma maruz kalan net alan
A_{nv} : Kayma maruz kalan net alan
A_{ub} : Kiriş eksenel kuvveti
A_w : Gövde alanı
A_v : Yırtılma kontrolünde kullanılacak kaymaya maruz kalan net alan
a : Guse plakası kirişe mesnetlenme ölçüsü
a_w : Küt kaynak etkili kalınlığı
B : Kolon taban plakası kenar mesafesi
b : Guse plakası kolona mesnetlenme ölçüsü
b_f : Başlık genişliği
b_g : Çaprazdan guse serbest kenarına olan dik mesafe
C : Taban plakası kenar boyu
C_b : Serbest boyun uçları arasında, kuvvetli asal eksen etrafındaki mutlak değerce küçük olan eğilme momenti M_1 ve büyük olan eğilme momenti M_2 bağlı olarak hesaplanan katsayı.
C_d : Moment diyagramının şekline bağlı katsayı
C_v : Gövde stabilitesini göze almak için kullanılan katsayı
c : Kolon taban plakası konsol boyu
c_f : Aerodinamik yük katsayısı
D : Dairesel halka kesitlerde dış çap
D_y : Akma gerilmesi arttırma gerilmesi
d : Elemanın tüm boyu
d_b : Bulon çapı
d_g : Gövdenin uzunluğu
E : Deprem yükü katsayısı
E_s : Çeliğin elastisite modüleri
e_b : Kiriş yüksekliğinin yarısı
e_c : Kolon yüksekliğinin yarısı
F_b : Basınç başlığının yanal burulmalı burkulma göz önüne alınarak hesaplanmış basınç başlığı eğilme güvenlik gerilmesi
F_{bp} : Başlık levhası alanı
F_{cr} : Kritik burkulma yükü
F_E : Kaynak metalinin karakteristik çekme dayanımı

F_g : Profil gövde alanı
F_{gp} : Gövde levhası alanı
F_{nv} : Bulon malzemesinin karakteristik kayma dayanımı
F_t : Bulon çekme güvenlik gerilmesi
F_u : Minimum kopma dayanımı
F_{ub} : Bulon malzemesinin karakteristik çekme dayanımı
F_x : X yönündeki yatay kuvvet
F_y : Yapı çeliği akma gerilmesi
F_{yk} : Y yönündeki yatay kuvvet
F_{yw} : Gövde için minimum akma dayanımı
F_z : Z yönündeki düşey kuvvet
f : Sehim
g : Sabit yük
H_{bc} : Diyagonaldeki basınç kuvvetinin kiriş yüzeyindeki yatay bileşeni
H_{bt} : Diyagonaldeki çekme kuvvetinin kiriş yüzeyindeki yatay bileşeni
H_{cc} : Diyagonaldeki basınç kuvvetinin kolon yüzeyindeki yatay bileşeni
H_{ct} : Diyagonaldeki çekme kuvvetinin kolon yüzeyindeki yatay bileşeni
H_N : Binanın temel üstünden itibaren ölçülen toplam yüksekliği
H_T : Toplam yatay kuvvet
H_{ub} : Tasarım kuvvetinin kiriş yüzeyindeki yatay bileşeni
H_{uc} : Tasarım kuvvetinin kolon yüzeyindeki yatay bileşeni
h : Açılan delik çapı
h_b : Profil başlıkları arasındaki mesafe
h_i : Binanın i. katının kat yüksekliği
h_o : Profilin başlık merkezleri arasındaki uzaklık
I : Bina önem katsayısı
I_x, I_y : Atalet momenti
i : Atalet yarıçapı
K : Burkulma katsayısı
k : I profilde başlığın dış yüzeyinden gövdede eğriliğin başladığı noktaya olan mesafe
L : Açıklık, boy
L_b : Yanal olarak tutulmamış uzunluk
L_c : Delik kenarından birleştirilen eleman kenarına uzaklık
L_e : Bulon deliği merkezinin birleştirilen eleman kenarına uzaklığı
L_{fg} : En büyük desteklenmemiş guse plakası kenar uzunluğunu
L_g : Guse plaksı basınç kontrolünde kullanılacak uzunluk
L_{gavg} : Guse plaksı basınç kontrolünde kullanılacak ortalama uzunluk
L_{rp} : Minimum rijitlik plakası boyu
L_s : Rijitlenmiş serbest kenarın uzunluğu
L_w : Kaynak boyu
l_b : Tutulu olmayan basınç başlığı uzunluğu
M : Eğilme momenti
M_1 : Taban plakası açıklık momenti
M_2 : Taban plakası konsol momenti
M_{max} : Maksimum moment
M_r : Gerekli eğilme dayanımı
M_{ub} : Kolon veya kiriş yüzeyinde dış merkezlikten meydana gelen moment
m_i : Binanın i. Katının kütlesi
N : Mesnetlenme uzunluğu

N_E : Eksenel kuvvet
N_k : Düğüm noktalarına birleşen diğer elemanların kapasitelerine bağlı olarak söz konusu çapraza aktarılabilecek en büyük kuvvet
N_{bp} : Kolon basınç kapasitesi
$N_{çp}$: Kolon çekme kuvveti taşıma kapasitesi
N_d : Düşey yükler ve deprem yüklerinin ortak etkisi altında hesaplanan eksenel kuvvet
n_1, n_2 : Taban plakası konsol açıklığı
n : Bulon sayısı
P_b : Başlığa gelen kuvvet
P_{br} : Kiriş yanal çaprazlarının dayanımı
P_{bt} : Bileşke kuvvet
P_c : Basınç kuvveti
P_g : Gövdeye gelen kuvvet
P_n : Mevcut dayanım
P_t : Çekme kuvveti
P_u : Von-mises kriteri ile bulunan bileşke kuvvet
Q_b : V tipi çaprazlarda dengelenmemiş kuvvet
q : Hareketli yük
q_r : Nominal rüzgar basıncı
R : Taşıyıcı sistem davranış katsayısı
R_a : İşletme yüklerinden kaynak dikişine gelen kuvvet
R_b : kiriş uç kuvveti
R_{bn} : Bulonun karakteristik kayma dayanımı
R_n : Mevcut (nominal) dayanım
R_{nw} : Köşe kaynak karakteristik dayanımı
R_{ub} : kiriş uç kuvveti
R_y : Akma gerilmesi arttırma gerilmesi
r : Guse plakası merkezinin sistem noktasına olan mesafesi
r_y : Kiriş başlığının ve gövde yüksekliğinin 1/6'inin yanal doğrultudaki atalet yarıçapı
S_{kx}, S_{ky} : Burkulma boyu
s : Saniye
s_b : Bulon deliklerinin merkezleri arasındaki uzaklık
T : Kesme kuvveti
T_{1x}, T_{1y} : Binanın X ve Y yönündeki periyotları
T_A, T_B : Spektrum karakteristik periyotları
T_b : Bir bulonun güvenle aktarabileceği kuvvet
t : Kalınlık
t_f : Başlık kalınlığı
t_w : Gövdenin kalınlığı
U : Blok yırtılma faktörü
U_{bs} : Gerilmenin yayılma türüne bağlı bir katsayı
U_i, U_{i-1} : X yönünde yatay yer değiştirme
V_a : Gerekli kayma dayanımı
V_{bc} : Diyagonaldeki basınç kuvvetinin kiriş yüzeyindeki düşey bileşeni
V_{bt} : Diyagonaldeki çekme kuvvetinin kiriş yüzeyindeki düşey bileşeni
V_{cc} : Diyagonaldeki basınç kuvvetinin kolon yüzeyindeki düşey bileşeni
V_{ct} : Diyagonaldeki çekme kuvvetinin kolon yüzeyindeki düşey bileşeni

V_i : Göz önüne alınan deprem doğrultusunda binanın i. katına etki eden kat kesme Kuvveti

V_n : Karakteristik kayma dayanımı

V_T : Toplam düşey kuvvet

V_{ub} : Tasarım kuvvetinin kiriş yüzeyindeki düşey bileşeni

V_{uc} : Tasarım kuvvetinin kolon yüzeyindeki düşey bileşeni

W : Whitmore genişliği

W_p : Plastik mukavemet momenti

W_x, W_y : Elastik mukavemet momenti

w : Köşe kaynak etkili kenar boyu

w_i : Binanın i. katının, hareketli yük katılım katsayısı kullanılarak hesaplanan ağırlığı

α, α' : Kolon başlık veya gövde yüzeyinden guse kiriş birleşiminin merkezine olan mesafe

β, β' : Kiriş başlık yüzeyinden guse – kolon birleşimin merkezine olan mesafe

β_{br} : Kiriş yanal çaprazlarının rijitliği

Δ_i : Binanın i. katındaki azaltılmış göreli kat ötelemesi

$(\Delta_i)_{ort}$: Binanın i. katındaki ortalama azaltılmış göreli kat ötelemesi

Δ_{max} : Binanın i. katındaki azaltılmış en büyük göreli kat ötelemesi

Δ_{min} : Binanın i. katındaki azaltılmış en küçük göreli kat ötelemesi

Δ_{ort} : Binanın i. katındaki azaltılmış ortalama göreli kat ötelemesi

ΔV_{ub} : Keyfi yük azaltma katsayısı

δ_{ix} : Binanın i. katındaki etkin göreli kat ötelemesi

η_{bi} : i. katta tanımlanan burulma düzensizliği katsayısı

η_{ki} : i. katta tanımlanan rijitlik düzensizliği katsayısı

θ : Kolon ile diyagonal arasındaki açı

θ_i : i. katta tanımlanan ikinci mertebe göstergesi değeri

λ : Narinlik

λ_p : Sınır narinlik oranı

μ : Sürtünme katsayısı

$\sum N_c$: Temel bağlantı detayına etkiyen toplam çekme kuvveti

σ_{bem} : Basınç Emniyet gerilmesi

σ_c : Beton basınç gerilmesi

σ_{em} : Emniyetle gerilmesi

Ω : Güvenlik katsayısı

Ω_o : Büyütme katsayısı

SÜNEKLİK DÜZEYİ YÜKSEK MERKEZİ ÇELİK ÇAPRAZLI PERDELER İLE İLGİLİ TASARIM KURALLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

ÖZET

Bu çalışmanın amacı, süneklik düzeyi yüksek merkezi çelik çaprazlardan oluşan altı katlı çelik bir binanın 2007 yılında yürürlüğe giren Türk Deprem Yönetmeliğine uygun olarak boyutlandırılması ve detay tasarımının yapılmasıdır. Hesap yönteminde TS 648 esas alınmış olup yetersiz kaldığı çoğu tasarım aşamasında AISC 360-05 standardına başvurulmuştur. Hesaplarda güvenlik dayanımları hesap yöntemi kullanılmıştır. Ayrıca süneklik düzeyi yüksek çerçevelerde sünek davranışın ortaya çıkmasında detayın önemini vurgulamak için guse levhasının tasarımında Kuvvet Dağıtım Metodu (**Thornton, W.**) kullanılmıştır. Ayrıca 2007 Türk Deprem Yönetmeliğinde rüzgarlı ve depremli durum için verilen emniyet gerilmesinin arttırılması durumu ölü yükte azaltmaya sebep olduğu için Türk Deprem Yönetmeliğinde verilen yük kombinasyonları yerine ASCE7-05'te güvenlik dayanımları hesap yöntemi için verilen yük kombinasyonları kullanılıp sonuçlar değerlendirilmiştir.

Binanın hesabında ETABS bilgisayar programından yararlanılmış ve eşdeğer deprem yükü yöntemi kullanılarak elastik hesap yapılmıştır. Ayrıca guse plakası tasarımında birleşimde moment oluşmadan en uygun çözümü veren Kuvvet Dağıtım Metodu yanında çapraz elemandan guse plakasına aktarılan kuvvetin dağılışını etkileyen Whitmore kesiti kullanılarak gerekli kontroller yapılmıştır.

Çalışmada ayrıca sünek yapı tasarımında kullanılabilecek bazı birleşim örnekleri ve uyulması gereken kurallar verilmiştir. Bu çalışmada X tipi merkezi çelik çaprazlar incelenmiş olmakla beraber kullanılabilecek diğer çapraz formları da detaylı olarak açıklanmış ve tasarımlarında uyulması gereken kurallar verilmiştir.

SPECIAL CONCENTRICALLY BRACED STEEL FRAME DESIGN AND DETAILING CONSIDERATION

SUMMARY

This study mainly focus on six story special concentrically braced frame design according to 2007 Turkish National Seismic Provision's Recommendations. Turkish Specification for Steel Structures (TS 648) is reviewed and whenever enough information does not exist, AISC 360-05 is used for design of structural elements. Due to the important role of gusset plate in the absorption of seismic energy, gusset plates are designed according to the Uniform Force Method, proposed by W. Thornton . 2007 Turkish National Seismic Provision gives permission to increase in allowable stress in wind and earthquake effects. Because this results in decrease in dead load, in this study, the load combinations given by ASCE7-05 for allowable stress design are used to determine internal forces.

ETABS Structural Analysis Program is used for performing the analysis and computing the equivalent seismic forces and linear analysis is used. In the design of gusset plate beside the Uniform Force Method which cause no moment in the connection and gives optimum results, Whitmore section is used to check design of connections.

In this study, some details and rules to design ductile structures are given. Although this study mainly focused on X type concentric braced frames, other types of braces are introduced and some design rules are given.

1. GİRİŞ

1.1 Yapı Malzemesi Olarak Çelik

Yapı elemanı olarak çelik depreme karşı oldukça dayanıklıdır. Yüksek mukavemet ve rijitliğin yanı sıra yüksek süneklik ve tokluğa sahiptir. Çeliğin dayanım / ağırlık oranı oldukça yüksektir. Diğer malzemelerle kıyaslandığında üretimi denetim altında olduğundan özellikleri belirli kalite seviyesindedir. Bu durum diğer yapı sistemlerine göre daha iyi sismik performans göstermesine neden olur. Ayrıca hasarlı bir durumda, hasarlı eleman kolayca onarılıp yenisi ile değiştirilebilir. Yine de yapıyı çelik ile inşa etmek deprem sırasındaki yeterli performansı göstereceği anlamını taşımaz. Yer hareketinin davranışı belirsizdir ve malzemenin sünekliğine bağlı olarak azaltılmaktadır ve yapı tasarım standart ve yönetmeliklerine göre tasarım, yapıda hasar oluşmayacağı anlamına gelmez. Eğer yeterli enerji sönümü mevcutsa ve erken göçme önlenmişse ve yapısal elemanlar iyi detaylandırılmışsa tatmin edici sonuçlar elde edilir. Çökme durumu hariç, çelik yapılarda hasar ağır bile olsa belirlemek diğer yapı türlerine göre oldukça güçtür. Çünkü hasarlar genelde belirli yerlerde oluşur ve detaylı inceleme gerektirir. Detaylı araştırma için mimari detaylar, yangın koruma tabakası ve gerekirse betonarme döşeme kısımların kaldırılması gerekebilir. Bu durum işlemlerin pahalı ve uzun olmasına neden olur. Yer hareketinden hemen sonra elde edilen bilgiler eksiktir. Mal sahibi yapının detaylı incelenmesini isterse, yetersizlikler ve hatalar rapor edilmektedir. Çeliğin yer hareketi altında iyi davranış gösterdiği algısına Northridge depremiyle birlikte önyargı ile yaklaşılmaya başlandı. Northridge depremi istisna değildir ve çelik yapıların aldığı hasarlar aylar ve hatta yıllar geçtikten sonra fark edilmiştir. Neyse ki rapor edilen gözlemlerden birçok ders çıkarılmıştır [1].

1.2 Merkezi Çelik Çaprazlı Perdeler

Orta yükseklikteki yapılar için merkezi çaprazlı yapılar oldukça popülerdir. Tasarımı ve üretimi basittir ve istenen yatay rijitlik ve dayanım düşük maliyetle elde edilebilir. Merkezi çelik çaprazlı perdelerin yatay rijitliği düşey konumlanmış kafes kirişler ile sağlanır. Bu kafes kiriş davranışı kolon ve kirişler arasında çaprazlama ile elde edilir. Tasarım ve yapım açısından basit birleşimler yapıda en çok kullanılır [1].

Northridge keşif gezileri sırasında gözlenen ciddi burkulma ve akma durumları bir kez daha çapraz elemanların deprem sırasında sünek davranış göstermesi için düzgün detaylandırmanın önemine dikkat çekilmiştir [1].

Birçok tasarımcı çaprazlar için düzlem içine burkulmadan çok düzlem dışına burkulmaya göre tasarımı destekler. Düzlem dışı burkulma durumunda plastik mafsal, **Astaneh ve diğerleri (1985)** tarafından verilmiş olan tasarım önerileri uygulandığında, guse levhalarının içinde kolayca oluşabilir [1].

1.3 Amaç ve Kapsam

Bu çalışmada, son yıllarda yapı malzemesi olarak kullanımı yaygınlaşan çeliğin, yatay yük altında kendinden beklenen sünek davranış için, detay ve eleman tasarımında uyulması gereken kurallar gözden geçirilmiştir. Tasarımda, yönetmelikler ve standartların yanı sıra yapılan bilimsel çalışmalar ile mühendislerin kullanımına sunulan bazı önemli tasarım kuralları da durum çalışmasında kullanılmıştır.

1.4 Çalışmada İzlenen Yol

Bu çalışmada, ilk olarak çerçeveler yapısal olarak sınıflandırılmış ve kısaca özellikleri anlatılmıştır. Daha sonra merkezi çelik çaprazlı perdelerin yapısal formlarının özellikleri ve davranışları kısaca açıklanmıştır. Bu çerçevelerde kullanılabilecek enkesitlerin avantaj ve dezavantajlarından bahsedilip, çapraz elemanın burkulma şekli ve detay tasarımına değinilmiştir. Çapraz elemanlar için kullanılacak değişik enkesitlere ait örnek detaylar ve plastik mafsalın oluşma yerleri anlatılmıştır. Yapısal diğer elemanların tasarım yöntemleri kısaca açıklanmıştır.

Durum çalışmasında ise ele alınan süneklik düzeyi yüksek altı katlı X tipi çelik çaprazlı perdelerden oluşan binanın tasarımı üzerinde durulup, bu binanın hesabında kullanılan ASCE7-05 ile TS-648'de verilen yük kombinasyonları için bilgisayar programından elde edilen kuvvetler tablo halinde verilmiştir.

2. MERKEZİ ÇELİK ÇAPRAZLI SİSTEMLER

2.1 Yapısal Çerçevelerin Sınıflandırılması

Yapı tasarımında analiz modelini basitleştirmek açısından değişik çerçeve sistemleri tanımlamak yararlıdır. Örneğin çapraz elemanlar ile güçlendirilmiş çerçeve davranışını incelemek için çerçeve ve çapraz tek bir model üzerinde incelenebilir. Diğer taraftan daha karışık sistemler için, daha basit modeller bilgisayar sonuçlarını kontrol ve ön boyutlama için kullanışlıdır. Bu modeller çerçevenin davranışını ve çerçeveye olan etkisini taşımalıdır [2].

2.1.1 Rijit Çerçeveler

Rijit çerçeve, yatay rijitliğini birbirine rijit düğüm noktaları ile bağlanmış çerçeve elemanlarının eğilme rijitliği ile sağlar. Bu yüzden düğüm noktaları yeterli dayanım, rijitlik ve ihmal edilebilir deformasyona göre tasarlanmalıdır. Deformasyonlar yapıdaki iç kuvvet ve momentlerin dağılımını ya da tüm yapı deformasyonunu etkilemeyecek kadar küçük olmalıdır. Çerçeve kendi başına düşey ve yatay yükleri içeren bütün tasarım kuvvetlerine kendi başına karşı koymalıdır. Aynı zamanda rüzgar ve deprem gibi etkilere maruz kaldığında yanal ötelemeye karşı yeterli dayanıma sahip olmalıdır [2].

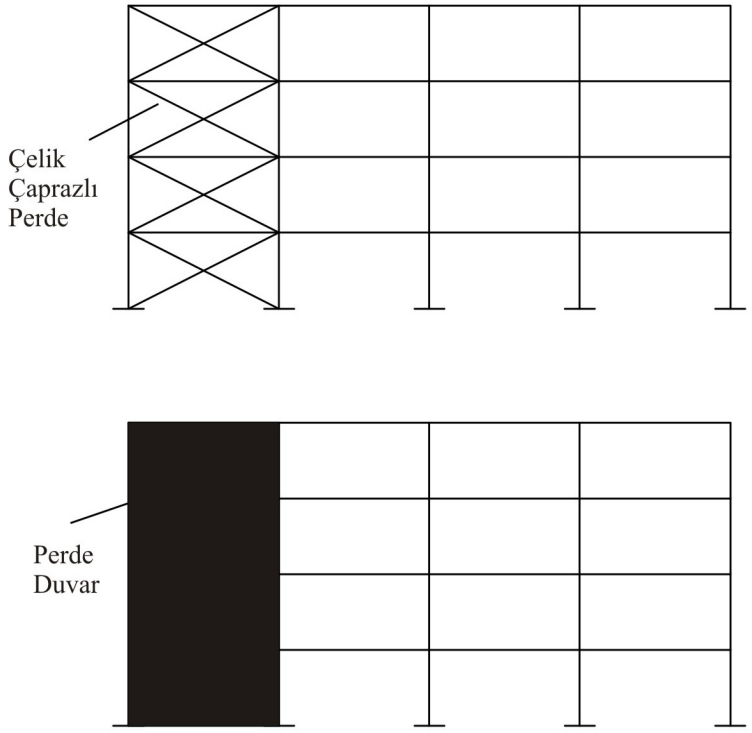
2.1.2 Basit (Mafsallı) Çerçeveler

Kiriş kolon birleşiminin mafsallı olduğu ve sistemin yatay yük dayanımının olmadığı sistemlere basit çerçeveler denir. Sisteme çapraz sistemler eklenerek stabilite sağlanır. Yatay yüke çapraz sistemi karşı koyarken, düşey yüklere basit çerçeve ve perde sistemi birlikte karşı koyar [2].

2.1.3 Çelik Çaprazlı Perde Sistemleri

Çapraz sistemleri, kafes sisteme yatay stabilite sağlar. Genelde kafes kiriş, perde (çekirdek perde) veya rijit düğüm noktalı çerçeve şeklinde olabilirler. Genelde çapraz sistemleri Şekil 2.1'de gösterildiği gibi tasarlanır ve genellikle asansör

boşlukları ve merdiven boşluklarının etrafına yerleştirilirler. Bütün düğüm noktaları doğal olarak sürekli olan beton yapılardan farklı olarak, genelde çapraz sistemini kafes kiriş sistemi olarak göstermek çelik yapılarda yaygındır. Çelik binalar yatay dayanım için perde sistemleri ile birlikte tasarlanırlar. Bundan dolayı güçlendirme sistemi, perde veya çekirdek perdeli gibi çok rijit yapılar hariç, kafes kiriş sistemleri kullanılarak elde edilir. (Şekil 2.1) Yapının yatay yüklere karşı dayanım gücü, kullanılan perde sisteminin yerine, tipine ve asansör boşluğu ve merdiven boşluğu etrafında perde duvarının veya çekirdek perdenin varlığına bağlıdır [2].



Şekil 2.1 Perde sistemlerine örnekler [2]

2.2 Çelik Çaprazlı Perdelerin Tasarım Konsepti

Çok katlı çelik yapılar, kolon ve kirişlerin üç boyutlu düzlemde yapıyı oluşturmak için birbirine bağlanmasıyla oluşur. Yapı kendi stabilitesini çapraz elemanlar vasıtası ile veya kendi kendine sağlar. Bütün yapı çerçeveleri yapısal stabiliteyi sağlamak için yanal yüklere karşı koyacak şekilde tasarlanmalıdır. Genel yaklaşım normal çerçeveyi bir veya daha fazla çapraz sistemi ile takviye etmektir. Genel çelik çaprazlı perde çerçevelere denk gelen bu tür sistemler ortalama yüksek yapılar için (20 kata kadar) düşük maliyetli olduğundan tercih edilir [2].

Basit çerçevelerde, kolon ve kirişler mafsallı bağlıdır ve yatay yüke karşı dayanıma sahip değildir. Bütün yapının stabilitesi değişik formdaki çapraz elemanların yapıya eklenmesi ile sağlanır. Yatay yüke genel olarak çapraz elemanlar karşı koyarken, düşey yüklere hem çerçevenin kendisi hem de çapraz elemanlar karşı koyar. Orta yükseklikteki yapılarda çaprazlar yatay yüke yeter rijitlikte cevap verdiğinden, yapı tasarımında ikinci mertebe etkileri ihmal edilebilir [2].

Düşük maliyetli yapı tasarımı için moment aktaran düğüm noktalarının sayısı azaltılmalı, saha kaynağı yerine bulonlu birleşim tercih edilmeli, çapraz elemanlar yardımı ile kat ötelemeleri azaltmalıdır. Uygulanan yükü en kısa ve en çabuk şekilde temele ileten yapı sistemleri en ekonomik ve etkili çözümdür. Montajın kolaylığı açısından yapısal şema oldukça basit olmalıdır, yani eleman ve düğüm noktalarının tekrarından oluşmalı, standart yapısal detaylar kullanılmalı, anlaşılır, geçici işlerden oluşmalı ve tamamlanan yapıdan beklenen davranış için mümkün olduğu kadar az miktarda birbirine bağlı olmayan montaj işlerinden oluşmalıdır [2].

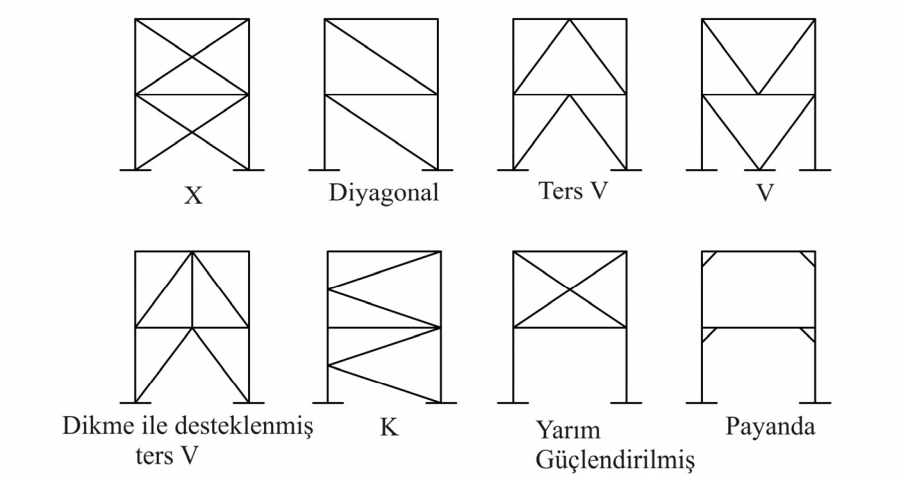
Yapısal eleman boyutlaması en büyük açıklık ve en büyük çatı ve/veya kat alanı göz önüne alınarak yapılmalıdır. Benzer durumlar için aynı kesitler kullanılmalıdır. Basit yapısal sistemler hem çabuk tasarlanır hem de kolay montaj edilir. Yapı mühendisi için servis gereksinimlerini karşılayacak yapı şeklini seçmek önemlidir. Çok katlı yapı tasarımı çizimleri aşağıdaki unsurları içermelidir: [2]

1. Kolon, kiriş, çelik perde sistemlerini de içeren genel düzen çizimleri
2. Kritik ve tipik eleman boyutları
3. Tipik kaplama ve çapraz detayları.
4. Tipik ve değişik birleşim detayları
5. Yangın ve korozyondan korunmak için öneriler.

2.3 Merkezi Çelik Çaprazlı Perde Sistemlerinde Yapısal Formlar

Güçlendirme sisteminin asıl amacı tüm yapıya yatay stabilite sağlamaktır. Rüzgar, deprem ve basit çerçevelerde eğilme momenti gibi dış yüklerden kaynaklı olası yatay yüklere karşı koyacak şekilde tasarlanmalıdır [2].

Çapraz elemanlar ile güçlendirilmiş çerçevelerde yatay stabilite esas olarak çapraz elemanların varlığı ile sağlanır. Bu tür yapılar merkezi, dışmerkez ve tamamlanmamış (yarım) çelik çaprazlı çerçeveler olarak sınıflandırılmışlardır. Merkezi çerçevelerde çaprazların çerçeveye bağlandığı yer, çapraz ve diğer elemanların sistem noktaları çakışır. Bu tür merkezi çerçeveler, düşeyde konumlanmış kafes kiriş gibi çalışır ve yatay yüke çaprazlarda eksenel kuvvet oluşumu ile karşı koyar. Şekil 2.2'deki çapraz türleri en çok kullanılan türlerdir [3].



Şekil 2.2 Çaprazlar için yapısal formlar [3]

2.3.1 X Tipi

Endüstri yapılarında, büyük çaprazların bir gözü tamamen geçtiği uygulamalar mimari açıdan sorun yaratmıyorsa, X tipi çerçeveler en çok kullanılan ve en ekonomik türdür. Genelde X tipi çerçeveler sadece çekme kuvveti taşıyabilecek türde tasarlanırlar. Bu yaklaşımda tasarımcı eksenel basınç taşıyan çubukların önemsiz, az miktarda burkulduğunu kabul eder ve analizde ihmal eder. Böylece statik açıdan kararlı ve tasarım açısından basit durum ortaya çıkar. Bu varsayımlar çapraz elemanı olarak çok narin kesitler kullanılmasına neden olur. Bu yaklaşım betonarme demiri, tek korniyer, düz sac - lama ve kabloların çapraz elemanı olarak kullanılmasına ve böylece yapının ekonomik olarak boyutlanmasına neden olur [3].

Sadece çekmeye çalışan merkezi güçlendirilmiş çerçeveler betonarme demiri, düz plakalar gibi çok narin elemanları içerir ve basınç altında çok fazla enerji yutmazlar. Sadece çekmeye çalışan merkezi perdeler, güçlü depremler altında kötü performansa sahiptirler ve bu nedenle yapı mühendisleri sismik aktivitesi yüksek yerlerde inşa edilen orta yüksek ve yüksek yapılarda bu sistemleri kullanmaktan kaçınmalıdır. Fakat bu sistemler geniş biçimde, endüstri ve sanayi binalarında ucuzluğu, tasarımının, üretiminin ve montajının basit olması nedeniyle kullanılmaya devam edilmektedir [4].

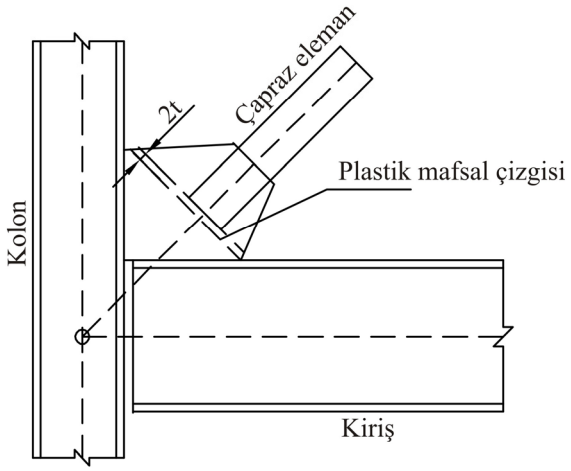
Sadece çekmeye çalışan çaprazlar tasarımcılar arasında her ne kadar popüler olsa da geçmiş depremlerde yeterli performansı gösterememişler ve yönetmelikler, bu yaklaşımın küçük yapılar ve düşük sismik aktiviteli yerler dışında uygulanmasını kısıtlamışlardır. Sadece çekmeye çalışan çaprazlarla ilgili olarak birçok problem vardır. Bu tür çaprazlar biraz gevşek monte edilirler. Bina yer hareketine karşı koyarken bu çaprazlar çekme kuvveti ile yüklenir. Gevşeklik azaldıkça etki tipi ile yüklenirler ve bu tip yükleme çaprazda gevrek kırılmaya neden olur. Benzer etki tersinir yükler altında basınç etkisi ile burkulmuş elemanların çekmeye çalışmasında da görülür. Bu etki ile basınca çalışan elemanların burkulması, genellikle yerel olarak uç birleşimin ve çaprazın ortasında plastik mafsal oluşumunda daha ciddi sorunlara neden olabilir. Bu durum birkaç çevrimden sonra yüksek yerel gerilmeye ve düşük çevrimli yorulma çatlaklarına neden olur. Bu problemler nedeni ile birçok yönetmelik, sadece çekmeye çalışan sistemlerin yer hareketine elastik davranış ile cevap verdiğini söyler. Bu da gerektiğinden daha güçlü çerçeveler kullanıldığına işaret eder [3].

Eğer X tipi çapraz hem basınç hem de çekme alacak şekilde tasarlanıyorsa, yönetmeliklerdeki minimum narinlik oranları sağlamak için biraz büyük kesitler seçilmesi gerekebilir. İçi boş kesitler ekonomik olduklarından (büyük atalet yarıçapı sağlamada ve minimum narinlik için uygun olduğundan) genellikle tercih edilirler [3].

Yatay yükün tamamının çapraz elemanlar tarafından taşınması nedeniyle kirişlerde büyük eksenel kuvvete oluşmaması X tipi yapının en avantajlı yanıdır [2].

X tipi çaprazların kullanıldığı çerçeveler S.D.Y ve S.D.N olarak ikiye ayrılır. Yapının S.D.Y çerçeve olabilmesi için potansiyel yerel burkulma tehlikesini ortadan kaldırmak amacı ile çapraz eleman yeterli genişlik / kalınlık oranına sahip

olmalı, çubuk eleman minimum narinlik oranı şartlarını sağlamalı, birleşim yeterli dayanımda tasarlanmalıdır ki yapıdaki lineer olmayan şekil değiştirmeler, çaprazın burkulması veya akması ile oluşmalı, yani birleşim göçmemeli ve uç bağlantıları, guse levhasına zarar gelmeden çapraz elemanın burkulmasını sağlamalıdır. Şekil 2.3'teki detayda çapraz elemanın aksına dik olan plastik mafsal çizgisi guse levhasında gösterilmiştir. Guse levhasının plastik mafsal çizgisinde kolon ve kirişin eklentileri nedeniyle dönmesi kısıtlanmalıdır. Çapraz eleman, levha kalınlığının iki katı kadar mesafede, bu serbest dönme çizgisinden tutulmalıdır. Bu şekilde yapılan birleşimde, çapraz elemanı burkulmasını nedeni ile oluşacak plastik mafsal bu dönme hattında oluşturabilir [3].



Şekil 2.3 Guse levhasında plastik mafsalın oluşma şekli ve yeri [3]

S.D.N çerçeveler, S.D.Y çerçevelere göre daha gevşek kurallara bağlıdır. Fakat süneklik düzeyi yüksek çerçevelere göre daha güçlü tasarlanmak zorundadır. Yine bağlantılar lineer olmayan şekil değiştirmelerin çapraz elemanda oluşmasını sağlayacak dayanımda olması gerekir. Buna rağmen bağlantı levhası için özel bağlantı detayı veya yapılandırması yoktur. Detaylandırılmamış X tipi çaprazlar narinlik veya kompaktlık sınırları göz önünde bulundurulmadan yönetmeliklerdeki bilgiler hariç tasarlanabilirler. S.D.Y çerçeveler, S.D.N çerçevelerin kötü performansına alternatif olarak 1990'ların ortalarında laboratuar ve depremlerdeki gözlemler sonucu önerilmiştir [3].

2.3.2 Diyagonal Tipi

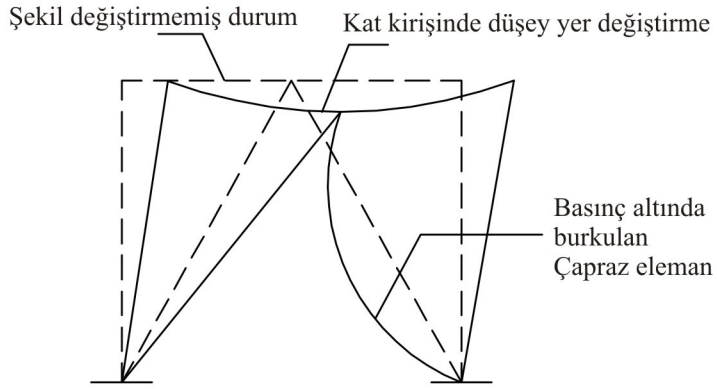
X tipi çaprazlara benzer. Bu tip birleşimin, burkulma sonrası dayanımında azalma olduğu için sismik performansı iyi değildir. Çaprazın zıt yönlü eşi diğer gözde (anti-metrik) kullanılır. Gerekli tasarım şartları X tipi çaprazlara benzer. Ek olarak herhangi bir doğrultudaki yatay kuvvetin %70'ine çekmeye çalışan elemanlar karşı koyacaktır. Bu durum çekme ve basınca çalışan elemanların homojen şekilde dağılmasını sağlar [3].

Diyagonal formunda, çapraz eleman değişen rüzgâr yüklenmesinden oluşan hem çekme hem de basınç eksenel kuvvetine karşı koyabilecek dayanımda olmalıdır. İçi boş kesitler basınç kuvvetine daha dayanıklı olduğundan çapraz eleman olarak kullanılabilir. Çapraz elemanların tasarımında, düşey yükler eksenel kuvvet oluşumunda etkendir ve göz önüne alınmalıdır. Bu tür çapraz elemanlar için basınç dayanımını sınırlayarak kendi ağırlığı altında deformasyonunu önlemek için narinlik oranının $(L / r) \leq 200$ olması tavsiye edilir [2].

Diyagonal tipi çaprazların kullanılmış olduğu çerçevelerin performansı çapraz elemanların sayısına bağlıdır. Eşit sayıda çelik çaprazın kullanıldığı çerçeveler içinde diyagonal tipi her gözde yarı çapraz sayısına sahip olduğu için en az etkilidir. Eğer göz açıklığı 4.5 metreden fazla ise çapraz veya tek kat X tipi çapraz düşünülebilir. Bir yönde ikisi zıt yöne bakacak şekilde tasarlanan diyagonal form, bir yönde tek gözde tasarlanan V veya ters V çapraz tipine göre tercih edilmelidir [5].

2.3.3 V ve Ters V Tipi

V ve ters V tipi çaprazlar ekonomik olmaları ve mimari açıdan pencerelerde ve kapılarda kullanımları kullanışlı olduğundan tercih edilirler. Bu tip çaprazlar yatay olarak yüklendiklerinde elemanın birinde çekme diğerinde basınç oluşur (Şekil 2.4) [3].



Şekil 2.4 V tipi çapraz düzeni için burkulma şekli [3]

Eşit alana sahip çelik eleman kullanıldığında, V tipi çerçeve yanal hareketi önlemede X tipine göre daha etkindir. Bu tip sistemler uzun açıklıklarda, kısa çapraz uzunluğu için tercih edilir. Bu tip çaprazlar eğer bütün çaprazların yönü yukarı doğru ise daha etkilidir [2]. Bu tip mimari geçişlere izin verdiğinden en uygun detaydır [5].

1980'lerin ortasında V ve ters V tipi çerçevelerin arzu edilmeyen davranışları belirlenmiş ve standartlar gözden geçirilmiştir. V ve ters V tipi çerçeveler eşdeğeri X tipi çerçevelere göre daha rijit tasarlanırlar. Nedeni ise bir tür cezadır yani mühendislerin V tipi çerçeveleri kullanmalarını önlemek ve hasarı en aza indirmektir. Fakat bu tür cezalar mühendisleri caydırmaya yetmemiştir [3].

V ve ters V tipi çerçeveler S.D.Y çerçeveler ve S.D.N çerçeveler olarak tasarlanabilir. S.D.Y çerçeve olarak tasarlanması halinde çapraz elemanın tepe noktasındaki kiriş, dengelenmemiş yüke karşı koyabilecek dayanımda olmalıdır. Burkulma sonrası dayanımın, basınç çubuğunun burkulma yükünün %30'una eşit olduğu ve çekme çubuğunun akmaya ulaştığı kabul edilir [3].

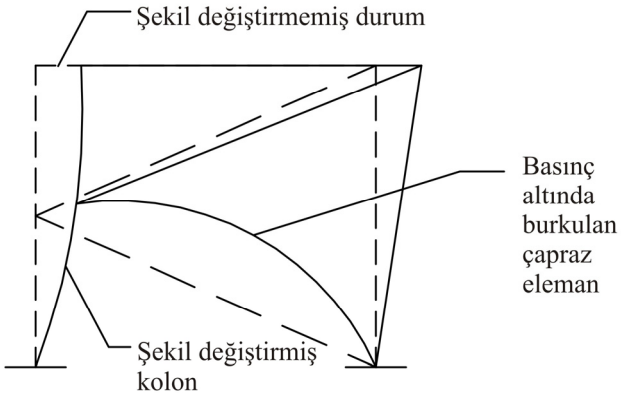
Bu tipin dezavantajı, basınca çalışan çapraz burkulduğunda, çekmeye çalışan çaprazın, kirişi aşağıya çekmesiyle meydana gelen dengelenmemiş yüklemeyi göz önüne alıp tasarlamak gerekir. Diğer çapraz tiplerine kıyasla daha büyük kiriş kesitleri kullanılır. Bundan dolayı bir veya iki katlı X tipi çapraz kullanmanın temel amacı bu durumdur [5].

Eğer V tipi çaprazlar kullanılıyorsa, S.D.Y çerçevelerde kiriş uçları genellikler mafsallı kabul edilir. Dengelenmemiş kuvvetten (Q_b) kaynaklanan eğilme momenti, kirişteki eğilme momentinin büyük kısmını oluşturduğundan, büyük enkesitli kirişlerin kullanılması gerekir. Gerçekte, eğer guse plakalarının, kirişi uçlarda kısmi veya tam tuttuğu gösterilirse uç tutulmasına bağlı olarak daha küçük moment kullanma avantajı ortaya çıkabilir. Mafsallı uçta olması gereken $M = \frac{Q_b L}{4}$ yerine kısmi tutuluysa $M = \frac{Q_b L}{6}$, tam tutuluysa $M = \frac{Q_b L}{8}$ olarak hesaplanabilir. Eğer tasarımcı kiriş uç momentlerinin guse plakası yardımı (kiriş başlığı ile temastaki yüzeyi boyunca) ve kiriş uç birleşimi ile aktarılabileceği gösterilirse kiriş uç tutulma durumu kabul edilebilir [5].

V tipi çaprazlar için minimum çerçeve açıklığı kat yüksekliği 3-4 metre için 6 metre civarında olmalı, çaprazın yatayla yaptığı açı ise 40 - 50° arasında olmalıdır. 50 dereceden daha büyük açıya sahip çaprazları montajı yapılmış kirişler arasına yerleştirmek oldukça zordur. Bu durum guse plakasının yapısı ile de alakalıdır.
Kiriş alt ucunda çaprazların birleştiği yerde, iki plaka arasındaki kaynaklanma problemi nedeniyle, iki ayrı guse plakası yerine tek plaka kullanılması tavsiye edilir [5].

2.3.4 K Tipi

V ve ters V tipi çaprazlara yapısal olarak çok benzer, sadece kiriş yerine yatay olarak birleşimi kolona yapılır. (Şekil 2.5) Bu tip birleşim sismik tasarım açısından pek tercih edilmez çünkü çapraz elemanlardan biri basınç altında burkulurken, çekmeye çalışan elemanın dengelenmemiş kuvveti, kolonda büyük yatay deformasyonlara neden olur. Bu durum kolonun burkulmasına ve yapının göçmesine neden olur. K tipi birleşimin sadece sismik aktivitesi az olan yerlerde uygulanması önerilmiştir [2]. Sismik aktivitesi yüksek yerlerdeki S.D.N çerçevelerde bu tip kesinlikle kullanılmamalıdır. Eğer kullanılacaksa çatılarda ve iki kattan daha yüksek olmayan yapılarda kullanılması sınırlanmıştır [5].



Şekil 2.5 K tipi çaprazın davranışı [3]

2.3.5 İki Katı Geçen X Tipi Çapraz

İki katı geçen X tipi çapraz türündeki yapılarda, düşey ve sismik yükler dikkat gerektirir [5].

2.3.5.1 Düşey Yükler

Bu tip yapılarda çapraz – kolon birleşimlerindeki mesnetlenme koşullarından dolayı çaprazda büyük eksenel kuvvetler meydana gelir. Çapraz kuvvetinin düşey bileşeni, düşey yüklerden dolayı oluşan kolon kısalmasını engellemeye çalışır. Aşağı kotlara indikçe ölü ve hareketli yüklerin toplamı gittikçe arttığı için bu etki artmaya başlar. Ölü ve hareketli yüklerin yatay bileşeni düşük sismik aktiviteye sahip yerlerdeki çok katlı yapılarda rüzgar veya sismik aktiviteden oluşan yatay yükü geçebilir [5].

Çapraz elemandaki eksenel kuvveti göz önüne alma durumu V ve ters V tipi yapılarda her katta aynen tekrarlanır. Düşey bileşen kolonlara, yatay kuvvet kirişlere aktarılır. V tipinin iki çaprazı farklı yönlerde olduklarından kiriş iki kolon arasında çekme çubuğu gibi davranır. Bundan dolayı tek kat V çapraz tipi sadece tek kat seviyesindeki düşey yükleri iletmektedir [5].

2.3.5.2 Yatay Yükler

İki katı geçen X tipi çaprazlı yapılarda, yatay yükler tipik olarak küçük olacaktır. Kat seviyesinde, çapraz elemanların birleştiği yerde, kiriş çekmeye çalışacaktır. Kat seviyesinde iki katı geçen X tipi çaprazlar ile kiriş kolonların kesiştikleri yerde, X çerçeve kirişinde, (muhtemel çekme kuvvetleri haricinde) oldukça düşük eksenel kuvvet bulunacaktır [5].

Eksenel kuvvetin küçük olmasının sebebi; yatay çekme kuvvetlerinin doğrudan çaprazlara aktarılması ve bu kuvvetin çerçeve kirişleri ile diğer kolonlara aktarılması gerekmemektedir. Kiriş uzunluğu boyunca katta boşluk varsa veya yan yana iki gözde iki katı geçen X tipi çaprazda iç kolon çapraz birleşimine kuvvet aktarılması gerekiyorsa bu varsayımın dışındadır. Çaprazla güçlendirilmiş çerçeve lineer olmayan şekil değiştirmelere başladığında kuvvetler yeniden dağılır ve bu çapraz düzenindeki çerçeve kirişlerindeki eksenel kuvvet oldukça artar [5].

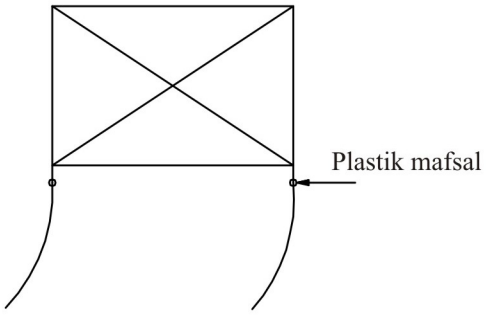
2.3.6 Dikme ile Desteklenmiş Ters V Tipi

Dikme ile desteklenmiş ters V tipi çerçeveler, çok katı V ve ters V tipi çerçevelerin burkulma sonrası davranışına alternatif yaklaşımdır (Şekil 2.2) [3].

V tipi çapraz burkulduğu zaman meydana gelecek dengelenmemiş kuvvetten daha düşük kuvvete göre tasarlanır. Çapraz eleman burkulduğu zaman meydana gelen dengelenmemiş kuvvetin düşey bileşenini bu dikme kolonlarının taşıdığı varsayımı yapılır. Bilinçli olarak ilk kattaki kolona gelen burkulmuş çaprazın dengelenmemiş kuvveti, üst katlardaki döşemelere yine dikme kolonu vasıtasıyla yeniden dağılması nedeniyle ihmal edilmiştir [5].

Tasarımcı, özellikle yüksek katlı yapılarda herhangi bir çaprazlı çerçevede birden fazla çaprazın burkulacağını göz önünde bulundurmalıdır. Mimari sınırlamalar nedeniyle dikme kolonu kullanmak zor olabilir. İlk kattaki V çapraz burkulduğu zaman dikme kolonu desteklemek de ayrı bir sorundur [5].

2.3.7 Yarım Çelik Çaprazlı Çerçeveler



Şekil 2.6 Yarım çelik çaprazlı çerçeve [3]

Bu türde çapraz elemanı bazı katlarda bulunurken diğerlerinde bulunmaz (Şekil 2.6). Bu tür kullanım endüstri yapılarında araç geçişinin olduğu alt katlarda görülür. Bu tür çerçeveler çelik çaprazlı çerçeveden çok moment çerçevesi olarak davranır.

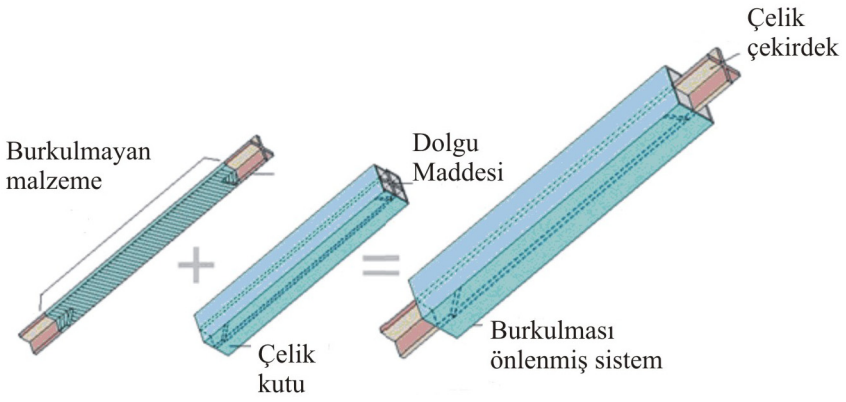
Bu tür yapılarda deformasyonlar ilk olarak güçlendirilmemiş katlardaki kolonun eğilmesinden kaynaklanır ve lineer olmayan şekil değiştirmeler tipik olarak kolonlarda plastik mafsal oluşumu ve kat mekanizması ile meydana gelir. Bu tür göçme istenmez çünkü çaprazlanmamış katta büyük kat ötelemeleri oluşur ve potansiyel olarak ikinci mertebe etkilerinden dolayı stabilite yetersizliği ve göçme oluşur. Bu tür çerçevelere sadece sismik aktivitenin az olduğu bölgelerde izin verilir [3].

2.3.8 Payanda Tipi

Bu tür çerçeve, güçlendirilmiş çerçeveden çok moment çerçevesi gibi karakteristikler taşıyan karma bir sistemdir. (Şekil 2.2) Kolon - kiriş birleşiminin rijitliği, kolon ve kiriş birleşiminin uç bölgelerine kısa çapraz elemanı yerleştirilmesi ile sağlanır. Eğer bu tip yapılar iyi tasarlanırsa moment çerçevelerine benzer performans gösterir. Standartlarda bu tür için tasarım kriterleri ve detaylar verilmemiştir fakat tasarlanabilirler [3].

2.3.9 Burkulması Önlenmiş Sistemler

Bu tür çerçeveler burkulması önlenmiş sistemler olarak bilinir ve Japonya'da geliştirilmiş yeni teknoloji ürünüdür [3].

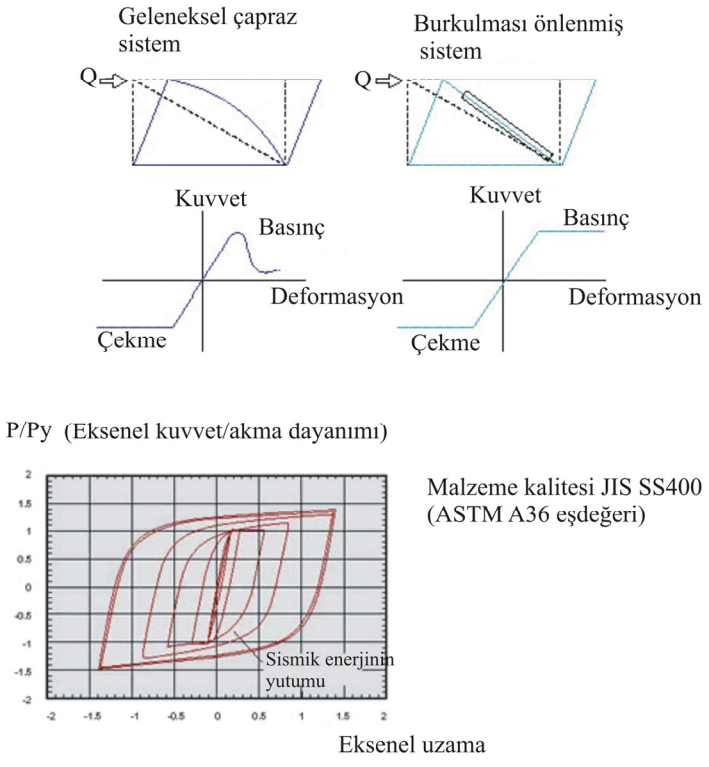


Şekil 2.7 Burkulması önlenmiş sistem bileşenleri [3]

Konfigürasyonları X tipi veya tek elemanlı güçlendirilmiş çerçevelere benzer fakat bu tür özellikle burkulma veya çatlak oluşumu başlamadan çekme ve basınç altında akmaya izin verecek şekilde detaylandırılır. Çapraz elemanı, büyük tüp kesit içinde düz çubuk elemandan oluşur. (Şekil 2.7) İçi Dolgu maddesi ile dolu tüp eleman, asıl yükü taşıyan çubuk elamanın burkulmasını önler. Merkezdeki çelik eleman ile

dolgu maddesi arasında eksenel kuvvetin sadece merkezdeki çelik eleman ile taşınmasını sağlamak için kayma yüzeyi mevcuttur. Bu kayma yüzeyindeki malzeme ve geometrisi düzgün biçimde tasarlanmalı ve inşa edilmeli ki çelik elemanın basınç altında akması sonucu meydana gelen yerel burkulmalar önlendikçe, çelik eleman ve dolgu maddesi arasında, kayma ve poisson etkisinden kaynaklanan rölatif harekete izin vermelidir. Dolgu malzemesi ve çelik tüp eleman, çapraz elemana yeterli eğilme dayanımı ve rijitliğini sağlar ve böylece çapraz eleman rijitlik ve dayanımda azalma olmadan tersinir yüke maruz kalabilir. Dolgu malzemesi ve tüp eleman, çapraz elemanın yerel burkulmasını engellemeye yardımcı olur. Bu tür sistem birçok sismik avantaja sahiptir. Rijit sistemdir, böylece yapı düşük seviyeli yer hareketinde çok küçük deformasyona maruz kalır. (Şekil 2.8) Şiddetli yer hareketinde çekme ve basınca çalışan güçlendirme elemanı akmaya ulaşır ve etkin olarak yapının cevabı azalır [3,6].

Tasarımda dikkat edilmesi gereken önemli hususlardan biri birleşimler, çapraz elemanda akma oluşturabilecek yeterli dayanımda olmalı ve akma, çapraz elemanı boyunca düzgün olarak dağılmalı ve böylece potansiyel olarak çatlağa neden olan büyük gerilme ve süneklik talebi oluşmamalı. Düz çubuk elemanın tüp elemanın duvarlarına değmemesi üniform gerilme elde etme açısından önemlidir [3].



Şekil 2.8 Burkulması önlenmiş ve normal çaprazın yatay yük altındaki davranışı [3]

2.4 Merkezi Çelik Çaprazlı Perdelerde Sismik Tasarım İçin Sünekliğin Önemi

Sismik kuvvetler, ivme kayıtlarının dinamik yapısına bağlıdır. Sismik tasarım yönetmelikleri bu davranışı modellemek için spektrum eğrisini kullanır. Bulunan kuvvetler yapının sünekliğine bağlı olarak azaltılır. Statik kuvvet metodunda bu azaltma R katsayısı ile sağlanır ve bu katsayı yapının sünekliğine bağlı olarak bazen büyük olabilir. Bu azaltma yapılırken, her ne kadar süneklik yapı sistemlerine göre farklılık gösterse de, tasarımcı yapının gereken sünekliği oluşturabilecek yeterlilikte olmasından emin olmalıdır. Ayrıca tasarımcı bu sünekliği sağlayacak eleman ve birleşim detaylarını da tasarlamalıdır [7].

2.4.1 Sünekliğin Belirlenmesi

Yapı sistemlerinin sünekliğini iki ana faktör etkiler. Bunlardan ilki süneklik kritik kesitlerin tersinir yükler altındaki davranışı ile ölçülür. Bu davranış Şekil 2.9'da gösterilen tersinir yük – yer değiştirme (ya da moment - dönme) davranışı gözlenerek belirlenir. Bu eğrilerin eğimi yapının veya birleşimin rijitliğini gösterir. Kapalı alanlar yutulan enerjiyi ifade eder. Bu enerji titreşimin tekrarlı çevrimi nedeniyle büyüktür. Bu kapalı alanlar Şekil 2.10'daki gibi bozuk olur. Ayrıca bu eğriler değişik mukavemet derecelerindeki deformasyonu gösterir. Bu eğrilerin altında kalan alanların büyük olması, dayanımdaki kayıp olmadan enerji sönümünü ve büyük lineer olmayan şekil değiştirmeleri ifade eder. Böyle sistemler yatay yüke karşı dayanıma sahip olan sistemlerdir. Sonuç olarak bu sistemler büyük R ve azaltılmış sismik yüklere göre tasarlanırlar [7].

S.D.Y moment aktaran çerçeveler ve D.M.G çerçeveler büyük plastik deformasyon yapma kapasitesine sahiptir ve eğrilerin altında kalan alanlar büyüktür. Bu sistemler büyük R, azaltılmış sismik yüke göre tasarlanırlar. Bu durum sünek davranış açısından önemlidir ve sismik davranışı iyileştirirler. Potansiyel problemlerin etkilerinin birleşimi, yapının sismik performansını etkilediği için bu etkilere tasarım aşamasında yeterli özen gösterilmelidir [7].

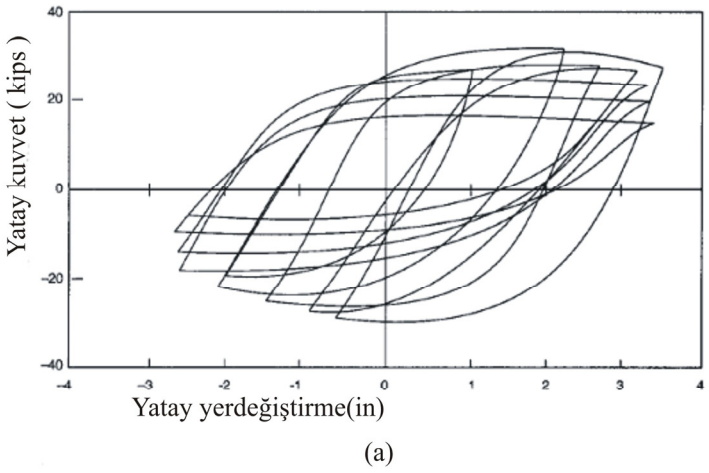
2.4.2 Sismik Performansa Lineer Olmayan Şekil Değiştirmelerin Etkisi

Lineer olmayan şekil değiştirmelerin dağılımı, yapı sistemlerinin sismik performansını etkileyen ikinci etkidir. Bazı yapı sistemlerinde lineer olmayan şekil değiştirmeler küçük bölgelerde toplanır. Bu durum, bu bölgelerin süneklik talebini

belirgin olarak arttırır. Lineer olamayan şekil değiştirmelerin belirli bölgelerde toplanması bazen kötü sismik performansın nedenleri ile alakalıdır. Çünkü burkulma, rijitlik dağılımını ve enerji sönümünü etkiler [7].

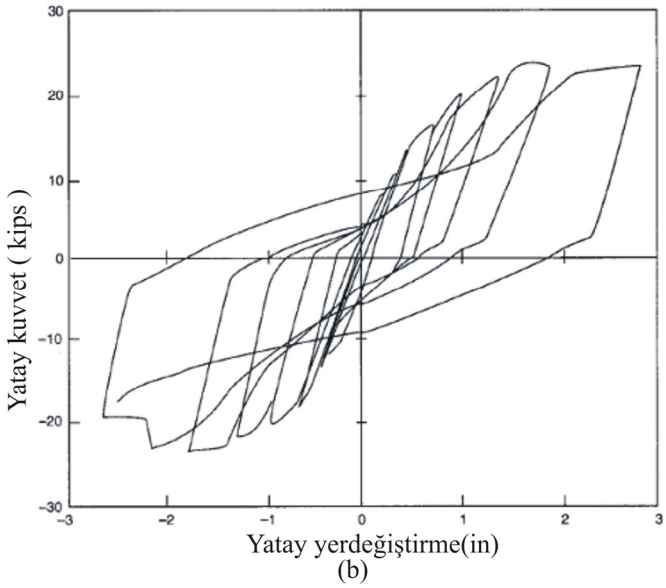
2.5 Merkezi Çelik Çaprazlı Perdelerin Süneklik Özellikleri

Merkezi çelik çaprazlı perdeler, moment aktaran çerçevelere göre aynı miktar çelik için daha fazla dayanım ve rijitliğe sahiptir. Birçok farklı (Şekil 2.2) çerçeve formu mevcuttur ve bu formlar farklı performansa sahiptir. Merkezi çelik çaprazlı perdelerde, rijitliği oluşturan çapraz elemanlar deprem sırasında çok büyük basınç ve çekme kuvvetine maruz kalır. Sonuçta eksenel basınçtan dolayı burkulma, çerçeve davranışında etkendir. Genellikle kötü tersinir yük - deformasyon (Şekil 2.10) davranışı görülür ve bu davranış sonucu göçme biraz kötüdür. Şekil 2.9, Şekil 2.10, Şekil 2.11 'de moment aktaran, merkezi ve dış merkez çelik çaprazlı çerçevelerin tersinir yük altındaki davranışı sırası ile görülmektedir. Merkezi çelik çaprazlı perdelerler rijit, güçlü fakat sünekliği az olarak kabul edilen moment aktaran çelik çerçevelerdir. Son yıllardaki araştırmalara göre, merkezi çelik çaprazlı perdelerin tasarımı iyi yapılır, çaprazın seçimi ve çapraz elemanı birleşimine yeterince özen gösterilirse, göçme olmadan oldukça büyük miktarda lineer olmayan şekil değiştirme kabiliyetine sahip olduğu gösterilmiştir. Yüksek süneklik ve düşük sismik kuvvete göre tasarlanan merkezi çelik çaprazlı perdelere, süneklik düzeyi yüksek çerçeveler denir [7].

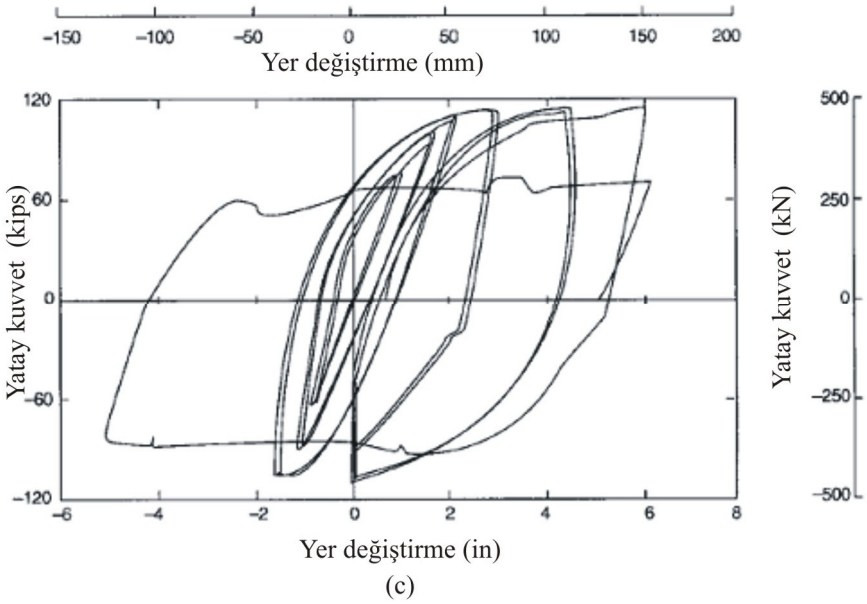


(a)

Şekil 2.9 Moment aktaran çerçevelerin tersinir yük altındaki davranışı [7]



Şekil 2.10 Merkezi çerçevelerin tersinir yük altındaki davranışı [7]



Şekil 2.11 Dış merkez çerçevelerin tersinir yük altındaki davranışı [7]

2.6 Merkezi Çelik Çaprazlı Perdelerde Eleman ve Birleşimin Tasarımı

2.6.1 Çapraz Elemanın Seçimi

Yatay yük aktaran sitemin rijitlik ve dayanım gereksinimlerine göre uygun kesitler belirlenir. Boru, I profil, tek veya çok parçalı korniyer seçilebilecek kesitlerdir [5].

Projenin tipi, üreticinin kapasitesi, şantiyedeki montaj teknikleri bu seçimleri yaparken göz önünde bulundurulmalıdır. Örneğin çok büyük bir projede üretici

geniş başlıklı profil seçerek yapının geri kalanında kullanılan kesitlere benzer kesit seçmek isteyebilir. Ayrıca şantiyede bulonlu birleşimler tercih edilebilir. Aşağıdaki değişik kesitler için verilen birçok faktör, eldeki şartları sağlayan kesitler arasında seçimi gerektir [5].

2.6.1.1 Kutu Kesit

Avantajları:
- Mimari açıdan estetiktir,
- Korniyerden daha yüksek akma dayanımına sahiptir,
- Kolon başlığı ile uyumludur,

Dezavantajları:
- b/t sınırlamasından dolayı sınırlı eleman seçim olanağı,
- Genellikle kaynaklı birleşim yapılır,
- Geniş başlıklı profiller ile kıyaslandığında soğukta şekil vermeden dolayı dış çeperlerde biriken gerilme yığılmasından dolayı düşük tekrarlı yorulma dayanımına sahiptir,

Diğer:
- Yüksek maliyetlere sahiptir fakat montaj maliyetleri düşünüldüğünde bunu amorti eder,
- Net alan takviye plakasına ihtiyaç gerekebilir,

2.6.1.2 Boru Kesit

Avantajları:
- Mimari açıdan estetiktir,

Dezavantajları:
- Uçlarda bulon deliği açmak zordur ve bu delikler birbirine göre rölatif olarak dönemez,
- Genellikle kaynaklı birleşim yapılır,

Diğer:
- Tipik olarak bütün kesitler kullanılabilir,
- Geleneksel borular dairesel enkesitler için verilen şartları sağlar,
- Net alan takviye plakasına ihtiyaç gerekebilir,

2.6.1.3 Geniş Başlıklı Kesit

Avantajları:

- Bir çok kesit mevcuttur,
- Mimari açıdan estetiktir,
- Korniyerlerden daha fazla dayanıma sahiptir,
- Daha fazla kapasiteye sahiptir,

Dezavantajları

- Enkesite tam bağlı birleşimler karmaşık olabilir,
- Genellikle bulonlu birleşim yapılır,

Diğer

- Bulonlu birleşimler net alan takviye plakasına ihtiyaç gerekebilir,

2.6.1.4 Tek Korniyer Kesit

Avantajları

- Düşük yükleri taşır,
- Montajı kolaydır,
- Yaygındır,

Dezavantajları

- Sınırlı eleman tipi,
- Düşük atalet yarıçapına sahiptir,

Diğer

- Bulonlu ve kaynaklı birleşimler yırtılmayı engellemek için net alan takviye plakasına ihtiyaç gerekebilir,

2.6.1.5 Çok Parçalı Korniyer Kesit

Avantajları

- Orta seviyedeki yükleri taşır,
- Yaygındır,

Dezavantajları

- Sınırlı eleman tipi,
- Düşük atalet yarıçapına sahiptir,
- Montajı pahalıdır,

Diğer

- Bulonlu ve kaynaklı birleşimler yırtılmayı engellemek için net alan takviye plakasına ihtiyaç gerekebilir. Küçük projelerde enkesit seçimi kısıtlı olması nedeniyle montajdaki uyum sorunu ve üretim detay resimleri sorunu şantiye kaynaklı birleşimler ile boru ve kutu kesitlerde aşılabilir [5].

2.6.2 Çapraz Elemanda Düşük Tekrarlı Yorulma Dayanımı

Çelik elemanların üretiminde kullanılan teknikler, çapraz elemanın düşük çevrimsel yorulma göçmesi davranışını etkiler. Deprem sırasında bina, deprem kuvvetinin şiddeti ve süresine bağlı olarak birçok tersinir yüklemeye maruz kalır, deprem bitiminde binadaki yatay yer değiştirme de sıfıra geri döner. Tasarımcı proje bazında çapraz elemanda düşük çevrimsel göçme analizinin gerekli olup olmadığına karar vermelidir. Şu an yürürlükte olan yönetmelikler, herhangi bir can güvenliği performans seviyesine sahip, hayatı boyunca birkaç kez depreme maruz kalacak yapılar için düşük çevrimsel yorulma analizi yapmayı istememektedir. Eğer performansa dayalı tasarım yapılıyorsa ve hemen kullanım performans seviyesi kullanılıyorsa bu göçme analizi yapılmalıdır [5].

Kutu kesitler, tersinir yük altında çelik akma ve lineer olmayan şekil değiştirmeler seviyesine kadar yapılan testlerde kötü performans göstermişlerdir. Bunun nedeni, çeliğe kutu kesit şekli verebilmek için uygulanan soğukta şekil verme işleminin dış duvarlarının köşelerinin gevrekleşmesini ve ilk kırılmanın buralarda oluşmasını sağlar. Dairesel kesitler ise daha az soğuk şekil verme işlemine maruz kaldığı için daha iyi performans gösterirler [5].

Geniş başlıklı enkesitler ve korniyerler daha az soğuk şekil verme işlemine tabi tutuldukları için daha iyi performans gösterir. Geniş başlıklı profiller düşük çevrimsel yorulma dayanımı ve kırılma açısından kutu ve daire kesitlere göre daha güvenilir kesitlerdir [5].

2.6.3 KL/r Oranının Tasarıma Etkisi

Lee ve Bruneau (2002) çapraz elemanların basınç altındaki davranışını belirlemek, tersinir yükler altında basınç kuvvetindeki azalmayı ve dolaylı olarak çapraz elamanların etkinliğini ve sismik performansa katkılarını belirlemek için geçmişte yapılmış deney verilerini gözden geçirmiştir [8].

X tipi çaprazlardan oluşan tek katlı, tek göz yapının lineer olmayan dinamik analizi değişik R ve KL/r değerleri için yapılmış ve bu parametrelerin enerji sönümüne olan katkıları gözlenmiştir. Bu lineer olmayan çalışmadan elde edilen enerji, deneysel olarak elde edilen kapasite ve diğer çalışmalardan elde edilen sonuçlar kıyaslanmıştır [8].

Bazı tasarım parametrelerinin hassasiyeti ve merkezi çelik çaprazlı perdelerin sismik cevabını daha iyi anlamak için tek katlı yapının cevabı birkaç ilave durum çalışması ile araştırılmış ve cevaptaki eğilim belirlenmiştir. X tipi çapraz yapısına sahip ve değişik R ve KL / r için tasarlanmış yapının lineer olmayan analiz sonuçları ve deneysel veriler arasında korelasyonlar oluşturulmuştur. Normalize edilmiş kümülatif tersinir enerjinin, etkili narinlik oranı KL/r ve yapı davranış katsayısı (R) üzerine etkisine ilişkin gözlemler yapılmıştır [8].

Her ne kadar büyük R değerine göre tasarlanan elemanların yüksek süneklik talepleri sayesinde daha çok lineer olmayan şekil değiştirmeler nedeniyle enerji yutması beklense de analiz sonuçlarına göre bu sünek çapraz elemanların, elastik burkulmadan sonraki büyük dayanım azalması ve göreceli olarak daha küçük basınç dayanımı nedeniyle daha az normalize kümülatif basınç enerjisi talebine sahiptir [8].

Analiz sonuçları ve deneysel çalışmalara göre bir çok durumda narin çapraz elemanlar yüksek süneklik talebine sahiptir fakat basınç altında daha az kümülatif enerji talebine sahiptir [8].

Çapraz elemanlar sismik tasarım için KL / r ve b / t için sınır şartlarını sağlayacak şekilde tasarlanır ve AISC LRFD şartnamesine göre tasarlanan kesitlerden daha büyük kesitler ortaya çıkar. Sonuçta ortaya çıkan büyük kesitler bazı durumlarda bütün deprem boyunca elastik davranır ve özel sünek tasarım detayları ile ilgili bir paradoks ortaya çıkarmaktadır [8].

Yine Lee ve Bruneau (2005) merkezi güçlendirilmiş çelik çaprazlı perdelerin basınca çalışan elemanlarının enerji yutma yeteneklerini daha önceden yapılmış deney ve testlerin sonuçlarını inceleyerek genellemelere ulaşmıştır [9] ve bulunan bazı sonuçlar şöyledir:

1) Düşük efektif narinlik oranı (KL / r) ve düşük genişlik kalınlık oranı (yani düşük yerel burkulma oranı) (b / t), üstün sismik performansa sahiptir. Buradaki

felsefe düşük KL / r çaprazların basınçta enerji yutumuna daha çok katkıda bulunacağıdır. Burkulma sırasında basınç elemanında eğilme meydana gelir ve çapraz elemanın uzunluğunun ortasında plastik mafsal oluşur.(örneğin: maksimum momentin olduğu yerde). Bu plastik mafsalın oluşumu deprem sırasında enerji yutar.

2) Ayrıca standartlardaki düşük b / t sınırının sebeplerinden biri de yerel burkulmadan dolayı gevrek kırılmayı önlemektir.

3) Tekrarlı deprem etkisi malzemenin yerel burkulma noktasında tekrarlı burkulma ve düzelmesine ve buradaki yüksek gerilme ise düşük çevrimli yorulmaya neden olur

4) 1994 Northridge sonrası moment çerçeveleriyle ilgili birçok araştırma yapılmasına rağmen merkezi çelik çaprazlı perdeler ile birkaç araştırma yapılıp standartlarda verilenlere güvenilmesi doğru değildir [9].

2.6.4 Çapraz Elemanı Tasarımı

Basınç etkisi altındaki eleman burkuluncaya kadar, S.D.N ve S.D.Y çerçevelerin performansları açısından bir fark yoktur. Bu iki tip arasındaki fark çapraz elemandaki kısıtlamalar ve birleşimin detayından kaynaklanır [5].

S.D.N çerçevelerde çapraz eleman üzerinde burkulma kısıtlaması vardır ve S.D.Y çerçeveler gibi sünek detaylara sahip değildir ve bu yüzden kısıtlamalar (K L /r) narinlik sınırı üzerindedir [5].

S.D.Y çerçeveler çapraz elamanın burkulmasına izin verir ve S.D.N çerçevelere göre daha sünek sistemlerdir ve yönetmelikler S.D.N çerçeveler kadar çapraz narinlik oranı sınırlamasında çok sınırlayıcı değildir. Çaprazda burkulmaya izin verildiğinden S.D.Y çerçevelerde kritik burkulma yükü azaltılmaz. Düzlem içi veya düzlem dışı burkulma davranışından seçilen burkulma yönüne göre özel guse plakası detayı tasarlanır. Yapma profiller kullanıldığında bağ levhaları için verilen l / r değeri S.D.N çerçevelere göre daha kısıtlayıcıdır. Eğer S.D.Y çerçevelerde çapraz elemanın bağ levhalarında kaymaya yol açmadan burkulduğu gösterilebiliyorsa l / r değeri her iki tip içinde aynıdır [5].

2.6.5 Çapraz Elemanı Birleşimi

S.D.N ve S.D.Y çerçevelerin birleşiminin tasarımında aşağıdaki şartlardan en küçüğünü sağlamalıdır:

- Çaprazın eksenel kuvvet kapasitesi,
- Arttırılmış deprem etkilerinden çaprazda meydana gelen kuvvet. (Ω_0)
- Yatay yüke karşı koyan sistem tarafından çapraz elemana aktarılabilecek maksimum kuvvet.

Ayrıca çapraz birleşimini tasarlarken, net alanın tüm alana oranı ve çekme kuvvetinden kaynaklı yırtılma etkileri de yönetmeliklerce kontrol edilmesi önerilmektedir [5].

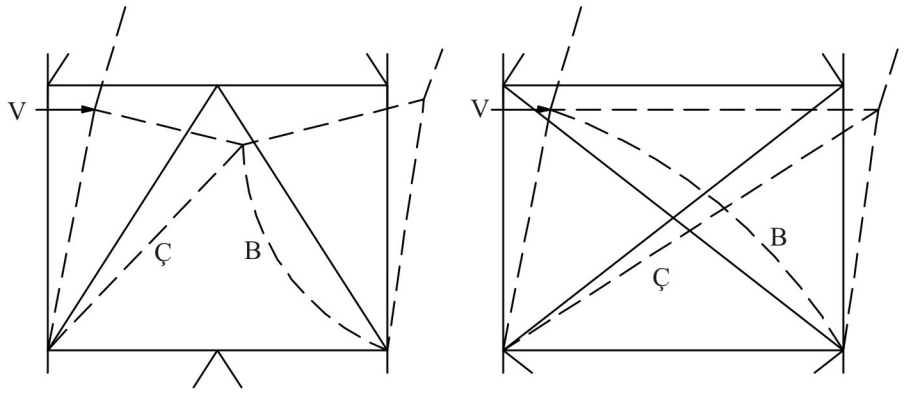
2.6.6 Çapraz Elemanın Burkulma Şekli

Çapraz elemanın performansı, tahmin edilen burkulma şekline bağlıdır. Düzlem içi veya dışı biçiminde olan bu şekil birleşimin detayını da etkiler. S.D.Y çerçevelerde, birleşimlerde sünekliği garanti ederken, S.D.N çerçevelerde, bu durum söz konusu değildir. S.D.N çerçeveler, çapraz elemanın burkulmasını ertelemek için büyük kuvvetlere göre tasarlanırlar fakat S.D.N çerçevelerin birleşimleri için süneklik talebini azaltırlar. Eğer deprem yükü, çaprazın burkulmasına yol açabilecek kadar büyükse, S.D.N çerçevelerin birleşimleri, süneklikten ve çapraz eğilme momentine karşı koyabilecek dayanımdan yoksun olduğu için özellikle düzlem dışı burkulma durumunda birleşimin göçmesine neden olur. Sismik aktivitesi yüksek bölgelerde S.D.N çerçevelerin kullanılmasına izin verilmemesinin sebebi budur [5].

Düzlem içi burkulma şekli, düzlem dışı burkulma şekline göre çerçeve düzlem içinde deformasyona uğradığında çaprazlar tarafından daha fazla enerji yutulmasını sağlar. Bunun nedeni çerçeve düzlem içine burkulduğunda, çerçeve guse plakasının güçlü ekseni etrafında burkulur. Bu durum plastik mafsalın guse plakasının hemen bitiminde, çapraz elemanda oluşmasını sağlar. Bu plastik mafsalın oluşumu çerçevenin enerji yutumuna önemli ölçüde katkıda bulunur [5].

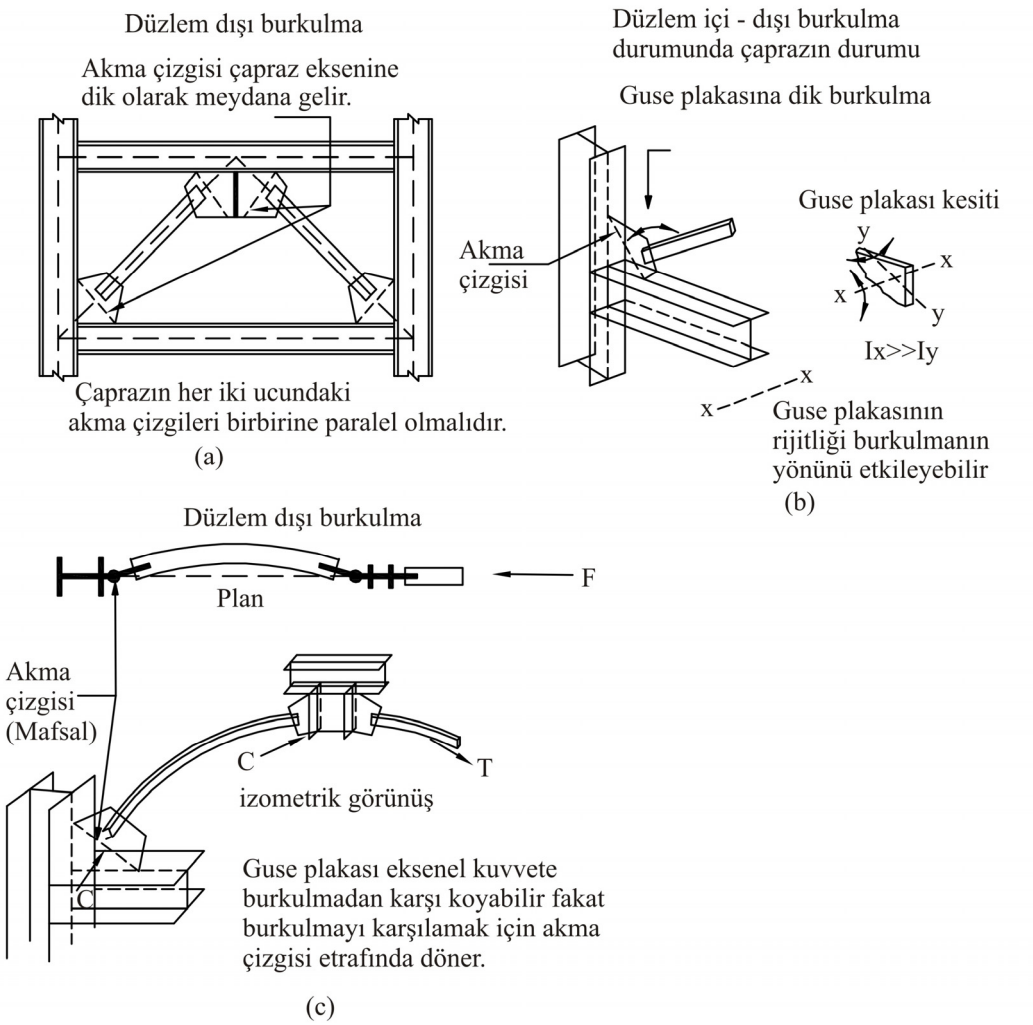
Çapraz eleman, düzlem dışına burkuluyorsa guse plakası zayıf ekseninde eğilmeye çalışır ve plastik mafsal guse plakasında oluşur. Bu şekilde burkulma düzlem içindeki rijitiği önemli ölçüde azaltır ve mafsalın çaprazda oluşma durumundan daha az enerji yutar [5].

V veya ters V çapraz tiplerde burkulmanın oluştuğu eksenden farklı olarak, çapraz eleman burkulduğu zaman, bağlı olduğu kirişte aşağı sehim oluşur (Şekil 2.12) ve bu deformasyon döşeme sisteminde önemli hasara yol açar. Tek kat X tipi çaprazlarda bu tip hasar gözükmez [5].



Şekil 2.12 V ve X tipi çerçevelerin yatay yük altındaki burkulma davranışı [5]

Tercih olarak çapraz elemanların düzlem içine burkulma şeklinde tasarlanması tercih edilmelidir. Bunun nedeni yapıda oluşacak hasarları azaltmaktır. (kaplama, bölme duvar, perde duvar) Eğer çapraz düzlem dışına burkulursa, çaprazın orta noktasında çapraza dik olarak meydana gelen yatay yer değiştirme oldukça fazladır. Çapraz burkulmasından kaynaklı yer değiştirme çapraz uzunluğu 2.5-5 metreye artarken, sırasıyla 25 -50 santimetreye kadar değişiklik gösterir.(Şekil 2.13) Çapraz açıklığı arttıkça, çaprazın burkulmasından dolayı meydana gelen yer değiştirme artar. Bu yer değiştirme de daha önce bahsedildiği gibi yapıda hasara yol açar. Tek kat X tipi çaprazlarda çekme altındaki çapraz basınç altındaki çaprazın burkulma yer değiştirmesini kısıtladığı için daha az düzlem dışı yer değiştirme yapar [5].



Şekil 2.13 Çaprazın burkulması şekli [5]

Eğer çapraz eleman düzlem dışına burkulacak şekilde tasarlandıysa guse akma çizgisi her iki uçta çapraza 90^o dik olarak oluşur (Şekil 2.13) [5].

2.6.7 Çaprazların Kiriş ve Kolonlar ile Birleşim Detaylarının Tasarlanması ve Dikkat Edilecek Hususlar

S.D.Y.M.Ç.Ç.P.'de çapraz birleşimlerinin, binada zayıf noktalar olmasına izin verilmez. Bu noktaların, enkesit akma mekanizmalarında kırılmayacak yeterli dayanıma sahip olması gerekir. Gerekli birleşim dayanımı, çaprazın beklenen akma dayanımı veya analiz sonucu sistem tarafından çapraza aktarılan en büyük kuvvete göre belirlenir [10].

Çaprazların, basınç altında olduğu kadar çekme altında da lineer olmayan şekil değiştirmelere maruz kalması beklenir ve çapraz birleşimleri burkulmaya karşı yeterli dayanıma sahip olmalıdır. Çapraz burkulması sonucunda bir tanesi ortada, diğerleri çaprazın uç noktalarında, üç adet mafsal oluşur. Birleşim, çapraz

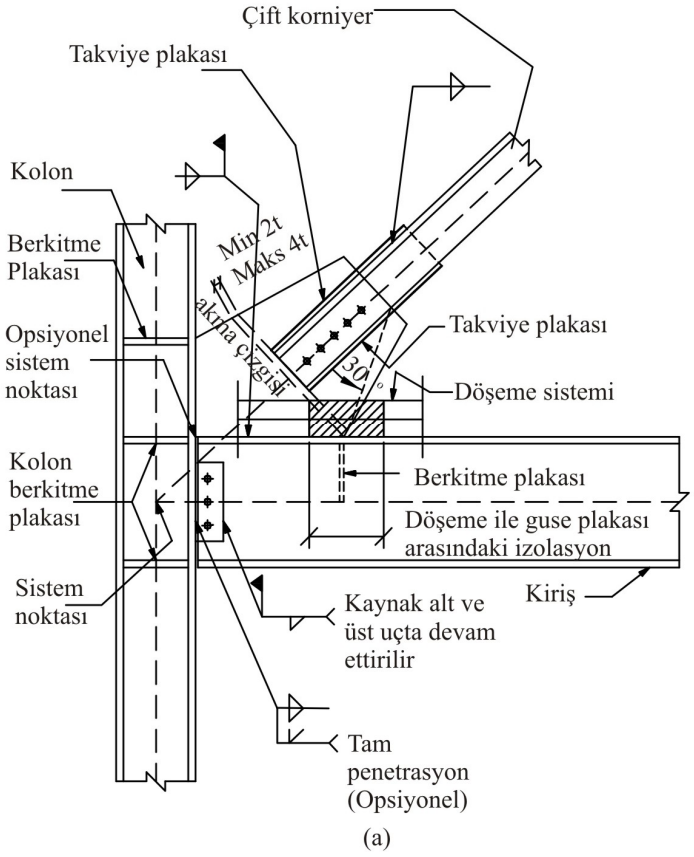
burkulmasına iki türlü cevap verebilir: çaprazın eğilme dayanımını beklenenden aşırı olduğu zaman eğilme dayanımı sağlar ve böylece uç plastik mafsalların birleşimden öteleyerek çaprazda oluşmasını sağlar veya çapraz burkulmasından dolayı oluşan dönme talebi, yeterli dönme sünekliği yaratır ve uç plastik mafsalların birleşimde oluşmasına izin verir. Tasarımcılar ikinci yaklaşımı daha basit ve uygun bulurlar. AISC 340-05 bu sünekliği oluşturmayı **Astaneh** tarafından**(1985)** yılında yapılan bir araştırma ile bir metot önerir. Guse levhasının kısa kenarını mesnet çizgisinin (kolon ve kirişe kaynaklandığı yer) ötesine uzatma ile çapraz guse levhası bölgesine girmez ve böylece plaka çapraz burkulduğunda mafsal oluşturmak için serbest kalmış olur. Mafsal çapraz eksenine dik olarak oluşmalıdır. Bundan dolayı mesnetin baskın köşesi, kolon veya kiriş başlığındaki guse köşesi (veya döşemenin üstündeki guse kenarı) olarak tanımlanabilir. Bu şekilde oluşan mafsal, plakanın eksenel eğilme dayanımdan büyük olan momentlerde birleşimi rahatlatır [10].

Tasarım yüklerini arttırmak ve sünek tasarım gerekleri alışılandan daha büyük guse levhalarına neden olur. Bu büyük plakalar pahalı olabilir veya binadaki diğer sistemler ile çakışabilir. Ek olarak sünek tasarım kuralları, birbirine bağlı birçok boyutsal gereksinimlerden oluşur ve geometrideki küçük bir değişiklik, guse levhasında büyük değişikliğe yol açabilir [10].

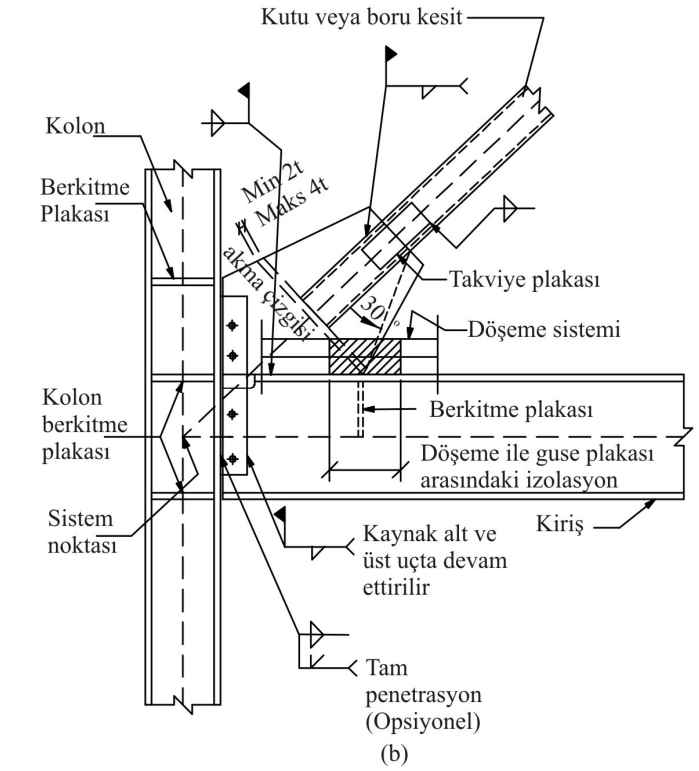
Bütün bu sebeplerden dolayı, guse plakasını mümkün olduğunca küçük tasarlamak avantajlıdır. S355 malzeme kalitesinde plaka kullanmak daha küçük boyutlar verecektir. Kuvvet Dağıtım Metodu kullanılırsa, guse levhaları moment oluşmadan eksenel ve kesme kuvveti birleşenleri ile yükü iletebilecek şekilde tasarlanabilirler. Böylece kuvvet en küçük boyuttaki plakadan iletilebilir. Her ne kadar levha kalınlığı arttırılarak boyutu küçülse de bu seferde çerçeve elemanlarının ince gövde kalınlıkları, konsantre yüke karşı koymada kısıtlayıcı olabilir ve rijitlik plakaları veya süreklilik-rijitlik plakaları ekonomik çözüm olabilir [10].

En önemli nokta, eğer çapraz elemanın burkulmasına yetecek kadar büyük basınç kuvveti mevcutsa, çapraz eleman ve birleşim, ortada ve iki uçta plastik mafsal oluşacak şekilde tasarımı yapılmalı ve detaylandırılmalıdır. Uç birleşimler, guse plakasında veya çapraz elamanın kendisinde eğilme meydana gelecek şekilde detaylandırılmalıdır. Eğer mafsal çaprazda oluşuyorsa, uç birleşimler kuvvet tekrarında sünek mafsalın çaprazda oluşmasını sağlayacak yeterlilikte güçlü olmalıdır [5].

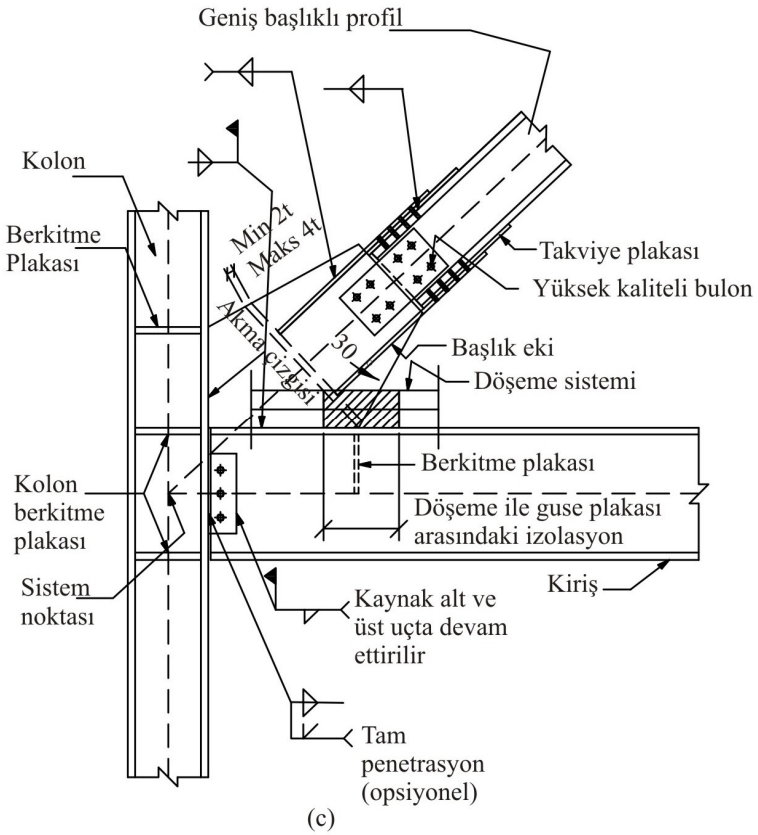
Şekil 2.14, Şekil 2.15, Şekil 2.16 ve Şekil B.1 düzlem dışı burkulmada plastik mafsalı guse plakasında oluşması için örnektir. Şekil 2.17 ve Şekil B.2'de ise mafsal çapraz elemanın kendisinde oluşur. Ayrıca Şekil 2.14 sistem noktasının kiriş kolon çapraz akslarının kesişimin de oluşmasına örnektir. Opsiyonel olarak sistem noktasının guse köşesinde oluşmasına bu örnekte görülmektedir. Bu durum daha küçük guse plakası oluşmasına neden olur fakat kolon – kirişte göz önüne alınması gereken moment meydana getirir. Kolon – guse veya kiriş – guse yüzeyinde meydana gelen bu kuvvet ve momentler Kuvvet Dağıtım Metodu kullanılarak bulunabilir [5].



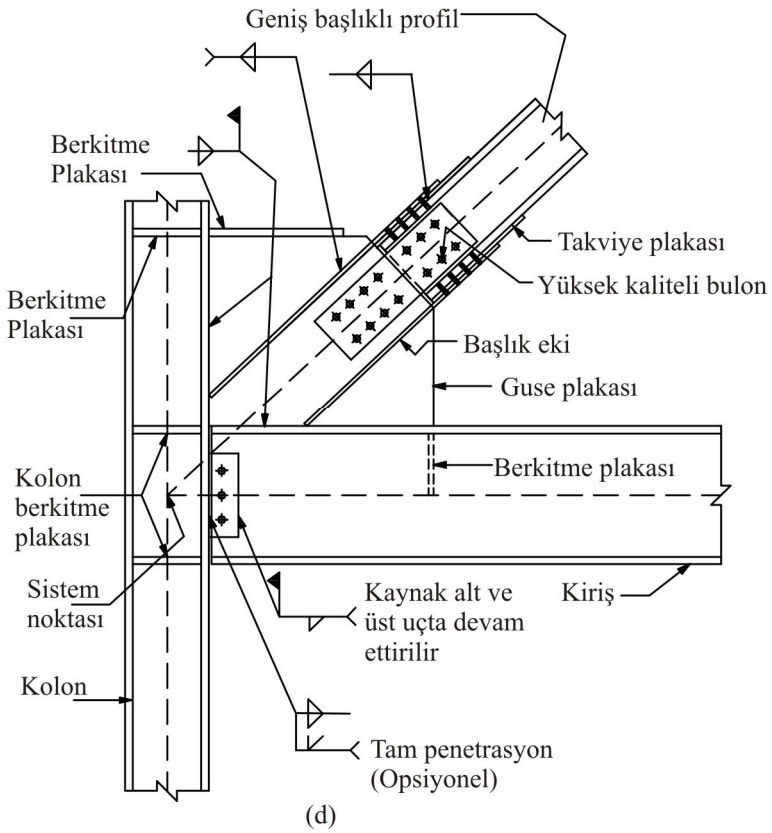
Şekil 2.14 Çift korniyerli detay örneği [5]



2.15 Kutu veya boru kesit birleşim detayına örnek [5]



2.16 Geniş başlıklı profil birleşim detayına örnek [5]



2.17 Geniş başlıklı profil birleşim detayına örnek [5]

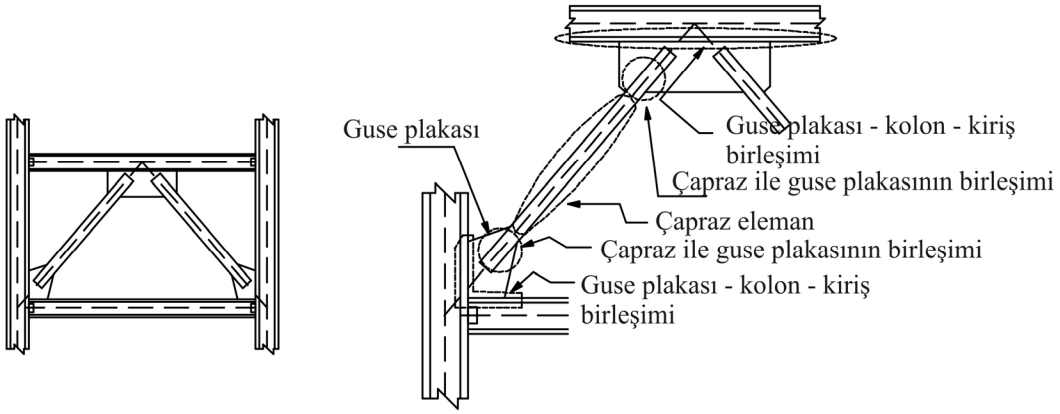
Şekil B.3 ve B.4 tek kat X tipi çapraz birleşimine örnektir. Burada güçlendirme plakası gösterilmemiştir ama gerekebilir ve 2t mesafe bırakma kuralı sürekli ve bölünmüş çapraz elemanları için burada da geçerlidir [5].

Çapraz birleşiminin şekli, malzeme dayanımı ve yönetmelik gereksinimi gibi birçok faktörden etkilenir. Birleşimin burkulma davranışı döşeme sistemi ve temel bağlantısından etkilenir. Betonarme döşemenin sınırları ihmal edilemez [5].

Guse levhaları etkiyen yükü aktaracak yeterli dayanıma sahip olmalıdır. Çapraz eleman düzlem dışına burkulması durumunda, guse plakası çaprazın uç dönme talebini karşılayacak yeterli sünekliğe sahip olmalıdır. Guse plakasının kırılması dayanım ve rijitlikte önemli ölçüde azalmaya neden olur. Bu azalma istenmeyen ve gevrek performansa neden olur. Bundan dolayı gevrek davranışı önlemek için kırılma göçmesi değil de akma göçmesinin guse plakası birleşiminde baskın göçme davranışı olması istenir [11].

Guse plakaları dahi birçok birleşimin sismik tasarımında göçme modu (limit durumu) ilk olarak belirlenir. Daha sonra göçme modu hiyerarşik düzende ayarlanır: akma, gevrek kırılmadan ve en az istenen göçme modu kırılmadan önce

oluşması istenir. Hiyerarşik sıra kavramı geçmişte kayma ve bulonlu moment aktaran birleşimlerde başarıyla uygulanmıştır [11].



Şekil 2.18 Çapraz elemanda muhtemel hasar bölgeleri [11]

Deprem sırasında çapraz eleman ve bazen guse plakası akma, burkulma ve diğer göçme durumlarından etkilenen en etkin elemanlardır. Şekil 2.18 incelendiğinde dört önemli bölge öne çıkar:

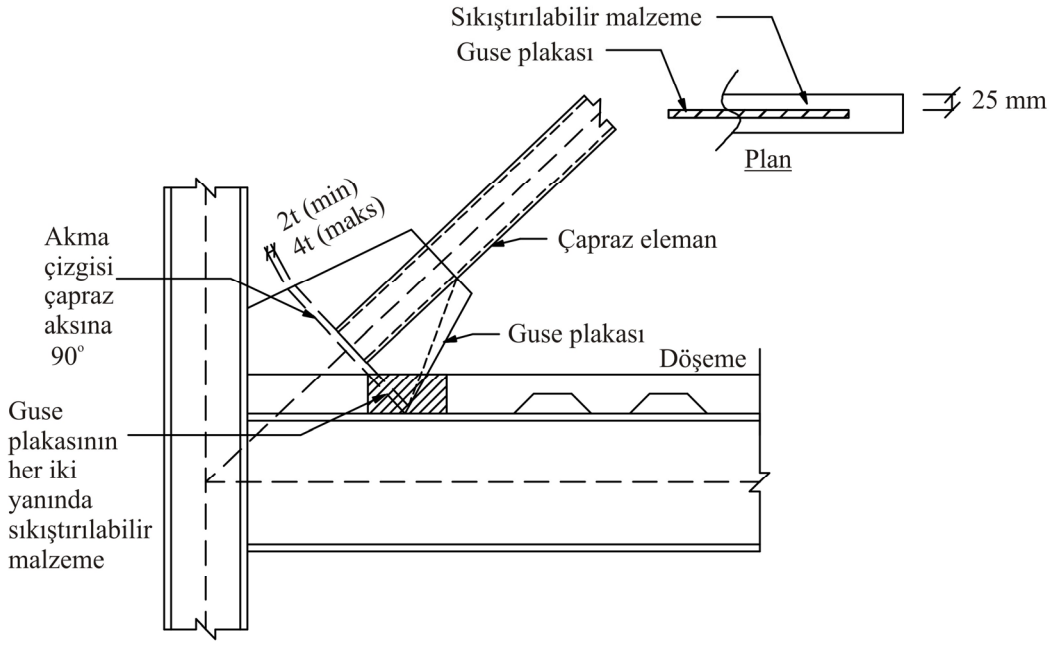
1. Çapraz eleman
2. Çapraz elemanın guse plakasına bağlantısı
3. Guse plakası
4. Guse plakasının kiriş ve kolonlara bağlantısı

Bu dört bölgenin kendine özgü göçme modu vardır.

İstenen ve sünek bir performans için bu dört bölgenin gevrek veya kırılma değil de akma gibi sünek göçme modunda göçmesi istenir. Bu dört bölge, zincirin halkaları gibidir ve deprem sırasında bu halkalardan en zayıf olanının çekme altında akması ve basınç altında burkulması beklenir. Çaprazlı çerçevenin tümsel sünekliğini arttırmak için bu dört bölgenin akma dayanımları hiyerarşik sırada olmalıdır. Şekil 2.19'da gösterildiği baskın göçme modu akma olmalıdır. Çapraz elemanın akması büyük eksenel plastik deformasyonlara ve sonuçta çerçevede büyük sünekliğe neden olur. İlk olarak çapraz elemanın akması ile başlayan sıra bağlantı plakası ve birleşim elemanlarının akması ile devam eder. Guse plakasını mesnetlerine (kolon ve kiriş) bağlayan sistemin rölatif olarak kısa elemanlarının akması fazla tümsel süneklik sağlamaz. Eğer Şekil 2.19'daki sıra takip edilerek tasarım yapılırsa elemanların gevrek kırılması önlenir ve istenen sünek davranış ortaya çıkar [11].



Şekil 2.19 Birleşim ve elemanlardan beklenen akma dayanımı sırası [11]



Şekil 2.20 Düzlem dışı burkulma için guse plakası detayı [5]

2.6.8 Guse Plakasının Düzlem Dışı Burkulması İçin Tasarım

Guse plakası, döşeme sisteminden ahşap şim elemanı, stafom, veya diğer malzemeler ile her iki tarafından betonarme sertleşmeden temizlenmesi ile izole edilebilir. (Şekil 2.20) Bu izolasyonun amacı, akma çizgisinin ötelenmesini önlemektir. Aradaki boşluk elastik veya yangına dayanıklı malzemeler ile doldurulabilir. Guse plakasının uzunluğu Whitmore kesiti kullanılarak belirlenir [5].

Döşemenin kalınlığına eşit rijitlik plakaları guse plakasının her iki yanına kaynaklanabilir. Bu durum düzlem dışı burkulmanın başlangıç noktası olan tutulma noktasını döşemenin üst kotuna öteler. Bu rijitlik plakaları eğer guse serbest uzunluğu rijitlik plakası gerektirmiyorsa zorunlu değildir sadece akma çizgisinin döşemenin alt veya üst ucunda başlamasını etkiler ve tasarımcının akma çizgisinin nerede oluşacağını bilmesine yardım eder [5].

Burkulma çizgisi çaprazın eksenine dik oluşur ve çapraz eleman bu çizgiden guse plakasının kalınlığının iki katı (2t) kadar mesafede sonlandırılmalıdır. Bu nedenle

çerçevenin açıklık ve yapısı guse plakasının şeklini etkiler. Ayrıca resimlerde ekstradan detaylar verilmesi gerekebilir. Bu yüzden çerçevenin düzlem içine burkulması seçilmelidir ve tasarımcı her gözde aynı guse plakasını kullanmalıdır [5].

2.6.9 Guse Plakasının Düzlem İçi Burkulması İçin Tasarım

Betonarme döşeme, guse plakasının döşeme kotunun altında burkulmasına engel olur. Mantıklı olarak guse plakası burkulma boyu Whitmore kesitine göre, kiriş üst kotundan ölçülmeye başlanmalıdır. Döşeme ve guse levhasının birleşimine özel bir detay gerekmez [5].

Guse plakasını detaylandırırken, döşeme kalınlığının küçük olduğu için ihmal edilmesi önerilir. Tasarımcı, burkulma boyunu azaltmak için döşemenin rijitleştirici etkisini kullanabilir [5].

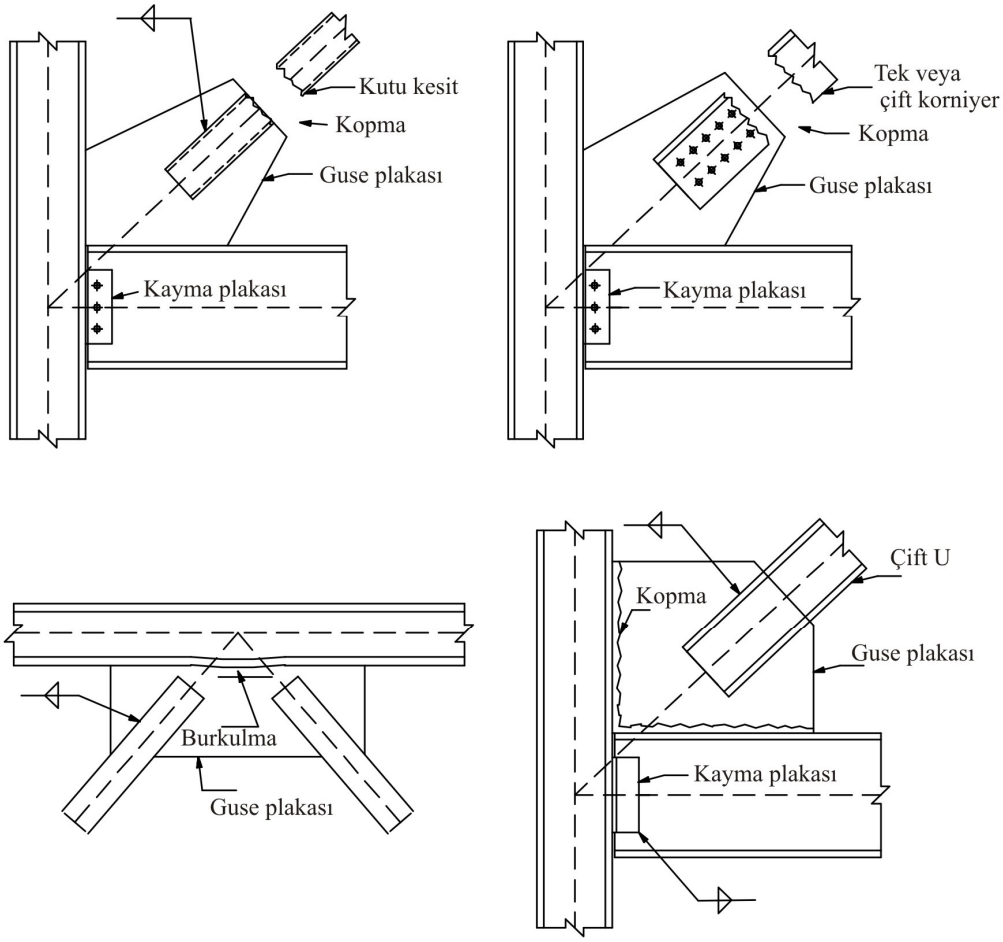
Nadir bir durumda olsa, eğer guse plakası ve çapraz eleman temelde betona gömülmüş ise guse plakasında burkulma meydana gelmez. Gömülmüş çapraz eleman için basınç tasarım uzunluğu gene birleşim sistem noktasından birleşim sistem noktasına olan mesafe alınır. Bu betona gömülme durumundan dolayı azaltma önerilmez. Eğer bu gömülme uzunluğu 50 cm'den küçük ise tutulma olayı tam gerçekleşmez [5].

2.6.10 Whitmore Kesiti

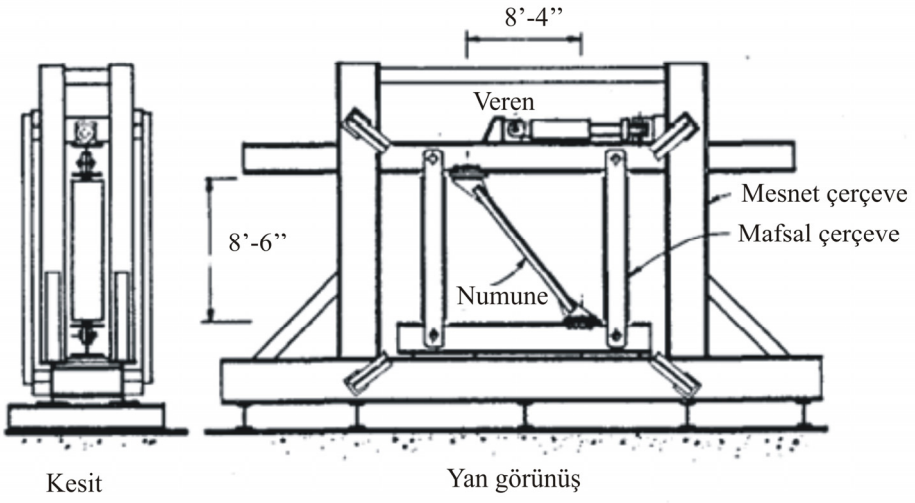
Guse levhaları genelde depremlerde tatmin edici performans gösterirler fakat 1985 Mexico, 1994 Nortridge ve 1995 Kobe – Japonya depremlerinde birkaç istisna durum rapor edilmiştir. Kaynaklarda kırılma, guse levhalarının burkulması, guse levhasının net alanında veya çapraz elemanda çatlak rapor edilen durumlardır. Bu hataların tümü özellikle net alanın gevrek kırılması, sünek olmayan tasarımla ve guse levhası birleşiminin zayıf detaylandırması ile ilişkilidir (Şekil 2.21) [11].

Guse levhasına etkiyen kuvvetin oluşturduğu gerilme dağılımı hakkında ilk araştırmalar **1938** yılında **Rust** tarafından yapılmıştır ve daha sonraları **Russell Brinker** ve **Whitmore** yaptığı araştırmalarda gerilmenin guse levhasına 30 derecelik doğrultu boyunca yayıldığını tespit etmiştir. Daha sonraları birçok test yapılmıştır fakat bunlardan **Astaneh-Asl**, **Goel** ve **Hanson** ilk kez tersinir yük altında ve gerçek boyutta numuneler üstünde deneyler yapmıştır. Test programı on

yedi adet gerçek boyutta çift korniyer eleman ve guse levhasını inceler. Test düzeneği Şekil 2.22'de görülmektedir [11].



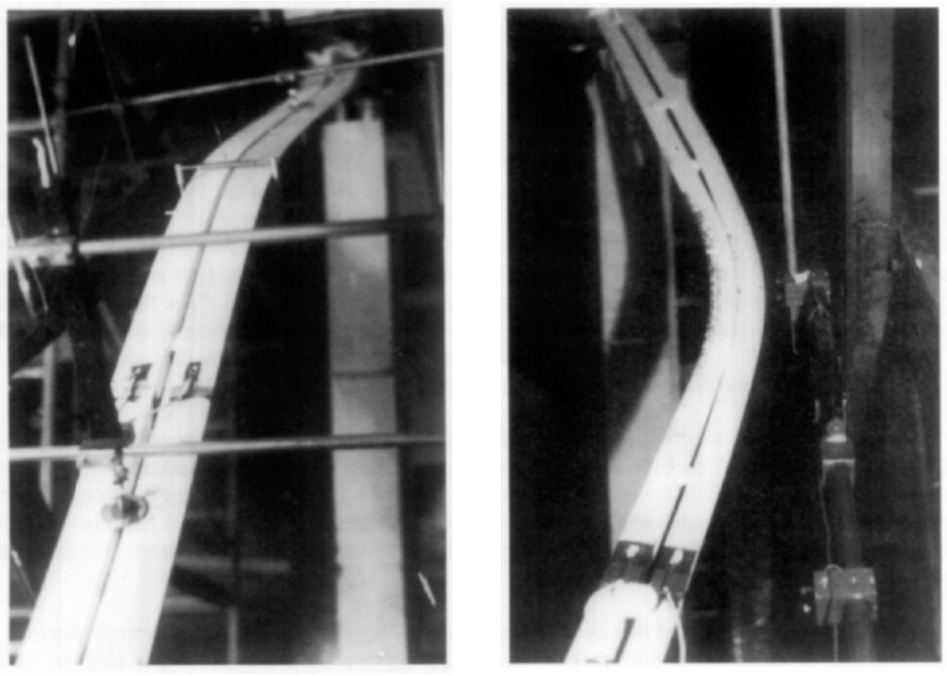
Şekil 2.21 Daha önceki depremlerde rapor edilen hasar bölgeleri [11]



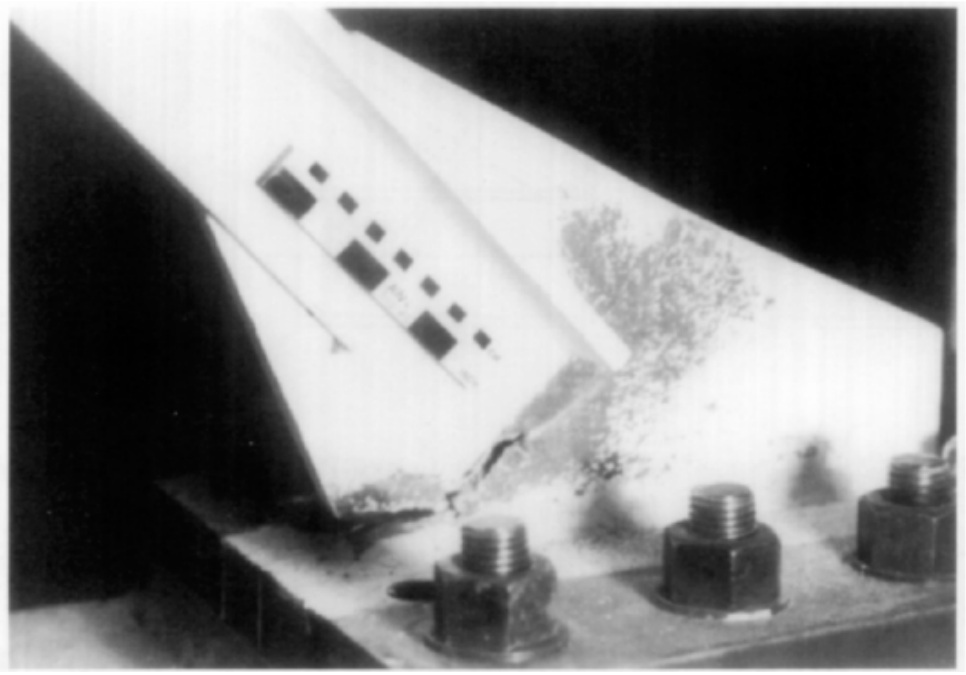
Şekil 2.22 Astaneh- asl ve diğerleri tarafından 1981 yılında kullanılan deney düzeneği [11]

Araştırma sonucuna göre, çerçevelerdeki guse levhasının tersinir yük altındaki davranışı, çapraz elemanın burkulma yönüne bağlıdır. Çapraz eleman çerçeve düzleminde burkulduğu zaman biri elemanın ortasında ve diğer ikisi elemanın hemen ucunda, yani guse levhasının hemen ötesinde, üç adet plastik mafsal oluşur. Böylece guse levhası tamamen elastik davranır. Fakat çapraz düzlemi dışına burkulduğu zaman plastik mafsallardan biri gene elemanın ortasında oluşurken diğer ikisi guse levhasında oluşur. Plastik mafsalların guse levhasında oluşması, guse levhalarının plastik mafsalların büyük rölatif dönme kapasitesine sahip olacak şekilde tasarlanmaları gerektiğine işaret eder (Şekil 2.23)[11].

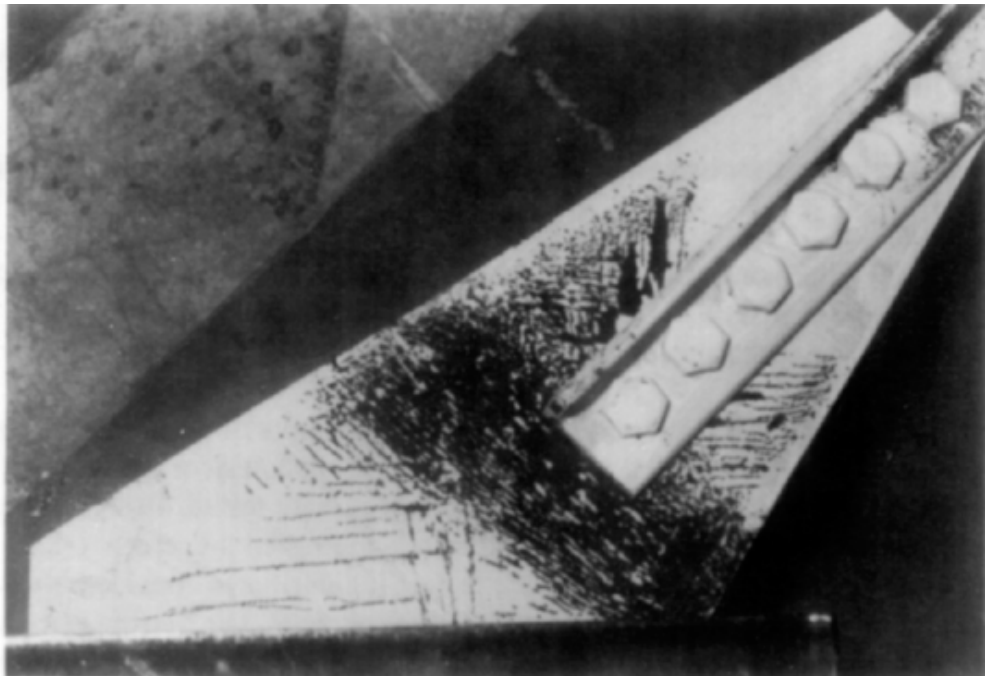
Bu plastik mafsallar serbestçe dönebilmelidir yoksa guse levhası birkaç döngüden sonra kırılır. Bu nedenle guse levhasının serbestçe dönebilmesini garanti edebilmek için çapraz eleman guse levhasının dar açılı köşesinden en az 2t (guse plakasının et kalınlığının iki katı kadar) kadar ötede sonlandırılmalıdır. Şekil 2.24'de 2t mesafe bırakılmadan detaylandırılmış detay birkaç döngüden sonra kırılırken, Şekil 2.25'de 2t mesafe bırakılmış ve düzgün detaylandırılmış numune kırılmadan otuzdan fazla döngü yapmıştır. Beyaza boyanmış numunelerdeki siyah bölgeler akmış alanların göstergesidir [11].



Şekil 2.23 Çapraz elemanın **(a)** düzlem içi ve **(b)** dışı burkulma davranışı [11]

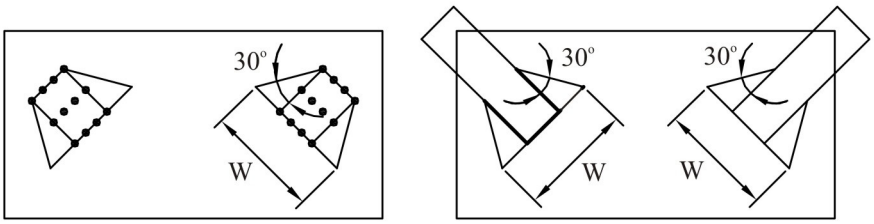


Şekil 2.24 Kötü detaylandırılmış guse plakasında düzlem dışı burkulmadan dolayı meydana gelen kopma şekli [11]



Şekil 2.25 İyi detaylandırılmış guse plakasında sünek davranış [11]

Bu çalışmanın diğer bir sonucu da Whitmore'un 30 derecelik gerilme yayılışının geçerliliğini onaylamaktır. Whitmore'un 30 derecelik gerilme yayılış teoremi ilk başta perçinli numunelere ve daha sonrada bulonlu birleşimlere uyarlanmıştır. **Astaneh** ve **diğerleri (1982)** bu kuralı kaynaklı birleşimler için genişletmiştir (Şekil 2.26) [11].



Şekil 2.26 Kuvvetin bulon ve kaynakta 30 derecelik Whitmore kanununa göre dağılışı [11]

1981 yılında **G. De Martino** X tipi çaprazlar ve uç guse levhaları ile ilgili rapor yayınlamıştır. Bu çalışmada bulonlu ve kaynaklı numuneler test edilmiştir. **Martino** "Bulonlu birleşimlerin davranışının kayma ile kontrol edildiğini, bunu pozitif etkisinin olduğunu ve gerçekte birleşimin sünekliğine çok büyük katkısı olduğu ve sistemin dinamik cevabını iyileştirdiğini" bulmuştur. **De Martino** ayrıca kayma ve oval delikten dolayı kaynaklı birleşimde mümkün olmayan ekstra süneklikten bahsetmiştir. Bu görüşte kaynaklı birleşimin tek üstün özelliği kaynaklı birleşimin davranışının kolay anlaşılır olmasıdır [11].

1980'lerde Japonya'da 190'dan fazla çapraz elemanı ve birleşimleri üstünde yapılan çalışmalarda guse levhasının dayanımının çapraz elamanın akma dayanımından büyük olması gerektiği sonucu vurgulanmıştır [11].

Deprem sonrası araziden ve laboratuar testleri sonucu guse levhasında aşağıdaki göçme durumları gözlenmiştir:

- Whitmore'un etkili genişlik alanı kuralına göre guse plakasında kırılma
- Çekme altında guse plakasında blok kayma göçmesi
- Basınç altında guse plakasında burkulma
- Guse plakasının serbest ucunun burkulması

-Eksenel kuvvet, eğilme ve kesme kuvvetlerinin birleşiminden guse levhasının kritik kesitinde göçme

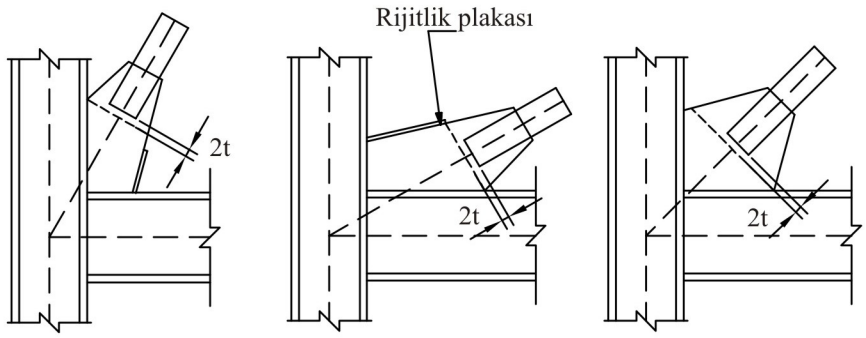
-Guse plakasını elemanlara bağlayan kaynak, bulon veya korniyerlerde göçme

Çalışmalar sonucunda:

-Eğer net alandaki çatlaklar önlenirse bulonlu birleşimler kaynaklı birleşimlere göre kayma özelliğinden dolayı daha sünektir.

-Guse levhasının sünekliği çapraz elemanın burkulma düzlemine bağlıdır. Eğer çapraz, guse levhasının düzlemi dışına burkulursa, guse plakası çaprazın uç kısmındaki dönme talebini sünek olarak karşılayabilmelidir. Dar açılı köşeden 2t

mesafe bırakarak bu talep sağlanabilir, eğer guse plakası düzleminde burkulursa guse plakası elastik kalır ve böyle bir detaya gerek kalmaz. (Şekil 2.27)



Şekil 2.27 Akma çizgisi ile çapraz arasında bırakılacak 2t mesafesi için örnekler [11]

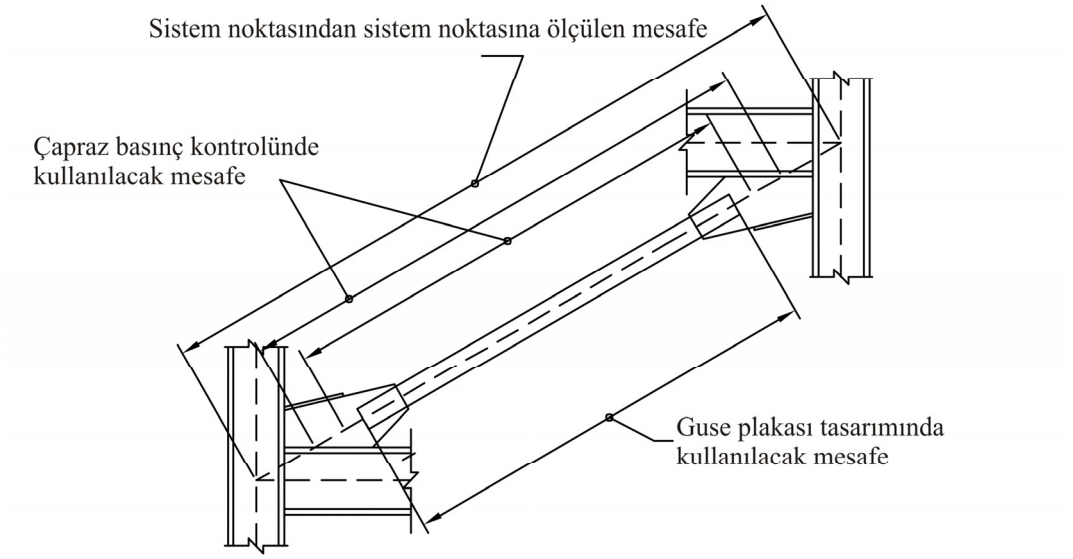
-Guse levhasının burkulması elastik ise sadece basınç kapasitesini düşürmekle kalmaz, aynı zamanda gevrek ve istenmeyen sonuçlara neden olur.

-Guse plakasının uç burkulması istenmez. **Astaneh-Asl (1991)** tarafından verilen Eşitlik 2.1, tersinir yük altında guse kenar burkulmasını kontrol etmek için kullanılabilir. Eğer kriter sağlanmıyorsa guse levhasının kenarı tersinir yükler altında burkulacak demektir. Kenar burkulmasını engellemek için guse plakasına küçük korniyer veya plaka ekleyerek rijitleştirilebilir. Ayrıca guse plakasının kalınlığı arttırılarak veya serbest kenarın uzunluğu kısaltılarak Eşitlik 2.1 sağlanabilir [11].

$$\frac{L_{fg}}{t} \leq 0.75\sqrt{\frac{E}{F_y}} \qquad \textbf{(2.1)}$$

2.6.11 Guse Plakası Dayanımı

Guse plakası, en azından, çapraz elemanı burkulma yüküne ($P_n = F_{cr}\ A_g$) dayanacak biçimde tasarlanmalıdır. F_{cr} bulunurken çaprazın gerçek uzunluğu kullanılarak bulunmuş kritik burkulma yükü kullanılır (Şekil 2.28)[5].



Şekil 2.28 Çapraz ve guse plakası tasarımında kullanılacak mesafeler [5]

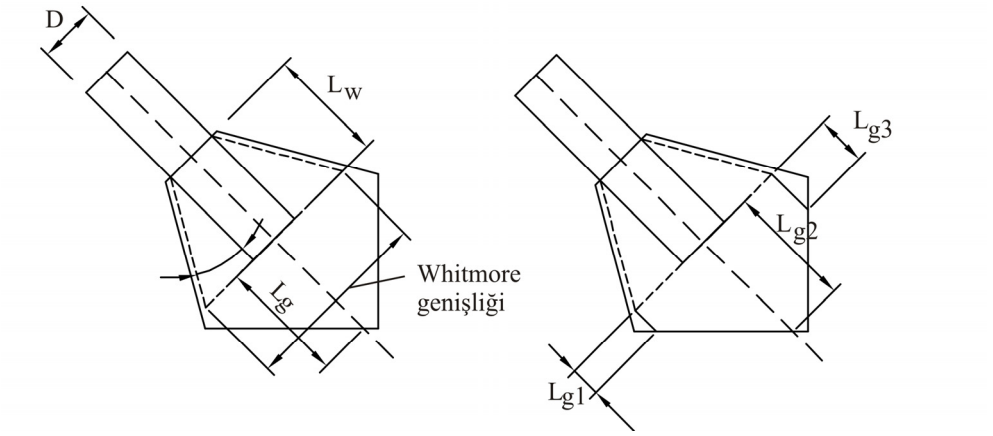
Bilgisayar programları yardımı ile yapılan boyutlandırmada sistem noktasından sistem noktasına kadar alınan uzunluğa göre çaprazlar boyutlandırılır. Hâlbuki çapraz elemanın boyu daha kısadır ve daha büyük burkulma kapasitesine sahiptir. Kapasite tasarımında gerçek çapraz uzunluğu kullanılmalıdır ve guse plakası bu gerçek uzunluk üzerinden hesaplanan burkulma dayanımından büyük dayanıma sahip olmalıdır [5].

Kısa çaprazların tasarımında, tasarımcı ($P_n = F_{cr}\ A_g$) dayanımını R_y katsayısını kullanarak modifiye etmek isteyebilir. Uzun narin kesitlerde basınçtan dolayı burkulmada uzunluk, en kesit ve kesit özellikleri etkili iken akma dayanımını düzeltme katsayısı R_y daha az etkilidir. Uzun narin kesitlerin erken burkulması beklenir ve guse plakasının çapraz burkulma yönünü belirleyecek şekilde tasarlanmalıdır. Ayrıca guse plakasının tasarımı ($A_g\ F_y\ R_y$) çapraz çekme kuvvetine de bağlı olarak tasarlanmalıdır. Daima F_{cr} belirlenirken R_y'nin kullanılmalıdır [5].

2.6.12 Guse Plakası Burkulması İçin Kullanılacak "K" Değeri

Guse plakası basınç dayanımını belirlerken kullanılacak "K" değer konservatif olarak düzlem dışı burkulma durumunda 1.2, düzlem içine burkulması durumunda 0.80 değeri daha fazla araştırma yapılıncaya kadar kullanılabilir [5]. Guse levhaları için etkili uzunluk katsayısı K değerinin 1.2 alınması **Brown** tarafından **1988** yılında önerilmiştir [11].

KL/r hesaplarında guse plakası güçlendirilmemiş uzunluk L_g çapraz merkezinden ölçülerek kullanılmalıdır (Şekil 2.29). Şekil 2.29'da görülen ortalama uzunluk $L_g = (L_{g1} + L_{g2} + L_{g3})/3$ alternatif olarak kullanılabilir. Bu mesafeler Whitmore kesitinin kenarlarından ve ortasından çapraza dik olarak ölçülen mesafelerdir. Ortalama uzunluk L_g, ortadaki dik uzunluk L_{g2}'den daha büyük olabilir [5].



Şekil 2.29 Guse plakası basınç tasarımında kullanılacak ortalama uzunluğun ve kaynak hesabında kullanılacak mesafenin gösterimi [5]

2.6.13 Guse Plakası Tasarımında Dikkat Edilecek Hususlar

Pratik ölçülendirmeden ve montaj toleransından dolayı akma çizgisinden bırakılması gereken mesafe 2t çoğu zaman 3t veya 4t'ye yakındır.

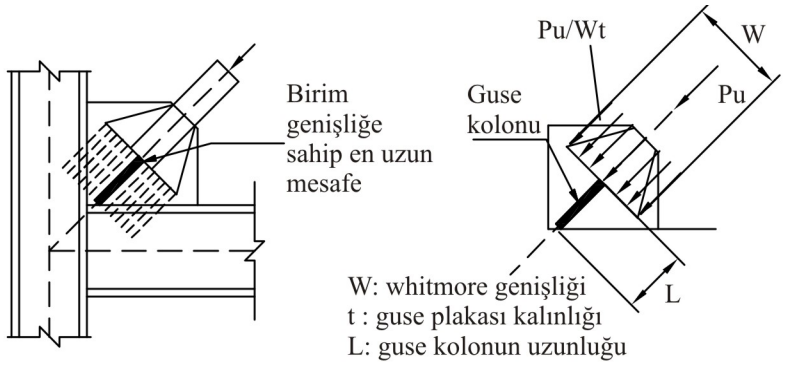
Guse plakası ile çapraz kaynaklarının bitim noktasında guse plakası minimum 25 mm mesafe bırakılarak kesilmelidir. Bu kenardan ölçülecek 30 derecelik açıya göre guse plakasına şekil verilmelidir [5].

Eğer kayma kuvvetini, çapraz çekme kuvveti kapasitesine göre boyutlanmış kaynaklar ile aktarıyorsa yarılmış boru veya kutu kesitlerde blok kayma hiçbir zaman baskın olamayacaktır. Eğer birleşim simetrik değilse yine de guse plakasında blok kayma kontrolü yapılmalıdır [5].

Benzer olarak kutu veya boru kesitlerde kayma yırtılması eğer kuvvet kaynaklar vasıtası ile aktarılıyorsa baskın olmamalıdır. Boru kesitler için profil et kalınlığı ile guse plakası ile kesişen kaynak uzunluğu ile dayanımın çarpımından bulunur [5].

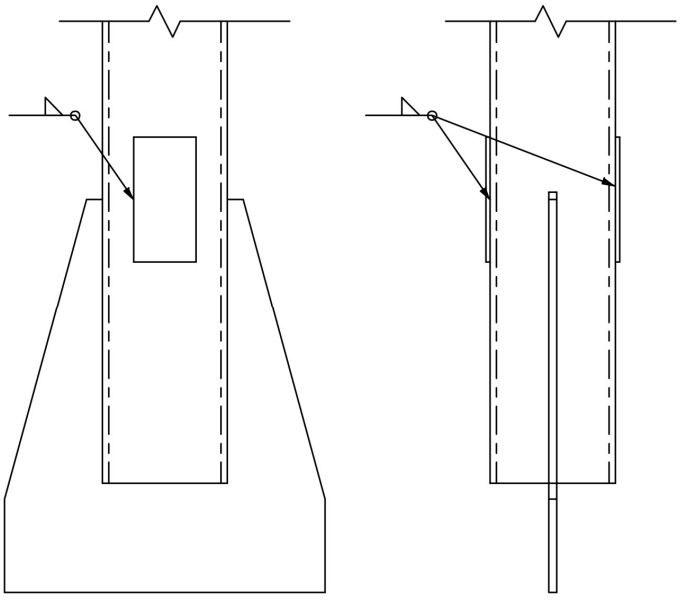
Guse plakasının bitiminde 30 derecelik açı ile kesim yapmak zorunlu değildir daha küçük açılarda olabilir. Guse plakasının eksenel dayanımı, guse plakası etkili genişliği, kalınlığı ve tutulmamış uzunluk L_g'ye bağlıdır. Eğer 30 derece kullanılırsa (Whitmore kesiti) basınç dayanımı tahkikinde daha ince guse plakası ile

çalışmak mümkün olabilir. Eğer açı 30 dereceden az ise etkili genişlik azalacağı için eksenel basınca dayanıklı enkesiti meydana getirmek için plaka kalınlığı artar. Eğer kalın guse plakası kullanılırsa profillerin net enkesit alanındaki kayıp artar ve kaybolan alanı telafi için gereken takviye levhasının kalınlığı artar. Kalın takviye plakasını kaynak kalınlıklarındaki kısıtlamalar nedeniyle profile kaynaklamakta başka bir sorundur. 30 derecelik açı ile kesim yapmak her zaman en iyi sonucu verecektir (Şekil 2.30) [5].

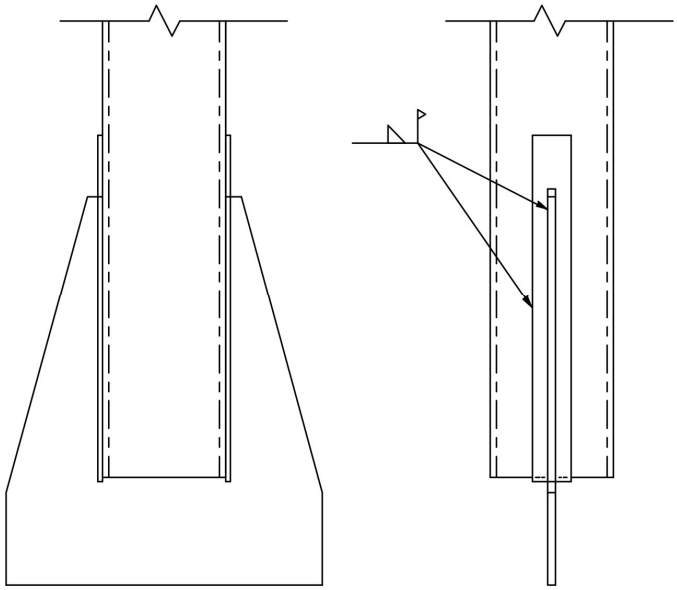


Şekil 2.30 Kuvvetin guse plakasında dağılımı ve guse kesit hesabında kullanılacak kesit [11]

Net en kesit takviye plakası için atölye ve şantiye kaynağı ile kullanılabilecek detaylar Şekil 2.31 ve Şekil 32'de gösterilmiştir. Burada kullanılan detayda çapraz elemanda guse plakası için açılan boşluk montaj kolaylığı açısından 25 mm uzatılmıştır [10].



Şekil 2.31 Çapraz elemanda yırtılmayı engellemek için atölye kaynağı ile kullanılabilecek detay [10]



Şekil 2.32 Çapraz elemanda yırtılmayı engellemek için şantiye kaynağı ile kullanılabilecek detay [10]

Genel kural olarak, guse plakasının kalınlığı profil et kalınlığının iki katı civarında olmalı ve çapraz – guse plakası bindirme boyu profil genişliğine yaklaşık eşit olmalıdır, bindirme boyu artarsa plaka kalınlığı azalır. Bindirme uzunluğu çapraz elemanın blok kayma, kayma yırtılması kapasitesine ve kullanılan kaynak kalınlığına bağlıdır. Boru ve kutu kesitlerde kaynak kalınlığını azaltıp blok kayma etkisini minimuma indirmek için bindirme uzunluğu kesitin genişliğinin iki katı civarında olmalıdır. Guse plakasının kalınlığını, başlangıçta profilin et kalınlığının iki katı seçmek ve basınç dayanımını kontrol etmek iyi bir başlangıç noktasıdır. S355 kalitesindeki çelikler şu iki nedenle tavsiye edilmektedir; birincisi guse plakasının çekme dayanımı artar. Bazı kutu kesitlerin akma dayanımı gerçekten yüksektir. Burkulmada ise L_g plaka burkulma uzunluğuna bağlı olduğu için S235 ve S355 kalitesinde çelik kullanmanın pek farkı yoktur. [5]

İkinci olarak, yüksek kalitede çelik kullanmak guse plakasının kalınlığını azaltır. Haddinden fazla kalın plaka kullanmaktan kaçınılmalıdır. İyi bir tasarım için kirişin gövde kalınlığının, guse plakası kalınlığının %75'inden daha az olmasını kiriş gövdesindeki buruşmayı önlemek için önerilmez. Kiriş ile çapraz arasındaki açı dar olduğunda, çapraz elmanın çekme ve basınç kuvvetlerinin düşey bileşenleri çok küçük olur ve bu %75'lik varsayım çok konservatif olur. Bu durumda kiriş gövdesi tasarım kuvvetine göre tahkik edilmelidir. Her durumda kiriş gövdeleri tahkik edilmeli ve gerekiyorsa berkitme levhaları kullanılmalıdır [5].

2.6.14 Birleşim Kaynakları

Çapraz elemanı guse plakasına bağlayan kaynakların uzunluğu genel olarak profilin genişliğinin iki katından büyük olmalıdır. Bu durum blok kayma etkisinin ve kaynak kalınlığının azalmasını sağlar [5].

Guse plakasının kalınlığı gereken kaynak kalınlığının iki katı civarında olmalıdır. Gerçek kalınlık guse için kullanılan kaynak malzemesi kayma yırtılması ve guse plakasının basınç dayanımına göre belirlenir [5].

Guse plakasının kalınlığının kaynak kalınlığının iki katı olması montaj aşamasında esneklik sağlar. 2t mesafesini sağlayabilmek için çapraz biraz uzun bırakılmalı ve şantiyede kısaltılmalıdır. Bu seferde çapraz elemanın kaynak boyu kısalır fakat kalın kaynak kullanılabilir [5].

Gerekenden daha uzun kaynak boyu kullanılırsa montajda esneklik sağlar. Profile guse plakası için açılan delik montaj tolerans açısından 1-1.5 mm büyük olmalıdır. Boru veya kutu profillerin enkesitleri azaltılarak yapılan birleşimlerde genelde takviye plakasına ihtiyaç duyulur ve bu takviye plakasını çapraz elemana bağlayan kaynaklar yeterli çekme dayanımına sahip olmalıdır. Eğer takviye plakası ile çapraz eleman farklı kalitede çelikten ise çekme dayanımı belirlenirken bu fark göz önüne alınmalıdır [5].

2.6.15 Bulonlu Birleşimler

Kuvvet doğrultusuna dik delikler, kayma kontrollü birleşimler ve normal birleşimlerde kayma düzleminden bir tanesi hariç, deliklerin büyük açılmasına izin verilmez. Fakat montaj aşamasında hatalar meydana gelir. Bulonlu birleşimlerdeki kayma davranışı, hasar yerine aksine enerji sönümüne yardım eder [5].

Ayrıca kayıcı deliğe sahip bulonların, depremde kayacağı düşüncesi ile bulon ve kaynağın aynı birleşimde kuvvet paylaşımına izin verilmez. Ayrıca bulondan meydana gelen en kesit kayıpları takviye plakası gerektirir. [5]

2.6.16 Guse Plakasının Burkulmasını Önlemek

Erken burkulmayı önlemek için guse plakasının desteklenmemiş kenar uzunluğu kontrol edilmelidir. Serbest uca sahip guse plakalarında, uzun serbest kenar burkulabilir. Kenar burkulması istenmeyen durumdur. Tersinir yükler altında kenar burkulması guse plakasının döngüsel sünekliğini kısıtlar. Bu durumu önlemek için **Astaneh-Asl (1991)** tarafından Eşitlik 2.1'de verilen kriter önerilmiştir [11].

2.6.17 Kuvvet Dağıtım Metodu

Kuvvet Dağıtım Metodu kiriş, kolon ve çaprazın sistem noktaları kesiştiği zaman en etkilidir ve guse plakasının boyutlarını ekonomik olarak belirlemek için kullanılır. Üç tip durum mevcuttur:
Özel durum 1: Alternatif sistem noktası (Guse plakasının kenarı)
Özel durum 2: Kiriş - kolon birleşiminde kayma etkisini azaltma
Özel durum 3: Guse plakasının kolona bağlanmaması durumu [5]

S.D.Y çerçevelerde guse - kiriş veya guse - kolon birleşimindeki momenti sıfır yapmaya çalışmak çok zor olabilir. Bunun nedeni, daha önceden belirlenmiş geometriye göre çapraz bitiminden sonra guse plakasının kalınlığının iki katı kadar mesafe bırakmak gerektiği içindir. Eğer birleşimi önceden var olan bir birleşim gibi ele alıp 2t mesafesini sağladıktan sonra (α' - α) ve (β' - β) dışmerkezliklerini guse - kiriş veya guse - kolon birleşim yüzeyinde göz önüne almak daha kolay olabilir [5].

Eğer geometri izin veriyorsa özel durum ikiyi kullanmak kiriş kolon birleşimindeki kayma kuvvetini azalttığı için kiriş gövdesine berkitme levhası kullanma gereğini ortadan kaldırır ve üretim maliyetlerini azaltır. İkinci durumu kullanmak kiriş kolon derinliklerine bağlı olarak her zaman avantajlı değildir [5].

Kuvvet Dağıtım Metodunun ana prensibi guse – kiriş, guse – kolon, kiriş – kolon yüzeyinde moment oluşturmadan birleşimin boyutlarını belirlemektir. Moment oluşmadığından birleşim kayma veya sadece çekme kuvvetine göre boyutlanabilir [12].

Sistem noktası kiriş – kolon çapraz aksları kesişimi olmak üzere Şekil 2.33.a'daki geometrik parametreler belirlenir. Burada

e_b = Kiriş yüksekliğinin yarısı, mm

e_c = Kolon yüksekliğinin yarısı, mm (gövdeden yapılan bağlantılarda sıfırdır)

α = Kolon başlık veya gövde yüzeyinden guse kiriş birleşiminin merkezine olan mesafe

β = Kiriş başlık yüzeyinden guse – kolon birleşimin merkezine olan mesafe, mm

Şekil 2.33.b, c, d'de gösterilen kuvvet dağılımları için

$$\alpha - \beta \tan\theta = e_b \tan\theta - e_c \qquad \textbf{(2.2)}$$

Bu eşitliğin sağ tarafındaki ifadeler birleşimi oluşturan elemanlar ve yapı geometrisine bağlı olduğundan tasarımcı bunları seçemez. Fakat α ve β değişkenlerini seçebilir. Bu değerler belirlendikten sonra birleşimin tasarım kuvveti aşağıdaki eşitlikler (2.3, 2.4, 2.5, 2.6, 2.7) yardımı ile bulunabilir [12].

$$V_{uc} = \frac{\beta}{r} P_u \qquad \textbf{(2.3)}$$

$$H_{uc} = \frac{e_c}{r} P_u \qquad \textbf{(2.4)}$$

$$V_{ub} = \frac{e_b}{r} P_u \qquad \textbf{(2.5)}$$

$$H_{ub} = \frac{\alpha}{r} P_u \qquad \textbf{(2.6)}$$

$$r = \sqrt{(\alpha + e_c)^2 + (\beta + e_b)^2} \qquad \textbf{(2.7)}$$

R_u faktörize edilmiş kiriş uç kuvveti, A_{ub} ise kiriş eksenel kuvveti olmak üzere guse plakası kiriş birleşimi, faktörize edilmiş H_{ub} kesme kuvveti ve V_{ub} eksenel kuvvetine göre tasarlanmalıdır. Guse plakası - kolon birleşimi V_{uc} eksenel kuvveti ve H_{uc} kesme kuvvetine, kiriş – kolon birleşimi ise R_u - V_{ub} kesme kuvvetine ve A_{ub} ± (H_u - H_{ub}) eksenel kuvvetlerine göre tasarlanmalıdır. Burada P_u kuvveti çekme kuvvetidir, kuvvet basınç olduğunda işaretler değiştirilmelidir [12].

2.6.17.1 Özel Durum 1

Şekil 2.34'te görüldüğü üzere sistem noktası guse plakasının köşesi seçilmiştir. Bunun nedeni çizimi basitleştirmek veya kolon gövde birleşimi yapmaktır. Bu varsayım ile eşitliklerden e_b ve e_c terimleri düşer.

$$H_{ub} = P_u \sin\theta = H_u, \qquad \textbf{(2.8)}$$

$$V_{ub} = 0 \quad \textbf{(2.9)}$$

$$V_{uc} = P_u \cos\theta = V_u \quad \textbf{(2.10)}$$

$$H_{uc} = 0 \quad \textbf{(2.11)}$$

Guse plakası - kiriş birleşimi H_{ub} ve guse plakası – kolon birleşimi V_{uc} kuvvetlerine göre tasarlanmalıdır. Sistem noktası değiştirildiği için kiriş ve kolon sırası ile

$$M_{ub} = H_{ub} e_b \quad \textbf{(2.12)}$$

$$M_{ub} = \frac{V_{uc} e_c}{2} \quad \textbf{(2.13)}$$

momentlerine göre tasarlanmalıdır [12].

2.6.17.2 Özel Durum 2

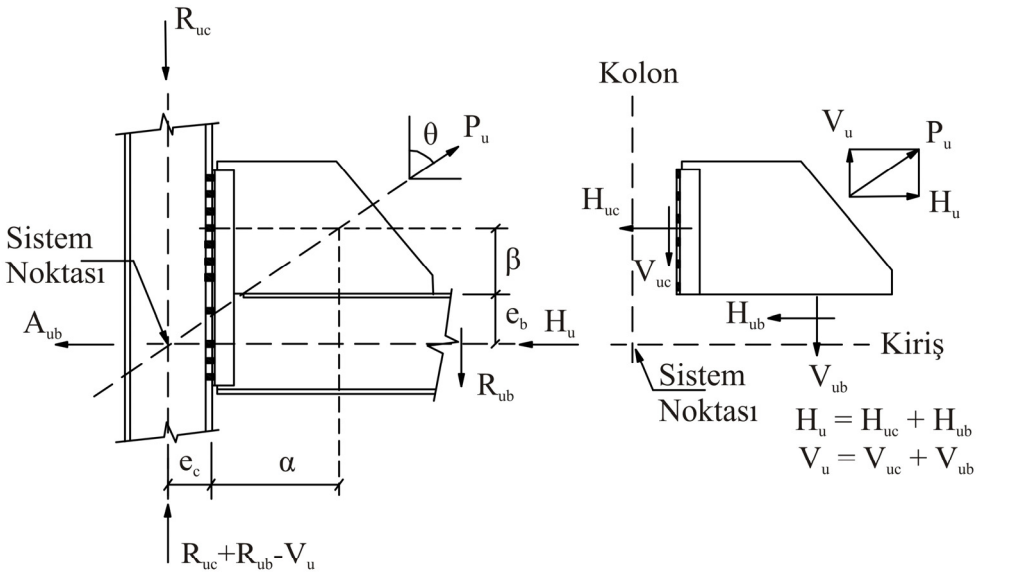
Eğer çaprazdaki kuvvet Şekil B.5.a'da görüldüğü gibi basınç kuvveti ve kiriş uç kuvveti (R_{ub}) büyük ise kiriş tasarımına V_{ub} kuvvetini eklemek, kirişe berkitme plakaları eklemeyi gerektirebilir. Alternatif olarak guse plakası berkitme olarak kullanılabilir.

Şekil B.5.b'de görüldüğü gibi V_{ub} , ΔV_{ub} gibi keyfi değerde azaltılırsa, guse kolon yüzeyindeki düşey kuvvet $V_{uc} + \Delta V_{ub}$ olacaktır ve guse – kiriş birleşiminde $M_{ub} = (\Delta V_{ub})\alpha$ momenti oluşacaktır. Eğer $V_{ub} = \Delta V_{ub}$ olarak alınırsa çapraz kuvvetinin düşey bileşeni kirişe iletilmez.

Bu şekilde yapılan tasarım ekonomik olmaz. M_{ub} momenti birleşimin büyük ve guse plakasının kalın olmasına neden olur. Kiriş gövde akma dayanımı kirişi sınırlayabilir. Bu metot, Kuvvet Dağıtım Metodunda verilen kuvvetin iletim yolunu bozar ve en iyi sonucu kiriş kolon birleşimi oldukça yüksek reaksiyon kuvvetlerine sahip olduğunda verir [12].

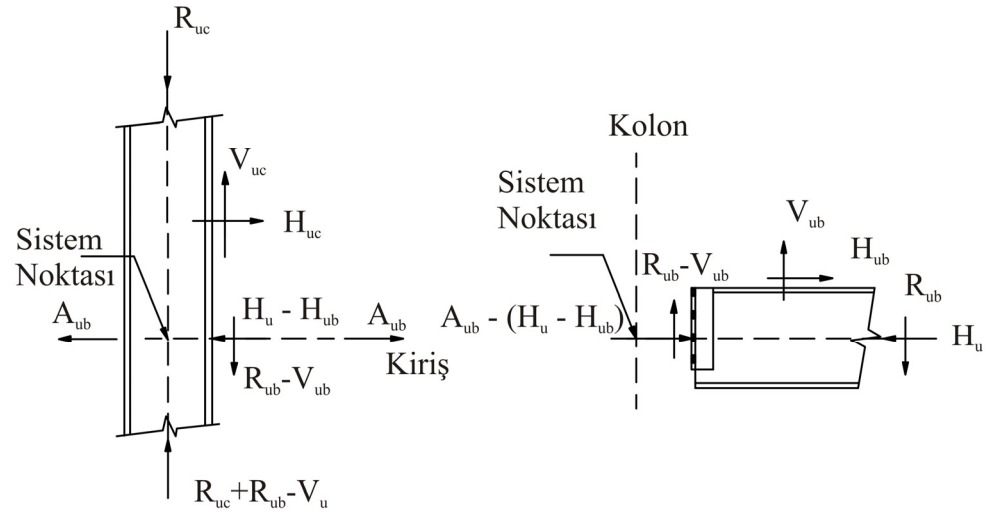
2.6.17.3 Özel Durum 3

Birleşim kolon gövdesine yapıldığında ve çaprazın kolon ile olan açısı büyük olduğunda veya kiriş kesiti büyük olduğunda guse plakası ile kolon gövdesi birleşimi yapmamak daha ekonomiktir. Guse plakası yalnızca kirişe bağlanır. Şekil B.6'da görüldüğü gibi β ve e_c değerleri sıfıra eşitlenerek $V_{ub} = V_u$ ve $H_{ub} = H_u$ elde edilir.



(a) Çapraz eleman birleşimi ve dış kuvvetler

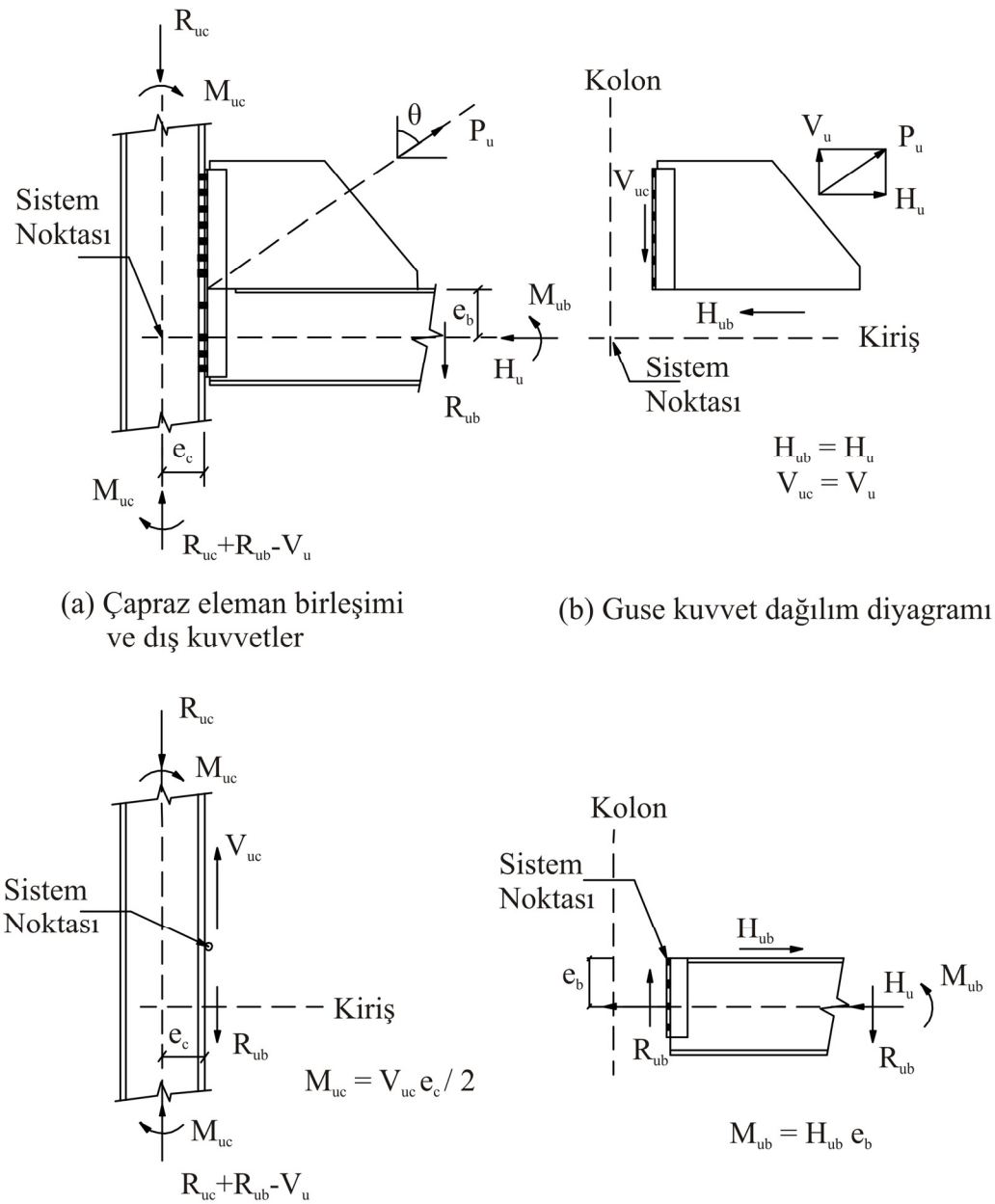
(b) Guse kuvvet dağılım diyagramı



(c) Kolon kuvvet dağılım diyagramı

(d) Kiriş kuvvet dağılım diyagramı

Şekil 2.33 Kuvvet Dağıtım Metodu [12]



(a) Çapraz eleman birleşimi ve dış kuvvetler

(b) Guse kuvvet dağılım diyagramı

(c) Kolon kuvvet dağılım diyagramı

(d) Kiriş kuvvet dağılım diyagramı

Şekil 2.34 Özel durum 1 [12]

Eğer $\bar{\alpha} = \alpha = e_b \tan\theta$ ise, guse plakası – kiriş yüzeyinde moment oluşmaz ve guse plakası – kiriş birleşimi H_{ub} ve V_{ub} kuvvetine göre tasarlanabilir. Eğer $\bar{\alpha} \neq \alpha = e_b \tan\theta$ ise, guse plakası – kiriş birleşimi H_{ub} ve V_{ub} kuvvetlerine ek olarak M_{ub} kuvvetlerine göre tasarlanmalıdır.

$$M_{ub} = V_{ub}(\bar{\alpha} - \alpha) \qquad \textbf{(2.14)}$$

Kiriş – kolon birleşimi ise $R_u + V_{ub}$ kuvvetine göre tasarlanmalıdır. e_c ve H_c sıfır olduğundan bu şekilde kolon başlığına yapılan birleşim V_u kesme kuvvetine ek olarak $V_u e_c$ momentine karşı tasarlanmış moment aktaran birleşim olmalıdır ve bütün yüzeylerde düzgün kuvvet dağılımı artık mevcut değildir [12].

2.6.18 Kiriş- Kolon - Guse Plakası Kesişim Yüzeyleri

Kiriş- kolon – guse plakası birleşiminin yüksek deprem kuvvetleri altındaki davranışı karmaşıktır ve kat ötelemesi nedeniyle bu birleşimde eğilme momentleri oluşur ve büyük iç kuvvetler meydana gelir. Guse plakası kirişi kolona birleştirmeye çalışır. Dışmerkez çaprazlar ve burkulması önlenmiş sistemlerin moment çerçevesi ile birleşiminden oluşan sistemlerde, bu bölgede göçmeler gözlenmiştir. Burkulması önlenmiş sitemler S.D.Y merkezi çelik çaprazlı sistemlere göre daha küçük kat ötelemelerine sahip olduğu için ve S.D.Y merkezi çelik çaprazlı sistemler daha çok çerçeve hareketine maruz kalacağı için daha çok hasar oluşması beklenir [5].

Ayrıca gövde berkitmeleri ile kiriş gövdeleri arasında kırılma meydana gelebilir. Kiriş kolon birleşiminde guse yüzeyindeki kaynakları, kalınlıklarının en az iki katı kadar geride bırakmak mantıklıdır. Böylece üç eksenli gerilmenin oluşması önlenir ve kaynaklanması zor alanı kaynaklama zorunluluğu ortadan kalkar [5].

2.6.19 Guse Plakasının Mesnetlerine Birleşiminin Tasarımı

İlk adım birleşime etkiyen kuvvetleri belirlemektir. Şekil 2.35'de dört çeşit metot gösterilmektedir. Şekil 2.35.a'da konsantre ve Şekil 2.35.b'de paralel kuvvet çiftine ayrılmıştır. Bu iki metot yıllardır kullanılmaktadır. Şekil 2.35.c'deki çözüm ise **A. Astaneh-Asl** tarafından kafes kiriş benzerliği kullanarak gerçekçi gerilme dağılımını elde etmek için geliştirilmiştir. Şekil 2.35.d'deki metot **W. Thornton** tarafından önerilmiştir [11].

Tepki kuvvetleri bu dört metottan herhangi biri kullanılarak belirlendikten sonra birleşim bu kuvvetler göre tasarlanabilir. İstenen sünek davranıştaki birleşim için akma davranışı kopma davranışına baskın olmalıdır [11].

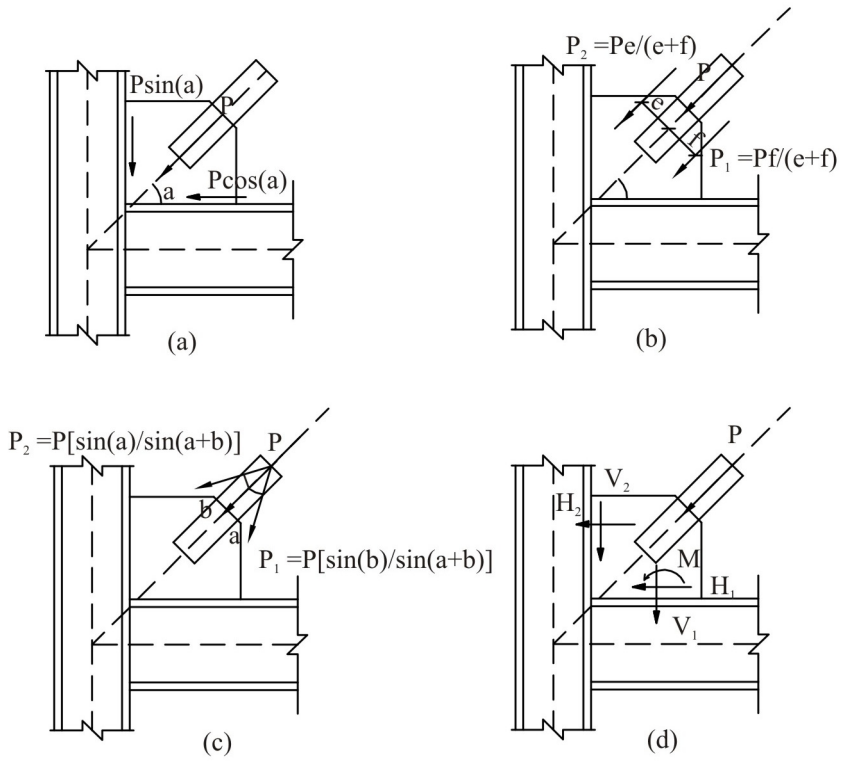
Yatay yüke karşı koyma ve bina ötelemelerini minimize etmesi bakımından çelik çaprazlı sistemler oldukça ekonomik sistemlerdir. Çaprazlı çerçeve sistemleri

çaprazlar burkuluncaya kadar çerçeve elemanları düşey yüke çok küçük veya sıfır eğilme ile karşı koyar. Çerçeve elemanları

- Yönetmelik kat ötelemelerini sağlayacak yeterli rijitlik (eleman enkesit şekli ve alana)
- Eksenel basınç ve çekme kuvvetine karşı yeterli dayanıma sahip olması koşullarına göre ön boyutlama yapılır.

Ön boyutlama yapıldıktan sonra minimum yönetmelik tasarım koşullarının

- V tipi çapraz elemanlarından kaynaklı eğilme momentine karşı yeterli kiriş dayanımı
- Çapraz elemanlar için yönetmelikte verilen narinlik koşullarının sağlandığı kontrol edilmelidir [5].



Şekil 2. 35 Çapraz ve guse plakası birleşim tasarımında kullanılabilecek Kuvvet Dağıtım Metotlarına örnekler [11]

2.7 Kolonların Tasarımı

Deprem Yönetmeliği Madde 4.3.1.1'e göre, sünek çerçevelerin kiriş ve kolonlarında, başlık genişliği / kalınlığı ve gövde yüksekliği / kalınlığı oranlarına ilişkin kurallar Deprem Yönetmeliği Tablo 4.3'te verilmiştir.

Deprem Yönetmeliği Madde 4.3.1.2'ye göre kolonlar, düşey yükler ve depremin ortak etkisinden oluşan eksenel kuvvet ve eğilme momentleri altında gerekli gerilme kontrolleri sağlamaları yanında, birinci ve ikinci deprem bölgelerinde, arttırılmış yükleme durumlarından oluşan eksenel basınç ve çekme kuvvetleri altında da (eğilme momentleri göz önüne alınmaksızın) yeterli dayanım kapasitesine sahip olacaktır [13].

2.8 Kolonların Ekleri

S.D.Y çerçevelerin kolonlarında eğilme oluşması beklendiği için, S.D.N çerçevelerin şartlarına ek olarak kolon eklerinin kiriş kolon bağlantı noktasından kat yüksekliğinin 1/3'ü mesafede yapılması ve kolon ekinin küçük olan kolonun moment kapasitesinin %50'sine sahip olmalıdır. Ayrıca kolon eki küçük olan kolonun kayma dayanımından büyük dayanıma sahip olmalıdır. Bu yüzden kolonları tam penetrasyonlu küt kaynak ile kaynaklamak gereklidir. [5]

Deprem yönetmeliğine göre kolon ekleri serbest yüksekliğin ortadaki 1/3'lük bölgesinde yapılacaktır [13].

Deprem yönetmeliği Madde 4.6.5.2'ye göre kolon eklerinin eğilme dayanımı eklenen elemanlardan küçüğünün eğilme kapasitesinin %50'sinden, kesme kuvveti ise eklenen elemanlardan küçüğünün kesme kapasitesinden daha az olmayacaktır. Ayrıca, birinci ve ikinci derece deprem bölgelerinde, kolon eklerinin eksenel kuvvet taşıma güçleri arttırılmış deprem yüklemelerinden oluşan basınç ve çekme kuvvetleri altında da (eğilme momentleri göz önüne alınmaksızın) yeterli olacaktır [13].

2.9 Temel Tasarımında Dikkat Edilmesi Gereken Kurallar

Çaprazlara sahip yükün temele iletilmesi sağlanmalı ve temeller bağ kirişleri ile birbirine bağlanmalıdır. Kolonlardaki büyük çekme kuvvetleri ankraj bulonları ile temele iletilir. Bu ankraj bulonları, çekme kuvvetlerini güvenle temele iletebilecek kalitede olmalıdır böylece gereken çap ve ankraj bulonu sayısı azalır. Ankraj bulonları temele yeterli ölçüde gömülmeli ve büyük çekme kuvvetlerinde sıyrılmayı önleyecek detaylar tasarlanmalıdır. Ankraj bulonun betonarme temele gömülme derinliği betonarme kesme konisi yardımı ile hesaplanabilir. Bir taban plakasında

birçok ankraj bulonu olduğundan ve her bir bulonun kayma konisi kesiştiğinden hepsi için büyük bir koni hesabı yapılabilir. Büyük çekme kuvvetlerine temel ağırlığı ile karşı koyduğundan, temel kalınlığı gerekli minimum ankraj uzunluğundan büyüktür. Ankraj bulonları mümkün olduğunca minimum boyda kesilmeden temel alt kotuna kadar uzatılmalıdır [5].

2.10 Kirişlerin Tasarımı

Kirişlerin seçiminde Türk Deprem Yönetmeliği (2007) süneklik düzeyi yüksek merkezi çelik çaprazlı perdelerin kirişleri için Madde 4.6.1.1'de verilen enkesit koşulları uyarınca kiriş enkesitinin başlık genişliği / kalınlığı ve gövde yüksekliği / kalınlığı oranlarına Deprem Yönetmeliği Tablo 4.3'te verilen koşulları sağlaması gerekmektedir [13].

Bu kompaktlık sınırları elemanın eğilme altında plastik mafsal oluşturarak kırılmadan büyük dönmeler yapabilmesi için gereklidir. Kompaktlık sınırları dışında dikkat edilmesi gereken diğer bir konuda kiriş tasarımında yanal olarak kirişin mesnetlenme mesafesinin tasarımda göz önünde bulundurulmasıdır. Eğer yeterli yanal mesnet mevcut değilse kiriş başlığında yanal burulmalı burkulma meydana gelebilir. Eğer yeterli mesnet mevcutsa ve kesit kompakt ise limit durum kesitin tümsel olarak akmaya ulaşmasıdır [14].

Büyük açıklıkların geçildiği kirişlerde sehim çok büyük olabilir ve işletme sınır durumu problemi meydana getirir. Eğer sehim fazla ise ara destekler veya rijitliği büyük enkesitler kullanılmalıdır[14].

Eğilmeye çalışan elemanlar tasarlanırken

1) Eğilme dayanımı

2) Kayma dayanımı

3) Konsantre yüklere karşı dayanım (konsantre yüke maruz kalan kirişlerin başlıklarında yerel eğilmeler, gövdede yerel akmalar, gövde buruşması, yanal gövde burkulması, gövdenin basınç altında akması potansiyel göçme davranışıdır ve bu durumlara karşı yeterli dayanıma sahip olduğu kontrol edilmelidir.)

4) Sehim sınırlarını sağlamalıdır [14].

V tipi çapraz düzeninde dikkat edilmesi gereken önemli bir nokta kirişleri, basınca çalışan çapraz burkulduğunda, çekmeye çalışan çaprazın kirişi aşağıya çekmesiyle

meydana gelen dengelenmemiş yüklemeyi göz önüne alıp tasarlamak gerekir. Bu durum diğer çapraz tiplerinden daha büyük kiriş kesitlerinin kullanılmasını gerektirir [5].

2.11 Kat Yüksekliği Tavsiyesi

Çapraz elemanı üzerindeki kısıtlamalardan dolayı geniş başlıklı kesitler dışındaki profilleri, ancak taban kesme kuvvetinin az olduğu az katlı yapılar veya yüksek yapıların üst katlarında kullanmak pratiktir. Basitlik ve detayların ekonomikliği açısından ilk önce seçilen kesit her katta ayrı kesit, seçmek yerine iki veya üç kat boyunca kullanılır [5].

Çok katlı yüksek yapılarda her katta aynı kesit kullanılmamalıdır. Üst katlardaki kesitler büyük seçilmiş olur ve üst katta aynı kesite sahip çaprazlar daha az rezerv kapasiteye sahip olduğundan ilk kattaki çaprazlara daha fazla sismik yük etki eder. Büyük seçilmiş kesitler nedeni ile etkili ve ekonomik tasarım yapılmamış olur. Eğer çapraz eleman ve birleşimleri için kapasite tasarımı yapılıyorsa bu durum temel boyutlarının ve kolon kaldırma kuvvetinin artmasına neden olur [5].

Tablo 2.1'de kat yüksekliğine bağlı olarak kullanılabilecek tipik en kesitler verilmiştir.

Tablo2.1 Kat yüksekliğine bağlı olarak kullanılabilecek tipik enkesitler [5]

Eleman Enkesiti	Kat Sayısı
Geniş başlıklı çapraz eleman	Sınırlama yok
Kutu kesitler	Yaklaşık 8 kat
Boru profiller	Yaklaşık 8 kat
Çift korniyer	Yaklaşık 7 kat
Çok parçalı basınç çubukları	7 kattan daha fazla

Bu tablodaki değerler çaprazların sayısı ve açıklığına bağlı olduğundan değişiklik gösterebilir [5].

2.12 1994 Northridge Depreminde Ortaya Çıkan Sonuçlar

Keşif gezileri sırasında gözlenen ciddi burkulma ve akma durumları bir kez daha çapraz elemanların deprem sırasında sünek davranış göstermesi için düzgün detaylandırmanın öneminin altını çizmiştir. Yerel burkulmayı önlemek ve devamındaki erken göçmeyi önlemek için plastik mafsalların oluşması zorunludur [1].

Northridge sonrası gözlemlere göre, çapraz elemanın burkulması ilave problemler ortaya çıkarabilir. Örneğin çaprazın düzlem dışı burkulması yapının kaplama, bölme duvarları, mekanik tesisatı için potansiyel tehlike oluşturur. Her ne kadar bu zarar yapının bütünlüğünü bozmasa da bu durum kullanıcılar için zararlıdır (kırık cam enkazı, duvar blokları veya ön germe panelleri). Mekanik donanımın kırılması veya duvarların göçmesinin deprem sonrası yapının kullanımı üzerine önemli etkisi vardır [1].

Birçok tasarımcı, çaprazlar için düzlem içine burkulmadan çok düzlem dışına burkulmaya göre tasarımı destekler. Düzlem dışı burkulma durumunda plastik mafsal, **Astaneh ve diğerleri (1985)** tarafından verilmiş olan tasarım önerileri uygulandığında, guse levhalarının içinde kolayca oluşabilir. Ayrıca düzlem dışı burkulma durumuna herhangi bir çapraz enkesiti için kolayca ulaşılabilir.

Çapraz elemanın uçlarında burkulmadan dolayı oluşan eğilme momenti birleşimde ve çevre elemanlarda aşırı gerilme oluşmasına yol açarak bazı problemlere yol açar. Nortridge depreminde kirişlerin kalıcı olarak burulmadan dolayı çarpılmasının sebebi çapraz elemanların düzlem dışına burkulmasının istenmeyen davranışlarına örnektir. Eksenel kuvvetten dolayı oluşacak ikincil eğilme momentine bitişikteki birleşimler ve elemanlar ile karşı koyulmalıdır ve uygun kapasite tasarım yöntemi ile göz önüne alınmalıdır [1].

Keşif gezileri sırasında merkezi güçlendirilmiş çerçevelerde yatay yükün iletildiği çapraz elemanlardan çok diğer elemanlarda çok sayıda göçme ve lineer olmayan şekil değiştirme davranışı gözlenmiştir. Kat diyaframlarında çatlaklar, çapraz birleşimlerinde göçmeler, kirişlerin burulma deformasyonlarına maruz kalması, ankraj bulonlarında veya taban plakalarında çekme çatlakları bunlardan bazılarıdır. Bu gözlenen hatalardan çoğu gevrek kırılmadır [1].

3. HER İKİ DOĞRULTUDA SÜNEKLİK DÜZEYİ YÜKSEK MERKEZİ ÇELİK ÇAPRAZLI PERDE SİSTEMİNE SAHİP BİR BİNANIN İNCELENMESİ

3.1 Genel Bilgiler

Bina toplamda 6 kattan oluşmaktadır ve kat yükseklikleri sabit 3.5 metredir. Bina planda 30*30 m^2 alana sahiptir ve yatay stabilite için X ve Y yönünde süneklik düzeyi yüksek X tipi merkezi çaprazlar kullanılmıştır. Binaya ait kat planı, 1-1 aksı ve A-A aksları görünüşleri Şekil B.7, B.8, B.9'da görülmektedir. Deprem Yönetmeliği 2.5.1.5 maddesine göre birinci ve ikinci derece deprem bölgelerinde;

(a) Aşağıdaki (b) paragrafı dışında, taşıyıcı sistemi sadece çerçevelerden oluşan binalarda süneklik düzeyi yüksek taşıyıcı sistemlerin kullanılması zorunludur.
(b) Tablo 2.3'e göre bina önem katsayısı I = 1.2 ve I = 1.0 olan çelik binalarda,
$H_N \leq 16$ m olmak koşulu ile, sadece süneklik düzeyi normal çerçevelerden oluşan taşıyıcı sistemler kullanılabilir.

Bu yapı bina önem katsayısı 1.0 olan konut veya işyeri olarak tasarlanmıştır ve süneklik düzeyi yüksek merkezi sistem olarak çözülecektir.

Deprem yüklerinin tamamının çaprazlı perdeler tarafından taşındığı süneklik düzeyi yüksek binalar için R = 5 alınacaktır.

Kat döşemeleri, çelik kirişlere mesnetlenen ve trapez profilli sac levhalar üzerinde, yerinde dökme betonarme 120 mm kalınlığında döşeme sisteminden meydana gelmektedir. 2 m aralıklarla teşkil edilen ikincil ara kirişler ana kirişlere mafsallı olarak bağlanmaktadır. Kirişlerin kolonlara bağlantısı ise mafsallı olacaktır. Kolonların ± 0.00 kotunda, temele mafsallı olarak mesnetlendiği göz önünde tutulacaktır.

Deprem Yönetmeliği Madde 4.2.3.2'ye uygun olarak, deprem yükleri etkisindeki elemanların birleşim ve eklerinde ISO 8.8 ve 10.9 kalitesinde (akma gerilmesi sırasıyla, σ_a = 640 N/mm^2 ve σ_a = 900 N/mm^2) bulon kullanılacaktır. Kaynaklı

birleşimler ve kaynak malzemesi ile ilgili olarak Madde 4.2.3.3 uyarınca kaynaklı birleşimlerde çelik malzemesine ve kaynaklama yöntemine uygun elektrod kullanılacak ve elektrodun akma dayanımı birleştirilen malzemelerin akma dayanımından daha az olmayacaktır. Bu yapıda minimum karakteristik çekme dayanımı 480 MPa olan elektrod kullanılmıştır.

3.2 Yükler

Çatı katında**:**

çatı kaplaması + ısı izolasyonu +bağlantı elemanları +

elektrik ve mekanik tesisat = 1.0 kN/m^2

Toplam sabit yük g = 1.0 kN/ m^2

hareketli yük q = 1.0 kN/ m^2

Normal kat:

Kaplama + asma tavan + tesisat + bölme duvarları 2.0 kN/ m^2

Toplam sabit yük g = 2.0 kN/ m^2

hareketli yük q = 2.0 kN/ m^2

Dış cephe duvarı = 0.75 kN/m^2

Kar yükü = 1 kN/m^2

Not: Merdiven ve asansör bölgesinin yapıdan ayrı bir sistem olduğu varsayılmıştır.

3.3 Deprem Karakteristikleri

Tasarlanacak olan bina birinci derece deprem bölgesinde Z3 sınıfı zemine yapılacak olan konut veya işyeri olarak kullanılabilecek bir binadır.

Deprem bölgesi = 1

Etkin yer ivmesi katsayısı A_0 =0.4

Zemin sınıfı = Z3

Spektrum karakteristik periyotları T_A = 0.15 s T_B = 0.60 s

Taşıyıcı sistem davranış katsayısı her iki doğrultuda da süneklik düzeyi yüksek merkezi çelik çaprazlı perdelerle taşınan bina için R =5

Hareketli yük katılım katsayısı (konut ve iş yerleri için) n= 0.3

Kullanılan çelik cinsi: S355 için F_y = 355 N/ mm^2

Bina ETABS bilgisayar programı kullanılarak eşdeğer deprem yöntemi ile çözüldü.

Modelden elde edilen kat kütle ve ağırlıkları Tablo 3.1'deki gibidir. Bilgisayar programından elde edilen periyotlar

T_{1y} = 0.7330 s

T_{1x} = 0.7327 s

Deprem yükleri bina rijitlik merkezine ve ± 0.05*30 = ±1.5 m dışmerkezlik ile uygulanmıştır.

Tablo 3.1 Kat ağırlık ve kütleleri

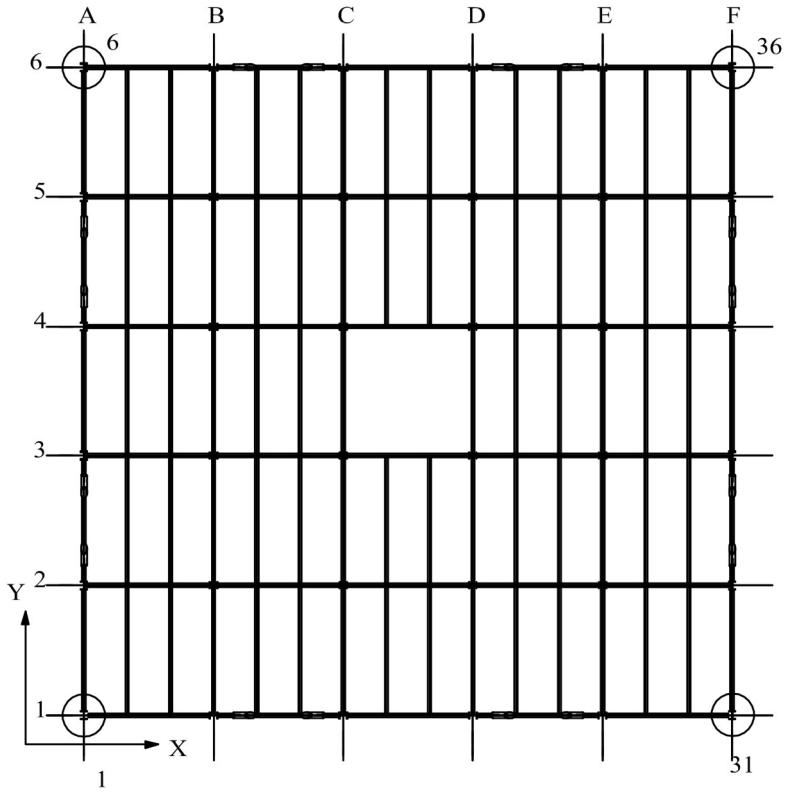
Kat	w_i	m_i
çatı	4574.89	466.3497
5	5711.13	582.1739
4	5712.25	582.2888
3	5744.79	585.6059
2	5776.21	588.8083
1	5776.21	588.8083
∑	33295.48 kN	3386.0349 kNs^2/m

3.4 Düzensizlik Kontrolleri

Deprem Yönetmeliği Madde 2.3'e göre düzensizlik kontrolleri bilgisayar modelinden alınan yer değiştirme verilerine göre kontrol edilmiştir. Düzensizlik kontrolünde kullanılan noktaların plan üzerindeki yerleşimleri Şekil 3.1'de görülmektedir.

3.4.1 A1- Burulma Düzensizliği

Tablo 3.2, A.1, A.2, A.3'e göre maksimum η_{bi} = 1.05 <1.20 olduğundan burulma düzensizliği yoktur.



Şekil 3.1 Düzensizlik kontrollerinde kullanılan noktaların plan üzerinde yerleri

Tablo 3.2 1 ve 6 numaralı noktalar için (E_{XP} - E_{XN})

KAT	**NO**	$\mathbf{U_x}$	$\mathbf{U_{x-1}}$	$\mathbf{\Delta_x}$	$\mathbf{\Delta_{max}}$	$\mathbf{\Delta_{min}}$	$\mathbf{\Delta_{ort}}$	**η**
6	1	0.0392	0.0325	0.0067	0.0073	0.0067	0.007	1.04
5	1	0.0325	0.0253	0.0072	0.008	0.0072	0.0076	1.05
4	1	0.0253	0.018	0.0073	0.008	0.0073	0.00765	1.05
3	1	0.018	0.011	0.007	0.0076	0.007	0.0073	1.04
2	1	0.011	0.0049	0.0061	0.0068	0.0061	0.00645	1.05
1	1	0.0049						
6	6	0.0433	0.036	0.0073				
5	6	0.036	0.0279	0.008				
4	6	0.0279	0.0199	0.008				
3	6	0.0198	0.0122	0.0076				
2	6	0.0122	0.0054	0.0068				
1	6	0.0054						

3.4.2 A2- Döşeme Süreksizliği

Bina toplam brüt alanı A = 30.30 =900 m^2 (900 / 3 = 300 m^2)

Binadaki toplam boşluk alanı A = 6.6 =36 m^2 < 300 m^2

Olduğundan süreksizliği mevcut değildir.

3.4.3 A3- Planda Çıkıntılar Bulunması

Binada çıkıntı mevcut değildir.

3.4.4 B2- Komşu Katlar Arası Rijitlik Düzensizliği

Tablo 2.3, A.4, A.5, A.6'ya göre maksimum η_{ki} = 1.13 <2.0 olduğundan komşu katlar arası rijitlik düzensizliği mevcut değildir.

Tablo 3.3 1 ve 6 numaralı noktalar için (E_X)

KAT	Δ_{ort}	Δ_{ort} / h	Δ_{ort-1} / h	η_{ki}
6	0.007	0.002	0.002171	0.92
5	0.0076	0.002171	0.002186	0.99
4	0.00765	0.002186	0.002086	1.05
3	0.0073	0.002086	0.001843	1.13
2	0.00645	0.001843		

3.4.5 B 3 Taşıyıcı Sistemin Düşey Elemanlarının Süreksizliği

Düşey elemanlarda süreksizlik mevcut değildir.

3.5 Rüzgar Yükleri

Rüzgar yükleri belirlenirken TS 498 Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri Standardı rüzgar yükü bölümüne göre belirlenmiştir ve bulunan yükler kolonlara yayılı yük olarak etkitilmiştir. Rüzgar yükü aşağıdaki eşitlik ile hesaplanır.

$$W_i = c_f * q_r * A_i. \quad \textbf{(3.1)}$$

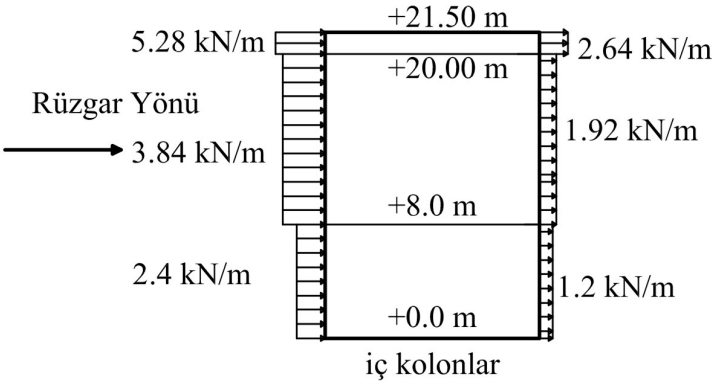
c_f : aerodinamik yük katsayısıdır. Plandaki izdüşümü dikdörtgen olan ve yükseklik/genişlik oranı 5'i aşmayan bina türü yapılarda c_f değeri 1.2 olarak alınmıştır.

A_i : rüzgar yükünü aktaran alan,

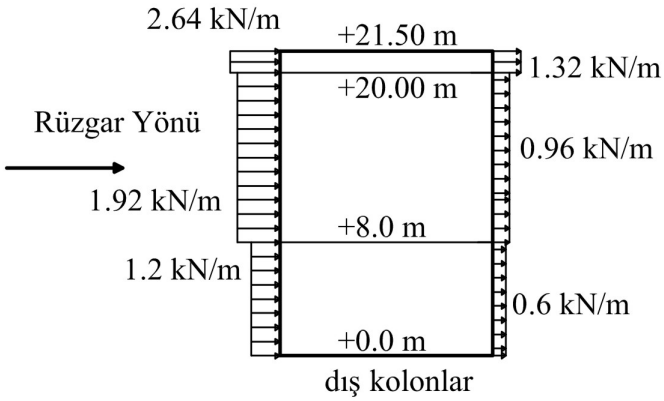
q_r : Nominal rüzgar basıncıdır. Bina yüksekliğine bağlı olarak

$0 < H \leq 8$ m	için	$q_r = 0.5$ kN/m^2
$8 < H \leq 20$ m	için	$q_r = 0.8$ kN/m^2
$20 < H \leq 100$ m	için	$q_r = 1.1$ kN/m^2

Olarak alınır.



Şekil 3.2 Rüzgar yüklerinin iç kolonlara dağılış profili



Şekil 3.3 Rüzgar yüklerinin dış kolonlara dağılış profili

3.5.1 Basınç Bölgesi

İç kolonlarda : $w = 0.8 * 0.5 * 6 = 2.40$ kN/m $0 < H \leq 8$ m

$w = 0.8 * 0.8 * 6 = 3.84$ kN/m $8 < H \leq 20$ m

$w = 0.8 * 1.1 * 6 = 5.28$ kN/m $20 < H \leq 21$ m

Dış kolonlarda : $w = 0.8 * 0.5 * 3 = 1.2$ kN/m $0 < H \leq 8$ m

$w = 0.8 * 0.8 * 3 = 1.92$ kN/m $8 < H \leq 20$ m

$w = 0.8 * 1.1 * 3 = 2.64$ kN/m $20 < H \leq 21$ m

3.5.2 Emme Bölgesi

İç kolonlarda : $w = 0.4 * 0.5 * 6 = 1.20$ kN/m $0 < H \leq 8$ m

$w = 0.4 * 0.8 * 6 = 1.92$ kN/m $8 < H \leq 20$ m

$w = 0.4 * 1.1 * 6 = 2.64$ kN/m $20 < H \leq 21$ m

Dış kolonlarda : $w = 0.4 * 0.5 * 3 = 0.60$ kN/m $0 < H \leq 8$ m

$w = 0.4 * 0.8 * 3 = 0.96$ kN/m $8 < H \leq 20$ m

$w = 0.4 * 1.1 * 3 = 1.32$ kN/m $20 < H \leq 21$ m

3.6 Yük Kombinasyonları

Yük kombinasyonları olarak ASCE7–05 yönetmeliğinden güvenlik gerilmeleri hesap yöntemi (ASD) için verilen yük kombinasyonları kullanılmıştır.

$E_1 = E_X + 0.3\ E_Y$

$E_2 = -E_X + 0.3\ E_Y$

$E_3 = E_X - 0.3\ E_Y$

$E_4 = -E_X - 0.3\ E_Y$

$E_5 = E_{XP} + 0.3\ E_Y$

$E_6 = -E_{XP} + 0.3\ E_Y$

$E_7 = E_{XP} - 0.3\ E_Y$

$E_8 = -E_{XP} - 0.3\ E_Y$

$E_9 = E_{XN} + 0.3\ E_Y$

$E_{10} = -E_{XN} + 0.3\ E_Y$

$E_{11} = E_{XN} - 0.3\ E_Y$

$E_{12} = -E_{XN} - 0.3\ E_Y$

$E_{13} = E_Y + 0.3\ E_X$

$E_{14} = -E_Y + 0.3\ E_X$

$E_{15} = E_Y - 0.3\ E_X$

$E_{16} = -E_Y - 0.3\ E_X$

$E_{17} = E_{YP} + 0.3\ E_X$

$E_{18} = -E_{YP} + 0.3\ E_X$

$E_{19} = E_{YP} - 0.3\ E_X$

$E_{20} = -E_{YP} - 0.3\ E_X$

$E_{21} = E_{YN} + 0.3\ E_X$

$E_{22} = -E_{YN} + 0.3\ E_X$

$E_{23} = E_{YN} + 0.3\ E_X$

$E_{24} = -E_{YN} - 0.3\ E_X$

$C\ 1 = 1.0\ D$

$C\ 2 = 1.0\ D + 1.0\ L + 1.0\ S \setminus L_r$

$C\ 3 = 1.0\ D + 1.0\ W_{XP}$

$C\ 4 = 1.0\ D + 1.0\ W_{XN}$

$C\ 5 = 1.0\ D + 1.0\ W_{YP}$

$C\ 6 = 1.0\ D + 1.0\ W_{YN}$

C 7 – C 30 = 1.0 D + E_1 +…+ E_{24}

C 31 = 1.0 D + 0.75 W_{XP} + 0.75 L + 0.75 S \ 0.75 L_r

C 32 = 1.0 D + 0.75 W_{XN} + 0.75 L + 0.75 S \ 0.75 L_r

C 33 = 1.0 D + 0.75 W_{YP} + 0.75 L + 0.75 S \ 0.75 L_r

C 34 = 1.0 D + 0.75 W_{YN} + 0.75 L + 0.75 S \ 0.75 L_r

C 35 – C 58 = 1.0 D + 0.75 (L + E1+ …+ E24 + S \ L_r)

C 59 = 0.60 D + 1.0 W_{XP}

C 60 =0.60 D + 1.0 W_{XN}

C 61 = 0.60 D + 1.0 W_{YP}

C 62 = 0.60 D + 1.0 W_{YN}

C 63 - C 86 = 0.60 D + E_1 + ….+ E_{24}

Kapasite kontrolü ile ilgili kontrollerde T.D.Y Madde 4.2.4'te belirtilen yerlerde Ω = 2 değeri kullanılmıştır.

3.7 Sistem Analizleri

Analizi yapılacak olan bina Etabs programından elde edilen toplamda 182 adet yük birleşimine göre incelenecektir.

3.7.1 Göreli Kat Ötelemelerinin Kontrolü

Etkin göreli kat ötelemelerinin hesaplandığı Tablo 2.4, A.7, A.8, A.9, A.10, A.11'e göre X ve Y yönünde

Tablo 3.4 1 numaralı noktalar için (E_{YN}) ve 31 numaralı nokta için (E_{YP})

KAT	Δ_x	$\delta_{ix} = \Delta_{ix} R$	$\delta_{ix} / 3.5$
6	0.0073	0.0365	0.00104
5	0.008	0.040	0.00114
4	0.0081	0.0405	0.00116
3	0.0077	0.0385	0.0011
2	0.0069	0.0345	0.0099
1	0.0053	0.0265	0.0076

Deprem Yönetmeliği Madde 2.10.1.3'e göre her bir deprem doğrultusu için, binanın herhangi bir i. katındaki kolon veya perdelerde, ($\delta_i = R\Delta_i$) ile hesaplanan δ_i etkin göreli kat ötelemelerinin kat içindeki en büyük değeri (δ_{imax})/$h_i \leq 0.02$ sınırını sağlamaktadır.

$(\delta_{ixmax})/h_i = 0.011571 \leq 0.02$ ve $(\delta_{iymax})/h_i = 0.011571 \leq 0.02$

3.7.2 İkinci Mertebe Etkileri

Deprem Yönetmeliği Madde 2.10.2 uyarınca, göz önüne alınan deprem doğrultusunda her bir katta ikinci mertebe etkilerini temsil eden ikinci mertebe gösterge değeri, θ_i hesaplanarak

$$\theta_i = \frac{(\Delta_i)_{ort} \sum_{j=i}^{N} w_j}{V_i h_i} \leq 0.12 \qquad \textbf{(3.2)}$$

koşulu kontrol edilecektir [12].

$\max(\Delta_{5y})_{ort} = 0.0077$ m = 0.77 cm olarak 4. katta (E_Y altında) meydana gelmektedir.

$$\sum_{j=4}^{6} w_j = 5712.25 + 5711.13 + 4574.89 = 15998.27kN$$

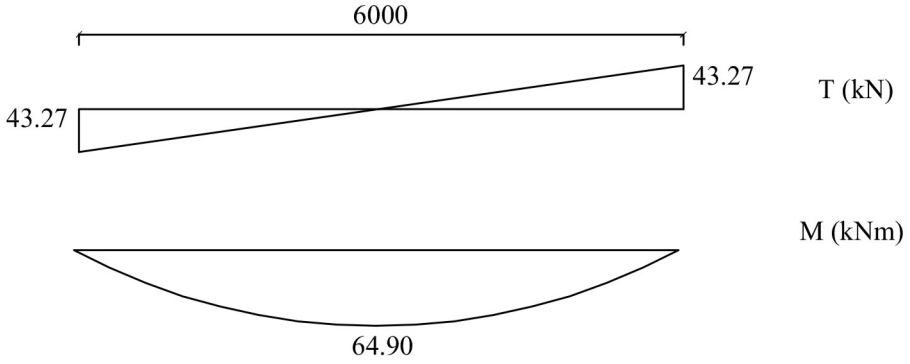
$V_{4y} = 3974.57$ kN

H = 3.5 m = 350 cm

$$\theta_{maks} = \theta_{4y} = \frac{0.77(15998.27)}{3974.57(350)} = 0.00885 \leq 0.12$$

3.7.3 İkincil Döşeme Kirişlerinin Boyutlandırılması

Tali kirişler çerçeve kirişlerine mafsallı olarak bağlanmıştır ve bu kirişlerin kontrolü C 2 = D + L + S \ L_r yük birleşimine göre gerilme ve sehim kontrolleri yapılacaktır.



Şekil 3.4 Tali kiriş kesme kuvveti ve moment diyagramı

Normal kat

$M_{D+L} = 64.90$ kNm (C 2)

T_{D+L} = 43.27 kN

Seçilen kesit IPE300

W_x = 557.1 cm^3 , I_x = 8356 cm^4, t_w = 7.1 mm, t_f = 10.7 mm

Ω = 1.67 alınarak güvenle taşınabilecek eğilme momenti :

$$M_{e,x} \le M_{yx} = W_x F_y \quad \textbf{(3.3)}$$

$$M_g = \frac{M_{e,x}}{\Omega} = \frac{W_x F_y}{\Omega} \quad \textbf{(3.4)}$$

M_{yx} = x - x eksenindeki eğilmede akma momenti, Nmm (= W_x F_y)

Ω = güvenlik katsayı (1.67)

$$\frac{M_{e,x}}{\Omega} = \frac{W_x F_y}{\Omega} = \frac{557.1(10^3)355}{1.67}(10^{-6}) = 118.43kNm > 64.90kNm$$

Kayma gerilmesi kontrolü :

$$V_n / \Omega = 0.6 F_y A_w C_v / \Omega > V_a \quad \textbf{(3.5)}$$

V_a = gerekli kayma dayanımı, N

V_n = karakteristik kayma dayanımı, N

A_w = Gövde alanı, mm^2 ($A_w = d_g t_w$)

d_g = gövdenin düz kısmının uzunluğu, mm

t_w = Gövdenin kalınlığı, mm

Ω = Kayma güvenlik katsayısı (= 1.67)

C_v = Gövde stabilitesini göze almak için kullanılan katsayı

$$\frac{d_g}{t_w} \le 2.24\sqrt{\frac{E}{F_y}} \text{ ise } C_v = 1.0 \quad \textbf{(3.6)}$$

$$\frac{d_g}{t_w} = \frac{248.6}{7.1} = 35.01 \le 2.24\sqrt{\frac{200000}{355}} = 53.17 \rightarrow C_v = 1.0$$

$$V_n / \Omega = \frac{0.6(355)248.6(7.1)1.0}{1.67}(10^{-3}) = 225kN > V_a = 43.27kN$$

Sehim kontrolü:

$f_{normalkat}$=0.014 m= 1.4 cm, L = 600cm

$$f_{\max} = 1.4cm < \frac{L}{300} = \frac{600}{300} = 2cm$$ IPE300 uygun

3.7.4 Ana Çerçeve Kirişlerinin Boyutlandırılması

1. kat 2B-3B aksları arasındaki çerçeve kirişinde C 2 = D + L + S \ L_r elde edilen yük birleşimi en elverişsiz koşulları vermiştir.

M_{D+L} = 175.636 kNm

T_{D+L} = -88.25 kN

Seçilen kesit IPE360:

W_x = 903.6 cm^3 , I_x = 16270 cm^4 , S_x = 509.5cm^3 , t_w = 8 mm

En kesit boyutları:

başlık genişliği : b_f = 170 mm,

başlık kalınlığı: t_f = 12.7 mm

enkesit yüksekliği d = 360 mm

gövde kalınlığı : tw= 8 mm

h_b = 334.6 mm

d_g = 298.6 mm

başlık alanı : A_{bp} = 17(1.27) = 21.59 cm^2

Süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı perdelerin kirişleri için Deprem Yönetmeliği Madde 4.6.1.1'de verilen enkesit koşulları uyarınca, kiriş enkesitinin başlık genişliği / kalınlığı ve gövde yüksekliği / kalınlığı oranlarının Tablo 4.3'te verilen koşulları sağlaması gerekmektedir [12].

$$\frac{b_f / 2}{t} \le 0.3\sqrt{E_s / \sigma_a} \qquad \textbf{(3.7)}$$

ve

$$\frac{d_g}{t_w} \le 3.2\sqrt{E_s / \sigma_a} \qquad \textbf{(3.8)}$$

S355 yapı çeliği için $\sqrt{E_s / \sigma_a} = \sqrt{\frac{200000}{355}} = 23.74$

$\frac{b}{2t} = \frac{170}{2*12.7} = 6.69 \le 0.3*23.74 = 7.122$ ve

$$\frac{d_g}{t_w} = \frac{334.6}{8} = 41.825 \le 3.2 * 23.74 = 75.97$$

3.7.4.1 Eğilme Güvenlik Gerilmesi

l_b = 2000 mm (l_b = tutulu olmayan basınç başlığı uzunluğu, mm)

r_y = 44.7 mm (kiriş başlığının ve gövde yüksekliğinin 1/6'inin yanal doğrultudaki atalet yarıçapı, mm)

$$r_y = \sqrt{\frac{t_f b_f^3 / 12}{t_f b_f + t_w (d - 2t_f)/6}} \tag{3.9}$$

$$r_y = \sqrt{\frac{t_f b_f^3 / 12}{t_f b_f + t_w (d - 2t_f)/6}} = \sqrt{\frac{(1.27)17^3 / 12}{(1.27)17 + (0.8)(36 - 2(1.27))/6}}$$

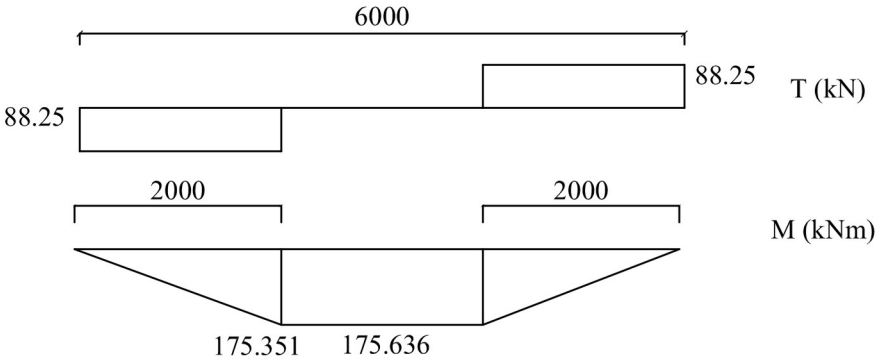
$$= \sqrt{\frac{519.96}{26.05}} = 4.47cm = 44.7mm$$

$$C_b = 1.75 + 1.05\left(\frac{M_1}{M_2}\right) + 0.3\left(\frac{M_1}{M_2}\right)^2 \le 2.3 \tag{3.10}$$

şeklinde hesaplanan bir katsayıdır.

M_1, M_2= kirişin yanal desteklerinin olduğu noktalardaki uç momentlerinin en küçüğü ve büyüğü, Nmm

C_b = Tutulu noktalar arasında, kuvvetli asal eksen etrafındaki mutlak değerce küçük olan eğilme momenti M_1 ve büyük olan eğilme momenti M_2 bağlı olarak hesaplanan katsayı



Şekil 3.5 Ana kiriş kesme kuvveti ve moment diyagramı

1. kısım için:

$$C_b = 1.75 + 1.05\left(\frac{0}{175.351}\right) + 0.3\left(\frac{0}{175.351}\right)^2 = 1.75 \le 2.3$$

$$l_b \le r_y \sqrt{\frac{3(10^6)C_b}{F_y}} \qquad \textbf{(3.11)}$$

$l_b = 200cm = 2000mm \le r_y \sqrt{\frac{3(10^6)C_b}{F_y}} = 44.7\sqrt{\frac{3(10^6)1.75}{355}} = 5435.92mm$ olduğundan

$$F_b = \left[\frac{2}{3} - \frac{F_y (L/r_y)^2}{10^7 C_b}\right] F_y \le \frac{F_y}{\Omega} \qquad \textbf{. .(3.12)}$$

$$F_b = \left[\frac{2}{3} - \frac{355(2000/44.7)^2}{10^7 (1.75)}\right] 355 = 222.25 N/mm^2 \ge \frac{355}{1.67} = 212.57 N/mm$$

Herhangi bir L_y / r_y değeri için

$$F_b = \frac{83(10^3)C_b}{L_b d / A_f} \le \frac{F_y}{\Omega} \qquad \textbf{(3.13)}$$

$$A_f = b_f t_f \qquad \textbf{(3.14)}$$

$$A_f = b_f t_f = 170(12.7) = 2159mm^2$$

$$F_b = \frac{83(10^3)C_b}{L_b d / A_f} \le \frac{F_y}{\Omega}$$

$$F_b = \frac{83(10^3)1.75}{2000(360)/2159} = 435.55 N/mm^2 \ge 212.57 N/mm^2$$

$$F_b = 212.57 N/mm^2$$

$$M_g = \frac{M_{e,x}}{\Omega} = W_x F_b \qquad \textbf{(3.15)}$$

$$M_g = 903.6(10^3)(212.57) = 192078.252(10^3) Nmm = 192.078 kNm > 162.229 kNm$$

2. kısım için:

$$C_b = 1.75 + 1.05\left(-\frac{175.351}{175.351}\right) + 0.3\left(-\frac{175.351}{175.351}\right)^2 = 1.00 \le 2.3$$

Yanal mesnetler arasında orta noktada moment değer M_1 ve M_2 büyük olduğu için C_b 1 olarak alınır.

$$l_b = 200cm = 2000mm \le r_y\sqrt{\frac{3(10^6)C_b}{F_y}} = 44.7\sqrt{\frac{3(10^6)1.0}{355}} = 4109.2mm \text{ olduğundan}$$

$$F_b = \left[\frac{2}{3} - \frac{F_y(L/r_y)^2}{10^7 C_b}\right]F_y \le \frac{F_y}{\Omega} \rightarrow$$

$$F_b = \left[\frac{2}{3} - \frac{355(2000/44.7)^2}{10^7(1.0)}\right]355 = 211.56N/mm^2 \le \frac{355}{1.67} = 212.57N/mm$$

Herhangi bir L_y/r_y değeri için $F_b = \dfrac{83(10^3)C_b}{L_b d/A_f} \le \dfrac{F_y}{\Omega}$

$$A_f = b_f t_f = 170(12.7) = 2159mm^2$$

$$F_b = \frac{83(10^3)C_b}{L_b d/A_f} \le \frac{F_y}{\Omega}$$

$$F_b = \frac{83(10^3)1.0}{2000(360)/2159} = 248.88N/mm^2 \ge 212.57N/mm^2$$

$$F_b = 211.56N/mm^2$$

$$M_g = \frac{M_{e,x}}{\Omega} = W_x F_b$$

$$M_g = 903.6(10^3)(211.56) = 191165.62(10^3)Nmm = 191.165kNm > 162.229kNm$$

3.7.4.2 Kayma Tahkiki

Hadde I kesitlerde

$$\frac{d_g}{t_w} = \frac{298.6}{8} = 37.325 \le 2.24\sqrt{\frac{200000}{355}} = 53.17 \rightarrow C_v = 1.0$$

$$A_w = d_g t_w = (298.6)8 = 2388.8mm^2$$

$$V_n = 0.6F_y A_w = (0.6)355(2388.8)(10^{-3}) = 508.8144kN$$

$$V_a \le \frac{V_n}{\Omega} \rightarrow V_a = 88.25kN \le V_n = \frac{508.8144}{1.67} = 367.33kN$$

Sehim f_{max} = 21mm ≈ L/300 = 6000/300=20mm

3.7.5 Kiriş Yanal Çaprazlarının Seçimi

AISC 360-05 ek 6'ya göre kirişlere yapılacak yanal çaprazların dayanımı [18]

$$P_{br} = 0.02\frac{M_r C_d}{h_o} \quad \textbf{(3.16)}$$

Rijitliği ise

$$\beta_{br} = \Omega\left(\frac{10M_r C_d}{L_b h_o}\right) \quad \textbf{(3.19)}$$

ile bulunan değerlerden büyük olmalıdır [18].

Ω = 2.0

M_r = Gerekli eğilme dayanımı, Nmm

L_b = Yanal olarak tutulmamış uzunluk, mm

C_d = Moment diyagramının şekline bağlı katsayı

Tek eğrilik için 1.0, çift eğrilik için 2.0 alınır.

h_o = profilin başlık merkezleri arasındaki uzaklık, mm

M_r = 175.351 kNm = 175.351 (10^6) Nmm

L_b = 2000 mm

C_d = 1.0 (1. kısım için)

h_o = 347.3 mm

$$P_{br} = 0.02\frac{(175.351)10^6(1.0)}{347.3} = 10098N$$

AISC 360-05'e göre bu gerekli dayanım çaprazlar için açıya göre uyarlamalıdır. Buna göre gerekli dayanım

$$\frac{P_{br}}{\sin\alpha} = \frac{10098}{0.316} = 31956N$$

Gerekli rijitlik

$$\beta_{br} = 2.0\left(\frac{10(175.351)10^6 1.0}{2000(347.3)}\right) = 5049N/mm$$

$$\frac{\beta_{br}}{\sin\alpha} = \frac{5049}{0.316} = 15978N/mm$$

2.kısım için

Gerekli dayanım

$C_d = 2.0$

$$P_{br} = 0.02\frac{(175.636)10^6(2.0)}{347.3} = 20196N$$

$$\frac{P_{br}}{\sin\alpha} = \frac{20196}{0.316} = 63911N$$

Gerekli rijitlik

$$\beta_{br} = 2.0\left(\frac{10(175.636)10^6 2.0}{2000(347.3)}\right) = 14181N/mm$$

$$\frac{\beta_{br}}{\sin\alpha} = \frac{14181}{0.316} = 44877N/mm$$

Çapraz eleman olarak L 130*12 eşit kollu korniyer seçilirse

$A = 30\ cm^2$

$i = 3.97\ cm$

Basınç dayanımı

$$\frac{KL}{i} = \frac{1.0(6325)}{39.7} = 159.32$$

$$\lambda_p = \frac{KL}{i} = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{F_y}} = \sqrt{\frac{2\pi^2 200000}{235}} = 129.61$$

$\lambda = 159.32 > \lambda_p = 129.61$ olduğundan

$$F_{cr} = F_e = \frac{\pi^2 E}{(KL/i)^2} = \frac{\pi^2 200000}{(159.32)^2} = 77.77N/mm^2$$

$\Omega = 2.5$

$$P_n = AF_{cr}/\Omega = 3000\frac{77.77}{2.5} = 93324N$$

$P_n = 93324N > P_{br} = 63911N$

rijitlik

$$\beta_n = \frac{EA}{l} = \frac{200000(3000)}{6325} = 94862N/mm$$

$$\beta_n = 94862N/mm > \beta_{br} = 44877N/mm$$

$KL/i = 159.32 < 200$ olduğundan seçilen kesit yeterlidir.

3.7.6 Çapraz Elemanların Boyutlandırılması

1 aksında 1B-1C arasındaki ilk kattaki çaprazda C 15'ten oluşan etkiler altında gerilme kontrolü yapılacaktır.

C 15 = D + E_{XN} + 0.3 E_Y

N_{E15} = - 937.22 kN

Seçilen kesit CHS 273*10

A = 82.60 cm^2 , i_{min} = 9.31 cm

Süneklik düzeyi yüksek merkezi çelik çaprazlı perdelerin elemanları için Deprem Yönetmeliği Madde 4.6.1.1'de verilen en kesit koşulları uyarınca, çapraz elemanların kenar uzunluğu / kalınlık oranının Tablo 4.3'te verilen koşulu sağlaması gerekmektedir. Çapraz elemanın en kesitinde yerel burkulmanın önlenmesini amaçlayan bu koşul

$$\frac{D}{t} \le 0.05\frac{E_s}{\sigma_a} \qquad \textbf{(3.20)}$$

$$\frac{D}{t} \le 0.05\frac{E_s}{\sigma_a} \rightarrow \frac{273}{10} = 27.3 \le 0.05\frac{200000}{355} = 0.05(563.38) = 28.16$$

D = Dairesel halka kesitlerde dış çap, mm

Deprem Yönetmeliği Madde 4.6.1.2'ye göre basınca çalışan elemanların narinlik oranı [12]

$$\frac{K\ L}{i_{\min}} < 4.0\sqrt{\frac{E_s}{\sigma_a}} \qquad \textbf{(3.21)}$$

$$\frac{K\ L}{i_{\min}} = \frac{(1.0)6946.2}{93.1} = 74.61 < 4.0\sqrt{\frac{E_s}{\sigma_a}} = 94.96$$

K = Burkulma katsayısı (iki ucu mafsallı çubuk için 1.0)

L = Çubuk boyu, mm

i = atalet yarıçapı, mm

Çubuk boyu 694.62 cm olan çapraz elemanda (x-x) ekseninde narinlik oranı,

$$\frac{K_x L}{i_x} = \frac{(1.0)6946.2}{93.1} = 74.61$$

(y-y) ekseninde narinlik

$$\frac{K_y L}{i_y} = \frac{(1.0)6946.2}{93.1} = 74.61$$

$$\frac{KL}{i} = 74.61 < 94.6$$

Basınç elemanlarındaki karakteristik dayanım belirlenirken TS 648 3.2.2.2'de verilen yöntem kullanılırsa [16,17]

Sınır narinlik oranı (λ_p),

$$\lambda_p = \frac{KL}{i} = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{F_y}} \qquad \textbf{(3.22)}$$

$$\lambda_p = \frac{KL}{i} = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{F_y}} = \sqrt{\frac{2\pi^2 200000}{355}} = 105.45$$

$\lambda_x = \lambda_y = 74.61 < \lambda_p = 105.45$ olduğundan

$$\lambda = \frac{KL}{i} < \lambda_p \text{ için } F_{cr} = \left[1 - \frac{1}{2}\left(\frac{\lambda}{\lambda_p}\right)^2\right] F_y \qquad \textbf{(3.23)}$$

F_{cr} = kritik dayanım, N/mm^2

$$20 < \lambda < \lambda_p \text{ için } \Omega = 1.5 + 1.2\left(\frac{\lambda}{\lambda_p}\right) - 0.2\left(\frac{\lambda}{\lambda_p}\right)^3 \qquad \textbf{(3.24)}$$

Ω = güvenlik katsayısı

$$F_{cr} = \left[1 - \frac{1}{2}\left(\frac{74.61}{105.45}\right)^2\right](355) = 0.75(355) = 266.25 N/mm^2$$

$$\Omega = 1.5 + 1.2\left(\frac{74.61}{105.45}\right) - 0.2\left(\frac{74.61}{105.45}\right)^3 = 1.5 + 0.85 - 0.071 = 2.279$$

$$F = \frac{F_{cry}}{\Omega}(=\sigma_{em}) \qquad \textbf{(3.25)}$$

$$F = \frac{266.25}{2.279} = 116.83 N/mm^2$$

$$P_g = A\frac{F_{cry}}{\Omega} \qquad \textbf{(3.26)}$$

$$P_g = A\frac{F_{cry}}{\Omega} = 8260(116.83) = 965015.8N = 965kN > P_a = 937.22kN$$

3.7.7 Kolonların Boyutlandırılması

1. kat A aksı C2 kolonu en elverişsiz C 28 = 1.0 D - E_{YN} + 0.3 E_X 'e göre boyutlandırılacaktır.

N_{E28} = - 3951.14 kN

Seçilen kolon kesiti HE360M için en kesit özellikleri:

A = 318.80 cm^2 = 31880 mm^2,

W_x = 4297 cm^3 , I_x = 84870 cm^4 , S_x = 2495 cm^3 , i_x = 16.32 cm

W_y = 1268 cm^3 , I_y = 19520 cm^4 , S_y = 971cm^3 , i_y = 7.83 cm

b_f = 308 mm, : t_f = 40 mm

d = 395 mm, : t_w = 21 mm

h_b = 315mm

başlık alanı : A_{bp} = 30.8 (4) = 123.2 cm^2

Süneklik düzeyi yüksek merkezi çelik çaprazlı perdelerin kolonları için Deprem Yönetmeliği Madde 4.6.1.1'de verilen enkesit koşulları uyarınca, kolon enkesitinin başlık genişliği / kalınlığı ve gövde yüksekliği / kalınlığı oranlarının Tablo 4.3'te verilen koşulları sağlaması gerekmektedir [12].

Kolon enkesitinde yerel burkulmanın önlenmesini amaçlayan bu koşullar

$$\frac{b_f/2}{t} \le 0.3\sqrt{E_s/\sigma_a} \qquad \textbf{(3.27)}$$

$$\frac{b_f/2}{t} \le 0.3\sqrt{E_s/\sigma_a} \rightarrow \frac{308/2}{40} = 3.85 \le 0.3\sqrt{200000/355} = 0.3(23.74) = 7.122$$

$$\left|\frac{N_d}{\sigma_a A}\right| > 0.10 \rightarrow \left|\frac{3951.14(10^3)}{355(31880)}\right| = \frac{3951140}{11317400} = 0.35 > 0.10 \text{ için} \qquad \textbf{(3.28)}$$

$$\frac{d_g}{t_w} \le 1.33\sqrt{E_s/\sigma_a}\left(2.1 - \frac{N_d}{\sigma_a A}\right) \qquad \textbf{(3.29)}$$

$$\frac{d_g}{t_w} \le 1.33\sqrt{E_s/\sigma_a}\left(2.1 - \frac{N_d}{\sigma_a A}\right) \rightarrow \frac{315}{21} = 15 \le 1.33(23.74)(2.1 - 0.35) = 55.25$$

N_d = Düşey yükler ve deprem yüklerinin ortak etkisi altında hesaplanan eksenel kuvvet, N

Elde edilir ve enkesit koşullarının sağlandığı görülür.

C2 kolonunun her iki eksen doğrultusunda yanal ötelemesinin merkezi çapraz sistemi ile önlenmiş olduğu göz önünde tutulur. Buna göre S_{kx} ve S_{ky} burkulma boyları

S_{kx} = 1.0 (350) = 350 cm, S_{ky} = 1.0 (350) = 350 cm

Değerlerini alır, narinlik oranları ise

$\lambda_x = \frac{350}{16.32} = 21.45$, $\lambda_y = \frac{350}{7.83} = 44.7$, λ = maks(λ_x , λ_y) =44.7 olarak bulunur.

Sınır narinlik oranı:

$$\lambda_p = \frac{KL}{i} = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{F_y}} = \sqrt{\frac{2\pi^2 200000}{355}} = 105.45$$

Kolon en büyük narinliğe sahip olan eksende burkulacağından

$\lambda_y = 44.7 < \lambda_p = 105.45$ olduğundan

$$\lambda = \frac{KL}{i} < \lambda_p \text{ için } F_{cr} = \left[1 - \frac{1}{2}\left(\frac{\lambda}{\lambda_p}\right)^2\right] F_y$$

$$20 < \lambda < \lambda_p \text{ için } \Omega = 1.5 + 1.2\left(\frac{\lambda}{\lambda_p}\right) - 0.2\left(\frac{\lambda}{\lambda_p}\right)^3$$

$$F_{cr} = \left[1 - \frac{1}{2}\left(\frac{44.7}{105.45}\right)^2\right](355) = 0.91(355) = 323.05 N/mm^2$$

$$\Omega = 1.5 + 1.2\left(\frac{44.7}{105.45}\right) - 0.2\left(\frac{44.7}{105.45}\right)^3 = 1.5 + 0.51 - 0.02 = 1.99$$

$$F = \frac{F_{cry}}{\Omega} (= \sigma_{em})$$

$$F_{cr} = \frac{323.05}{1.99} = 162.34 N/mm^2$$

$$P_g = AF_{cr} = 31880(162.34) = 5175399.2N = 5175.4kN \geq P_a = 3951.14kN$$

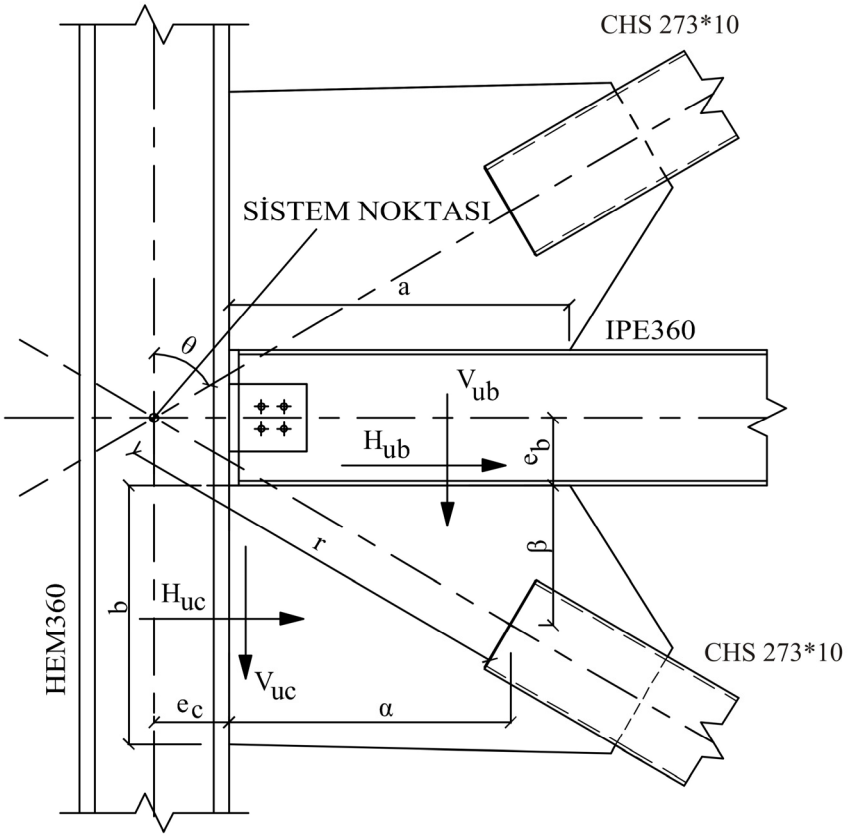
P_g = mevcut dayanım, N

Tablo 3.5 Seçilen enkesitler

TAŞIYICI SİSTEM ELEMANI	**ENKESİT PROFİLİ**
İkincil Kirişler	IPE300
Ana Kirişler	IPE360
+ 0.00 - + 12.00 Kotları Arası Dış Çerçeve Kolonları	HEM360
+ 12.00 - + 21.00 Kotları Arası Dış Çerçeve Kolonları	HEB360
+ 0.00 - + 12.00 Kotları Arası İç Çerçeve Kolonları	HEB360
+ 12.00 - + 21.00 Kotları Arası İç Çerçeve Kolonları	HEB340
Çapraz Elemanlar (Tüm Katlarda)	CHS 273*10
Ana Kiriş Yanal Çaprazları	L 120*10

3.8 Çapraz Elemanı Birleşiminin Tasarımı

3.8.1 Çapraz Elemanın, Kiriş ve Kolonlar ile Birleşim Detaylarının Tasarımı



Şekil 3.6 Kuvvet Dağıtım Metodunda kullanılan simgeler

e_c = kolon aksından, kolon yüzüne kadar olan mesafe, mm

e_b = kiriş yüksekliğinin yarısı, mm

α = kolon yüzünden birleşimin merkezine kadar olan yatay mesafe, mm

β = kiriş yüzünden birleşimin merkezine kadar olan düşey mesafe, mm

e_c = 395/2 = 197.5 mm (HE360M)

e_b = 180 mm (IPE360)

α = 742.90 mm

$\theta = 59.74^o$

$\cos\theta = 0.504$

$\sin\theta = 0.864$

$$\alpha - \beta(\tan\theta) = e_b(\tan\theta) - e_c \qquad \textbf{(3.30)}$$

Birleşimde moment oluşmaması için bu geometrik eşitliğin sağlanması gereklidir.

742.90 - β (1.714) = 180 (1.714) - 197.5

742.90 – 111.02 = 1.714 β

β = 368.66 mm

a = 900 mm (çizimden)

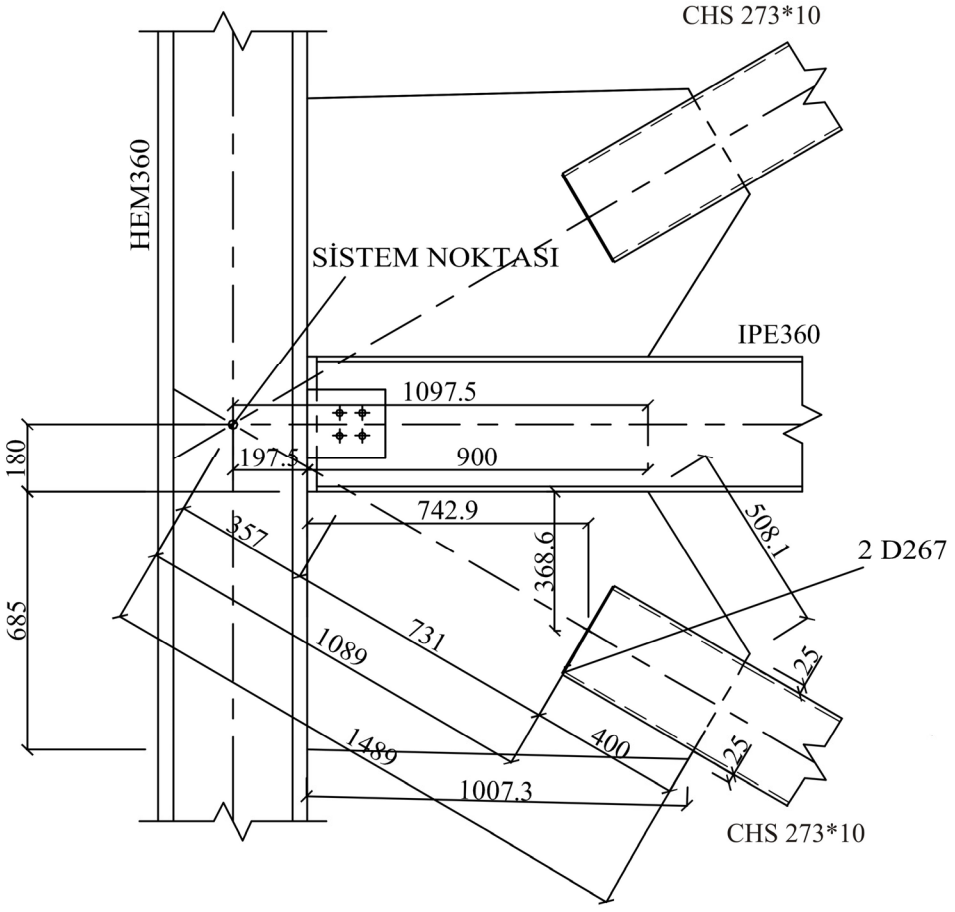
b = 685 mm (çizimden)

$$r = \sqrt{(\alpha + e_c)^2 + (\beta + e_b)^2} \quad \textbf{(3.31)}$$

$$r = \sqrt{(\alpha + e_c)^2 + (\beta + e_b)^2} = \sqrt{(742.90 + 197.5)^2 + (368.66 + 180)^2} = 1088.75mm$$

r = birleşimin merkezinin kiriş başlığına olan dik uzaklığı, mm

t = 25 mm (S355 kalitesinde)



Şekil 3.7 Çapraz eleman - kiriş, kolon birleşim detayı

Çaprazın tasarım kuvveti:

$P_ç$ = 857.07 kN (C 108 = 0.6 D + (- E_{YN} + 0.3 E_X))

P_b = - 930.05 kN (C 53 = D + (E_{YN} – 0.3 E_X))

İlk olarak analiz sonucu çapraz elemanda bulunan maksimum kuvvet C 29'dan bulunan basınç kuvveti 930.05 kN'a göre tasarlanacak daha sonra çaprazın basınç

kapasitesine göre birleşimin kapasite kontrolü yapılacaktır. Çizim programı yardımı ile Whitmore gerilme yayılışını sağlayacak şekilde levha boyutları belirlenmiştir.

$$V_{uc} = \frac{\beta}{r} P_u = \frac{368.66}{1088.75} 930.05 = 314.92kN \quad \textbf{(3.32)}$$

$$H_{uc} = \frac{e_c}{r} P_u = \frac{197.5}{1088.75} 930.05 = 168.71kN \quad \textbf{(3.33)}$$

$$V_{ub} = \frac{e_b}{r} P_u = \frac{180}{1088.75} 930.05 = 153.76kN \quad \textbf{(3.34)}$$

$$H_{ub} = \frac{\alpha}{r} P_u = \frac{742.90}{1088.75} 930.05 = 634.61kN \quad \textbf{(3.35)}$$

V_{uc} = tasarım kuvvetinin kolon yüzeyindeki düşey bileşeni, N

H_{uc} = tasarım kuvvetinin kolon yüzeyindeki yatay bileşeni, N

V_{ub} = tasarım kuvvetinin kiriş yüzeyindeki düşey bileşeni, N

H_{ub} = tasarım kuvvetinin kiriş yüzeyindeki yatay bileşeni, N

Düşey kesit kontrolü:

Bileşke kuvvet için von-mises kriteri kullanılırsa

$$P_u = \sqrt{H_{uc}^2 + 3V_{uc}^2} \quad \textbf{(3.36)}$$

$$P_u = \sqrt{H_{uc}^2 + 3V_{uc}^2} = \sqrt{168.71^2 + 3(314.92)^2} = 570.95kN$$

$$P_n = btF_y \quad \textbf{(3.37)}$$

$$P_n = btF_y = 685(25)355 = 6079375N = 6079kN$$

$\Omega = 1.67$ (kayma dayanımı güvenlik gerilmesi)

$$P_n / \Omega = 6079 / 1.67 = 3640kN > P_u = 570.95kN$$

Guse levhası yatay kesit kontrolü:

$$P_u = \sqrt{V_{ub}^2 + 3H_{ub}^2} \quad \textbf{(3.38)}$$

$$P_u = \sqrt{V_{ub}^2 + 3H_{ub}^2} = \sqrt{153.76^2 + 3(634.61)^2} = 1109.9kN$$

$$P_n = atF_y = 900(25)355 = 7987500N = 7987.5kN$$

$$P_n / \Omega = 7987.5 / 1.67 = 4782.93kN > P_u = 1109.9kN$$

3.8.2 Kolon Gövdesi Akma Dayanımı Kontrolü

AISC 360-05 J10-2a Maddesine göre:

$$R_n = (5k + N)F_{yw}t_w \quad \textbf{(3.39)}$$

Ω = 1.50 (ASD için)

R_n : mevcut dayanım

k: I profilde başlığın dış yüzeyinden gövdede eğriliğin başladığı noktaya olan mesafe (mm)

F_{yw}: gövde için minimum akma dayanımı (MPa)

N = mesnetlenme uzunluğu (mm) (kiriş uç reaksiyonları için k'dan az olmayacak)

N = b = 685 mm

k = 0.5 (395-261).= 67 mm

R_n = (5 (67) + 685) 355 (21) = 7604100 N = 7604 kN

R_n / Ω = 7604 /1.50 = 5069.33 kN

$R_u = H_{uc}$ = 168.71 kN < R_n / Ω = 5069.33 kN

3.8.3 Kolon Gövde Buruşması Kontrolü

Maksimum basınç kuvveti altında gövde buruşması AISC 360-05 J10-3a Maddesine göre kontrol edilirse

$$R_n = 0.8t_w^2\left[1 + 3\left(\frac{N}{d}\right)\left(\frac{t_w}{t_f}\right)^{1.5}\right]\sqrt{\frac{EF_{yw}t_f}{t_w}} \quad \textbf{(3.40)}$$

d = Elemanın tüm boyu (mm)

t_f = Başlık kalınlığı (mm)

t_w = Gövde kalınlığı (mm)

N = Mesnetlenme uzunluğu (mm)

R_n = Nominal dayanım

Ω = 2.00 (ASD için)

HE360M

t_w = 21 mm

t_f = 40 mm

d = 395 mm

N = b = 685 mm

$$R_n = 0.8(21)^2\left[1+3\left(\frac{685}{395}\right)\left(\frac{21}{40}\right)^{1.5}\right]\sqrt{\frac{200000(355)40}{21}}$$

$$R_n = 352.8\left[1+3(1.73)(0.38)\right](11629.19)$$

$$R_n = 12194277.46N = 12194kN$$

$$R_n/\Omega = 6097kN$$

$$R_n/\Omega = 6097.5kN > R_u = H_{uc} = 168.71kN$$

3.8.4 Kiriş Gövdesi Akma Dayanımı Kontrolü

$$R_n = (5k+N)F_{yw}t_w \qquad \textbf{(3.41)}$$

Ω = 1.50 (ASD için)

N = a = 900 mm

k = 0.5 (360-298.6).= 30.7 mm

R_n = (5 (30.7) + 900) 355 (8) = 2991940 N = 2991.94 kN

R_n / Ω = 2991.94 /1.50 = 1994.63 kN

$R_u = V_{ub}$ = 153.76 kN < R_n / Ω = 1994.63 kN

3.8.5 Kiriş Gövde Buruşması Kontrolü

Maksimum basınç kuvveti altında gövde buruşması kontrol edilirse

$$R_n = 0.8t_w^2\left[1+3\left(\frac{N}{d}\right)\left(\frac{t_w}{t_f}\right)^{1.5}\right]\sqrt{\frac{EF_{yw}t_f}{t_w}} \qquad \textbf{(3.42)}$$

Ω = 2.00 (ASD için)

IPE360

t_w = 8 mm

t_f =12.7 mm

d = 360 mm

N = a = 900 mm

$$R_n = 0.8(8)^2\left[1+3\left(\frac{900}{360}\right)\left(\frac{8}{12.7}\right)^{1.5}\right]\sqrt{\frac{200000(355)12.7}{8}}$$

$$R_n = 51.2[1 + 3(2.5)(0.544)](10616.61)$$

$$R_n = 2761337.795N = 2761.34kN$$

$$R_n / \Omega = 1380.67kN$$

$$R_n / \Omega = 1380.67kN > R_u = V_{ub} = 153.76kN$$

3.8.6 Çapraz Elemanı Guse Plakasına Bağlayan Kaynakların Kontrolü

Çapraz elemanı guse plakasına bağlayan 4 adet w = 8 mm kenar boyuna sahip 400 mm uzunluğa sahip köşe kaynakların kayma dayanımı kontrol edilirse:

P_u = 930.05 kN

Ω = 2.00

$$R_{nw} = 4(0.60)F_E(0.707)wL \qquad \textbf{(3.43)}$$

$$R_{nw} = 4(0.60)F_E(0.707)wL = 4(0.60)480(0.707)8(400) = 2606284.8N = 2606kN$$

$$\frac{R_{nw}}{\Omega} = \frac{2606}{2} = 1303kN \geq R_a = 930.05kN$$

w = köşe kaynak etkili kenar boyu, mm

F_E = Kaynak metalinin karakteristik çekme dayanımı (N / mm^2)

L_w = etkili kaynak boyu, mm

Bu uzunluk çapraz genişliğinin iki katından büyük olmalı ki blok kayma etkisi azalmalıdır. (400>273)

3.8.7 Çekme Durumunda Guse Plakasının Kritik Kesit Kontrolü

Guse plakasında, kritik kesit çekme gerilmesinin en yüksek olduğu kesittir, genellikle çaprazın ucudur. Çapraz merkez ekseninin her iki yanındaki maksimum guse plakası genişliği, guse kenarından çapraz merkezine olan mesafedir. Birçok tasarımda genişlik, plakanın uca doğru incelmesinden dolayı azalır ve kritik kesit maksimum genişlikten azdır. Bu tasarımda kritik kesitte genişlik sabittir. Bu durum guse plakasının kolon ve kirişe olan kaynaklarının gerekli dayanımlara göre boyutlandırılmalarını sağlar ve çaprazın daha uzun ve guse plakasının daha kısa olmasını sağlar çünkü geniş guse plakası çalışma noktasından uzak mesnet noktası meydana getirir. (kontrol sınır çizgisi guse plakasının kiriş veya kolon ile temas ettiği nokta ile tanımlanır) Sonuç olarak bu tasarım guse plakasının boyutlarını

beklenen çapraz çekme dayanımı ile belirlemeye yarar. Guse levhasında Whitmore genişliği (W)

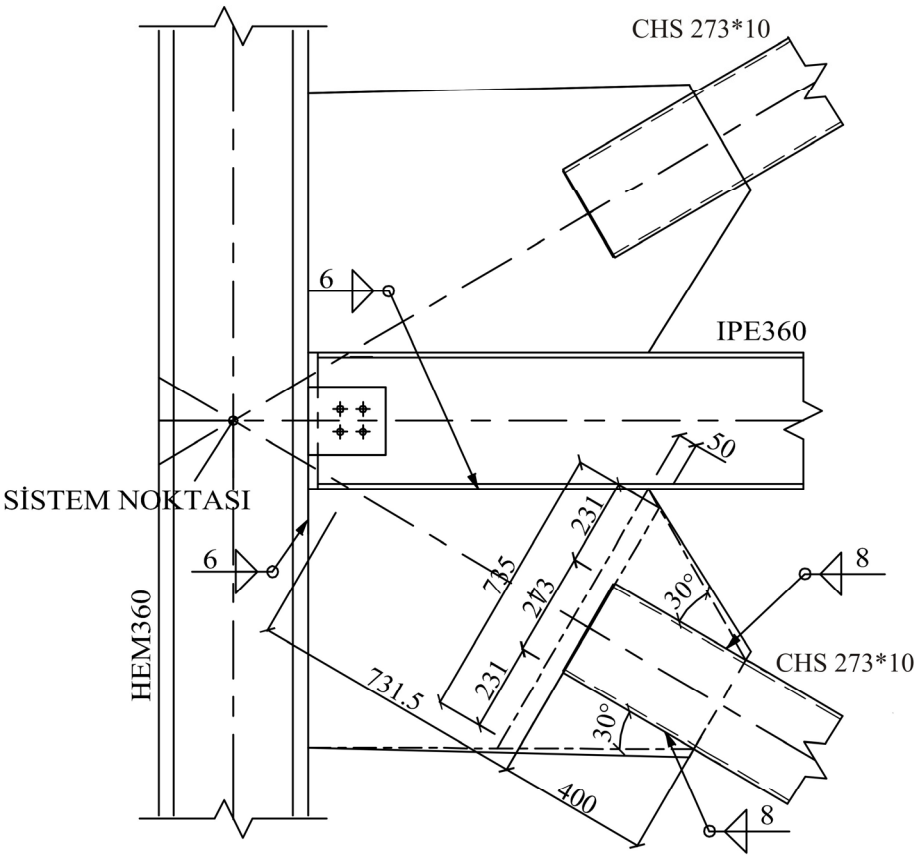
$$W = D + 2L_w \tan 30 \quad \textbf{(3.44)}$$

$$W = D + 2L_w \tan 30 = 273 + 2(400)\tan 30 = 735mm$$

$$P_n/\Omega = F_y A_g / \Omega \quad \textbf{(3.45)}$$

$$P_n/\Omega = 355(25)735/1.67 = 3906062.874N = 3906kN$$

$$P_n/\Omega = 3906 > P_u = 857.07kN$$



Şekil 3.8 Whitmore kesiti

3.8.8 Mafsal Bölgesinin Tasarımı

Birleşim çapraz burkulmasını barındıracak biçimde aşağıdaki iki yoldan birine göre tasarlanmalıdır. Birinci yol; düzlem içi burkulma durumunda birleşim çaprazdan daha fazla eğilme dayanımına sahip olacak şekilde tasarlanır ki, böylece lineer olmayan şekil değiştirmeler birleşim yerine çaprazda meydana gelir. Alternatif ikinci

yol ise çapraz burkulmasından medyana gelen dönmeleri birleşimde karşılayacak mafsal bölgesi oluşturulur. Bu örnekte bu ikinci yaklaşım göz önüne alınmıştır.

Mafsal bölgesinin tasarımında çaprazın bitiminden bırakılacak minimum mesafe guse plakasının kalınlığının iki katı kadardır. (2*25=50 mm) Tolerans bırakmak için guse plakasının minimum iki, maksimum üç katı kadar pay bırakılır. Stabilite hesaplarında 50 mm kullanılacaktır.

3.8.9 Guse Plakası Kenar Stabilitesinin Kontrolü

Çaprazdan guse serbest kenarına olan dik mesafe (b_g) kompaktlık sınırını aşıncaya kadar çapraz elemanın guse üzerinde rijitleştirici etkisi vardır. Etkili uzunluk AISC 341-05 yönetmeliğinde Tablo I-8-1'de hadde veya yapma I profillerin rijitleştirilmemiş başlıklarındaki eğilme etkisi altındaki basınç elemanlarındaki uzunluk / kalınlık sınırlaması için λ_p [20]

$$\lambda = \frac{b_g}{t} < 0.3\sqrt{\frac{E}{F_y}} \qquad \textbf{(3.46)}$$

$$\lambda = \frac{b_g}{t} < 0.3\sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0.3\sqrt{\frac{200000}{355}} = (0.3)(23.74) = 7.122$$

$$\lambda = 0.3\sqrt{\frac{200000}{355}} = (0.3)(23.74) = 7.122$$

$$\lambda = \frac{b_g}{t} < 7.122 \rightarrow b < 25(7.122) = 178.05mm$$

(t = 25 mm)

Rijitlenmiş serbest kenarın uzunluğu, L_s :

$$L_s = \frac{(178.05 - 25)}{\sin 30} = 306.1mm$$

Astaneh (1998) en büyük desteklenmemiş guse plakası kenar uzunluğunu, plaka burkulmasına bağlı olarak stabilite bozukluğundan önce akma dayanımına bağlı olarak şu şekilde tavsiye etmiştir:

$$\frac{L_{fg}}{t} < 0.75\sqrt{\frac{E}{F_y}} \qquad \textbf{(3.47)}$$

$$\frac{L_{fg}}{t} < 0.75\sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0.75\sqrt{\frac{200000}{355}} = 17.80$$

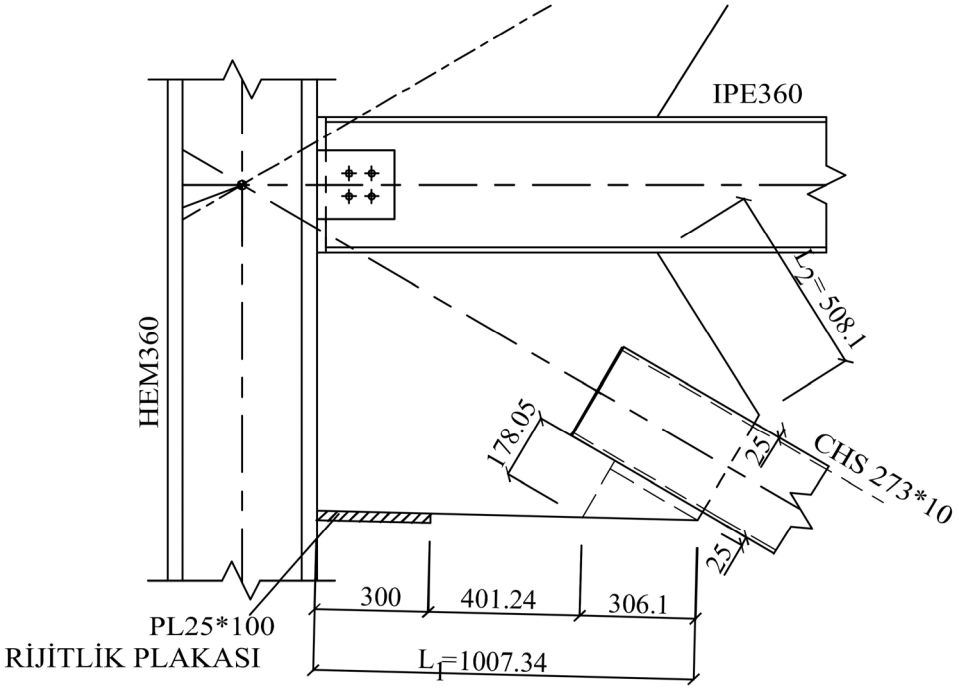
$$L_{fg} < 25(17.80) = 445mm$$

$$L_1 = L - L_s = 1007.34 - 306.1 = 701.24mm \rightarrow L_1 = 701.24mm > L_{fg} = 445mm$$

Minimum rijitlik plakası boyu = L_{rp} = 701.24 - 445 = 256.24 mm (300 mm)

$$L_2 = L - L_s = 508.15 - 306.1 = 202.05mm \rightarrow L_2 = 202.05mm < L_{fg} = 445mm$$

Rijitlik plakasına ihtiyaç yok.



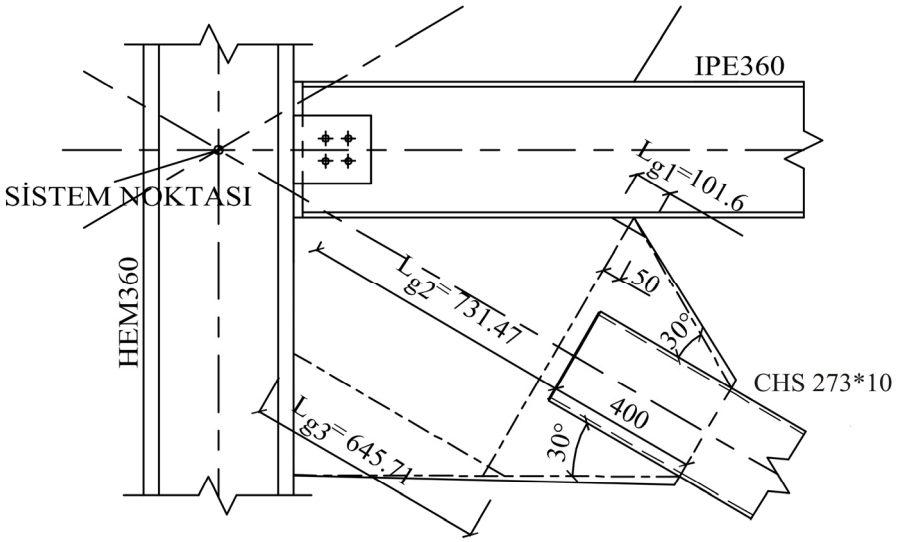
Şekil 3.9 Guse plakası kenar stabilite kontrolünde kullanılan mesafeler

3.8.10 Guse Plakası Basınç Dayanımı Kontrolü

$$i = \frac{t}{\sqrt{12}} = \frac{25}{\sqrt{12}} = 7.22mm \qquad \textbf{(3.48)}$$

Whitmore kesitinin genişliği

$$W = D + 2L_w \tan 30 = 273 + 2(400)\tan 30 = 735mm$$



Şekil 3.10 L_{g1}**,** L_{g2}**,** L_{g3}**'** ün gösterimi

L_{g1} = 101.57 mm

L_{g2} = 731.47 mm

L_{g3} = 645.71 mm

$$L_{gavg} = \frac{L_{g1} + L_{g2} + L_{g3}}{3} \qquad \textbf{(3.49)}$$

$$L_{gavg} = \frac{L_{g1} + L_{g2} + L_{g3}}{3} = \frac{101.57 + 731.47 + 645.71}{3} = 492.92mm$$

Astaneh (1998) yaptığı testte etkili uzunluk faktörünü 1.2 almayı tavsiye etmiştir

KL/r = (1.2) 492.92 / 7.22 = 81.93

Sınır narinlik oranı,

$$\lambda_p = \frac{KL}{i} = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{F_y}} = \sqrt{\frac{2\pi^2 200000}{355}} = 105.45$$

$\lambda = 81.93 < \lambda_p = 105.45$ olduğundan

$$\lambda = \frac{KL}{i} < \lambda_p \text{ için } F_{cr} = \left[1 - \frac{1}{2}\left(\frac{\lambda}{\lambda_p}\right)^2\right] F_y$$

$$20 < \lambda < \lambda_p \text{ için } \Omega = 1.5 + 1.2\left(\frac{\lambda}{\lambda_p}\right) - 0.2\left(\frac{\lambda}{\lambda_p}\right)^3$$

$$F_{cr} = \left[1 - \frac{1}{2}\left(\frac{81.93}{105.45}\right)^2\right](355) = 0.70(355) = 248.5N/mm^2$$

$$\Omega = 1.5 + 1.2\left(\frac{81.93}{105.45}\right) - 0.2\left(\frac{81.93}{105.45}\right)^3 = 1.5 + 0.93 - 0.094 = 2.336$$

$$F = \frac{F_{cry}}{\Omega}(= \sigma_{em})$$

$$F = \frac{248.5}{2.336} = 106.38N/mm^2$$

$$P_n = A\frac{F_{cry}}{\Omega} = (735)25(106.38) = 1954732.5N = 1954.7kN > 1255kN$$

Gerçek çapraz boyutları kullanılarak çapraz basınç dayanımı hesaplanacaktır. (çaprazın gerçek boyu hesaplanırken guse boyutlarının çaprazın iki ucunda eşit olduğu varsayılmıştır. Çapraz uzunluğu kolon kiriş birleşim noktaları arasındaki mesafeden (6946 mm) daha küçük 4770 mm (4768.82 mm)olarak ölçülmüştür. Bazı durumlarda guse tasarımı tamamlandıktan sonra gerçek burkulma boyu ile hesap yapmak daha küçük kesite sahip çapraz kullanılmasına neden olabilir. Tahmin edilen basınç dayanımı

(x - x) ve (y – y) ekseninde narinlik

$$\frac{KL}{i} = \frac{(1.0)4770}{93.1} = 51.24$$

Sınır narinlik oranı,

$$\lambda_p = \frac{KL}{i} = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{F_y}} = \sqrt{\frac{2\pi^2 200000}{355}} = 105.45$$

$\lambda_x = \lambda_y = 51.24 < \lambda_p = 105.45$ olduğundan

$$\lambda = \frac{KL}{i} < \lambda_p \text{ için } F_{cr} = \left[1 - \frac{1}{2}\left(\frac{\lambda}{\lambda_p}\right)^2\right]F_y$$

$$20 < \lambda < \lambda_p \text{ için } \Omega = 1.5 + 1.2\left(\frac{\lambda}{\lambda_p}\right) - 0.2\left(\frac{\lambda}{\lambda_p}\right)^3$$

$$F_{cr} = \left[1 - \frac{1}{2}\left(\frac{51.24}{105.45}\right)^2\right](355) = 0.88(355) = 312.4N/mm^2$$

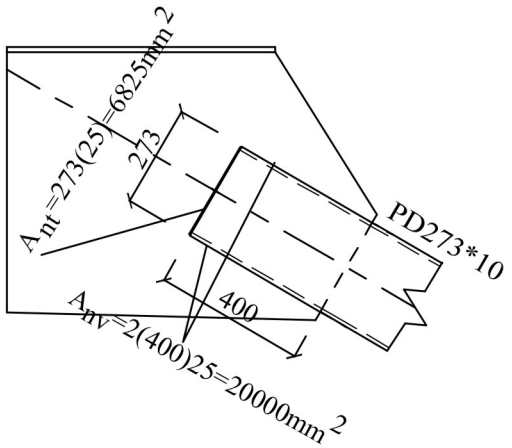
$$\Omega = 1.5 + 1.2\left(\frac{51.24}{105.45}\right) - 0.2\left(\frac{51.24}{105.45}\right)^3 = 1.5 + 0.58 - 0.023 = 2.057$$

$$F = \frac{F_{cry}}{\Omega}(=\sigma_{em})$$

$$F = \frac{312.4}{2.057} = 151.87N/mm^2$$

$$P_n = A\frac{F_{cry}}{\Omega} = 8260(151.87) = 1254446.2N = 1255kN$$

3.8.11 Guse Plakası Yırtılma Kontrolü



Şekil 3.11 Guse plakası yırtılma kontrolünde kullanılan mesafeler

Blok kayma durumunda dayanım için limit durum (AISC 360-05 J4-5):

$$R_n/\Omega = (0.6F_u A_{nv} + U_{bs}F_u A_{nt} \le 0.6F_y A_{gv} + U_{bs}F_u A_{nt})/\Omega \qquad \textbf{(3.50)}$$

Ω = 2.00 (ASD)

F_u = bağlanan elemanların minimum çekme dayanımı (450 N/mm^2)

A_{gv} = Kaymaya maruz kalan tüm alan (mm^2)

A_{nt} = Kaymaya maruz kalan net alan (mm^2)

A_{nv} = Kaymaya maruz kalan net alan (mm^2)

Üniform çekme gerilmesi altında U_{bs} =1; düzgün olmayan yayılımda U_{bs} = 0.5 alınır. AISC 341-05'te şekil C-J4.2'de hangi durumlarda ne alınacağı verilmiştir. Kaynaklı

birleşimde 1.00 alınacaktır. Çapraz bitiminde kapak olarak kullanılan levhanın da guse plakasına kaynaklandığı ve çekme kuvvetine karşı çalıştığı varsayılmıştır.

$$R_n/\Omega = (0.6(450)2(400)25 + 1.0(273)25(355))/2.00 = 3911437.5N = 3911$$

$$R_n/\Omega = 3911kN > R_u = 857.07kN$$

$P_ç$ = 857.07 kN olarak C 108'den elde edildi

3.8.12 Çapraz Yırtılma Kontrolü

Boru kesitte köşe kaynak boyunca blok kayma kapasitesi kontrolü (dört adet köşe kaynak kullanılmıştır)

t = 10 mm (profil et kalınlığı)

$$R_n/\Omega = A_v 0.6F_u/\Omega \quad \textbf{(3.51)}$$

$$R_n/\Omega = (0.6(450)4(400)10))/2.00 = 2160000N = 2160kN$$

$$R_n/\Omega = 2160kN > R_u = 857.07kN$$

Boru profilde açılan delik guse boyutundan büyük olduğundan ve bu çekme olması gereken yerde profil ile guse plakası arasında temas olmadığından formüldeki çekme ile ilgili kısım A_{nt} = 0 alınmıştır.

3.8.13 Net Enkesit Alanında Yırtılma Kontrolü

$$A_e = A_n U \quad \textbf{(3.51)}$$

U = blok yırtılma faktörü
Dairesel boru profiller için tablo D 3.1'de

$$L_w \geq 1.3D.....U = 1 \quad \textbf{(3.52)}$$

L_w = birleşimin uzunluğu (kaynak boyu)

L_w = 400 mm > 1.3 D =1.3 (273) = 354.9 mm olduğundan U = 1.0

$$A_e = A_n U = (8260 - 2(25)10) = 7760(1.0) = 7760mm^2$$

$$P_n/\Omega = \frac{(7760)450}{2} = 1746000N = 1746kN > 857.07kN$$

Olduğundan takviye plakasına gerek yoktur.

3.8.14 Guse Levhası Kiriş Bağlantı Kaynaklarının Kontrolü

Kuvvetin kaynak eksenine göre doğrultusu göz önüne alınmadan göçmenin etkili alanda kritik kayma düzleminde ortaya çıktığı kabulü ile

$$R_{nw} = 0.60F_E(0.707)wL_w = (0.60)480(0.707)6(900) = 1099526.4N = 1099.5kN$$

Guse levhasının her iki yanında w = 6 mm etkili kaynak boyutuna sahip köşe kaynak kullanılırsa güvenlik

$$R_a = H_{ub} = 634.61kN \le \frac{R_{nw}}{\Omega} = \frac{2(1099.5)}{2} = 1099.5kN$$

3.8.15 Guse Levhası Kolon Bağlantı Kaynaklarının Kontrolü

$$R_{nw} = 0.60F_E(0.707)wL_w = (0.60)480(0.707)6(685) = 836861.76N = 837kN$$

Guse levhasının her iki yanında w = 6 etkili kaynak boyutuna sahip köşe kaynak kullanılırsa güvenlik

$$R_a = H_{uc} = 168.71kN \le \frac{R_{nw}}{\Omega} = \frac{2(837)}{2} = 837kN$$

3.9 Deprem Yönetmeliğine Göre Birleşimin Taşıma Kapasitesinin Kontrolü

3.9.1 Guse Levhası Boyutlarının Belirlenmesi

TDY madde 4.6.3.1'e göre birleşimin taşıma kapasitesi aşağıdaki iç kuvvetlerden küçük olanını da sağlayacaktır:

a. Çaprazın eksenel kuvvet (çekme veya basınç) kapasitesi

$P_u = D_a F_y A_g = 1.1\ (355)\ 8260 = 3225530\ N = 3226\ kN$ (çekme kapasitesi)

$P_n = A_g F_{cr} = 8260\ (\ 266.25\ ) = 2199225\ N = 2200\ kN$ (Basınç kapasitesi)

D_a Değeri akma gerilmesindeki değişkenlikten kaynaklı bir katsayıdır. (S355 için 1.1 verilmiştir TDY tablo 4.1)

b. Düğüm noktasına birleşen diğer elemanların (IPE360 kirişler) kapasitelerine bağlı olarak, söz konusu çapraza aktarılabilecek en büyük eksenel kuvvet

- IPE 360 kirişlerden aktarılan kuvvet :

$$N_k = \frac{355(7273)}{0.504}10^{-3} = 5122.85kN$$ (çubukların arasındaki açı cosα = 0.504)

c. Arttırılmış yükleme durumlarından meydana gelen çapraz eksenel kuvveti.

- Etabs programından ASCE7-05 yönetmeliğinde verilen yük birleşimleri kullanılarak elde edilen maksimum kuvvet (A / 2 - A / 3 aksları arasındaki çapraz ele alındı) :

C107 = - 1811.59 kN (C107 = D +2 (E_{YN} + 0.3 E_X)

C158 = 1739.72 kN (C158 = 0.6 D + 2 (-E_{YN} - 0.3 E_X)

e_c = 395/2 = 197.5 mm (HE360M)

e_b = 180 mm (IPE360)

α = 717.13 mm (Whitmore kanununa göre bulunan değer)

α - β (tanθ) = e_b (tanθ) – e_c

α = 742.90 mm

742.90 - β (1.714) = 180 (1.714) - 197.5

742.90 – 111.02 = 1.714 β

β = 368.66 mm

a = 900 mm (çizimden)

b = 685 mm (çizimden)

$$r = \sqrt{(\alpha + e_c)^2 + (\beta + e_b)^2} = \sqrt{(742.90 + 197.5)^2 + (368.66 + 180)^2} = 1088.75mm$$

t = 25 mm (S355 kalitesinde)

a = 900 mm (çizimden)

b = 694.5mm (çizimden)

Çaprazın basınç taşıma kapasitesi:

P_u = 2200 kN (basınç kapasitesi daha önce bulundu)

$$V_{uc} = \frac{\beta}{r} P_u = \frac{368.66}{1088.75} 1739.72 = 589kN$$

$$H_{uc} = \frac{e_c}{r} P_u = \frac{197.5}{1088.75} 1739.72 = 316kN$$

$$V_{ub} = \frac{e_b}{r} P_u = \frac{180}{1088.75} 1739.72 = 288kN$$

$$H_{ub} = \frac{\alpha}{r} P_u = \frac{742.90}{1088.75} 1739.72 = 1187kN$$

Düşey kesit kontrolü:

$$P_u = \sqrt{H_{uc}^2 + 3V_{uc}^2} = \sqrt{316^2 + 3(589)^2} = 1068kN$$

$$P_n = btF_y = 685(25)355 = 6079375N = 6079kN > P_u = 1068kN$$

Guse levhası yatay kesit kontrolü:

$$P_u = \sqrt{V_{ub}^2 + 3H_{ub}^2} = \sqrt{288^2 + 3(1187)^2} = 2076kN$$

$$P_n = atF_y = 900(25)355 = 7987500N = 7987.5kN > P_u = 2076kN$$

3.9.2 Kolon Gövdesi Akma Dayanımı Kontrolü

AISC 360-05 J10-2a maddesine göre:

$$R_n = (5k + N)F_{yw}t_w$$

N = b = 685 mm

k = 0.5 (395-261).= 67 mm

R_n = (5 (67) + 685) 355 (21) = 7604100 N = 7604 kN

$R_u = H_{uc}$ = 316 kN < R_n = 7604 kN

3.9.3 Kolon Gövde Buruşması Kontrolü

Maksimum basınç kuvveti altında gövde buruşması (AISC 360-05 J10-3a) kontrol edilirse:

$$R_n = 0.8t_w^2\left[1+3\left(\frac{N}{d}\right)\left(\frac{t_w}{t_f}\right)^{1.5}\right]\sqrt{\frac{EF_{yw}t_f}{t_w}}$$

N = b = 685 mm

$$R_n = 0.8(21)^2\left[1+3\left(\frac{685}{395}\right)\left(\frac{21}{40}\right)^{1.5}\right]\sqrt{\frac{200000(355)40}{21}}$$

$$R_n = 352.8\left[1+3(1.73)(0.38)\right](11629.19)$$

$$R_n = 12194277.46N = 12194kN$$

$$R_n = 12194kN > R_u = H_{uc} = 316kN$$

3.9.4 Kiriş Gövdesi Akma Dayanımı Kontrolü

$$R_n = (5k+N)F_{yw}t_w$$

N = a = 900 mm

k = 0.5 (360-298.6).= 30.7 mm

R_n = (5 (30.7) + 900) 355 (8) = 2991940 N = 2992 kN

$R_u = V_{ub}$ = 288 kN < R_n = 2992 kN

3.9.5 Kiriş Gövde Buruşması Kontrolü

Maksimum basınç kuvveti altında gövde buruşması tahkik edilirse:

$$R_n = 0.8t_w^2\left[1+3\left(\frac{N}{d}\right)\left(\frac{t_w}{t_f}\right)^{1.5}\right]\sqrt{\frac{EF_{yw}t_f}{t_w}}$$ (AISC 360-05 J10-3a)

$$R_n = 0.8(8)^2\left[1+3\left(\frac{900}{360}\right)\left(\frac{8}{12.7}\right)^{1.5}\right]\sqrt{\frac{200000(355)12.7}{8}}$$

$$R_n = 51.2\left[1+3(2.50)(0.544)\right](10616.61)$$

$$R_n = 2761337.795N = 2761kN$$

$$R_n = 2761kN > R_u = V_{ub} = 288kN$$

3.9.6 Çapraz Elemanı Guse Plakasına Bağlayan Kaynakların Kontrolü

P_u = 1739.72 kN = 1740 kN

$$R_{nw} = 4(0.60)F_E(0.707)wL_w = 4(0.60)480(0.707)8(400) = 2606284.8N = 2606kN$$

$$R_{nw} = 2606kN \geq P_u = 1740kN$$

3.9.7 Çekme Durumunda Guse Plakasının Kritik Kesit Kontrolü

Guse levhasında Whitmore genişliği

$$W = D + 2L_w \tan 30 = 273 + 2(400)\tan 30 = 735mm$$

$$P_n = F_y A_g$$

$$P_n = 355(25)735 = 6523125N = 6523kN$$

$$P_n = 6523 > P_u = 1740kN$$

3.9.8 Guse Plakası Basınç Dayanımı Kontrolü

$$i = \frac{t}{\sqrt{12}} = \frac{25}{\sqrt{12}} = 7.22mm$$

Whitmore kesitinin genişliği

$$W = D + 2L_w \tan 30 = 273 + 2(400)\tan 30 = 735mm$$

L_{g1} = 101.57 mm

L_{g2} = 731.47 mm

L_{g3} = 645.71 mm

$$L_{gavg} = \frac{L_{g1} + L_{g2} + L_{g3}}{3} = \frac{101.57 + 731.47 + 645.71}{3} = 492.92mm$$

KL/r = (1.2) 492.92 / 7.22 = 81.93

Sınır narinlik oranı,

$$\lambda_p = \frac{KL}{i} = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{F_y}} = \sqrt{\frac{2\pi^2 200000}{355}} = 105.45$$

$\lambda = 81.93 < \lambda_p = 105.45$ olduğundan

$$\lambda = \frac{KL}{i} < \lambda_p \text{ için } F_{cr} = \left[1 - \frac{1}{2}\left(\frac{\lambda}{\lambda_p}\right)^2\right] F_y$$

$$F_{cr} = \left[1 - \frac{1}{2}\left(\frac{81.93}{105.45}\right)^2\right](355) = 0.70(355) = 248.5 N/mm^2$$

$$P_n = AF_{cr} = (735)25(248.5) = 4566187.5N = 4566kN > 2580kN$$

Gerçek diyagonal boyutları kullanılarak diyagonal basınç dayanımı hesaplanacaktır. (x - x) ve (y - y) ekseninde narinlik

$$\frac{KL}{i} = \frac{(1.0)4770}{93.1} = 51.24$$

Sınır narinlik oranı,

$$\lambda_p = \frac{KL}{i} = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{F_y}} = \sqrt{\frac{2\pi^2 200000}{355}} = 105.45$$

$\lambda_x = \lambda_y = 51.24 < \lambda_p = 105.45$ olduğundan

$$\lambda = \frac{KL}{i} < \lambda_p \text{ için } F_{cr} = \left[1 - \frac{1}{2}\left(\frac{\lambda}{\lambda_p}\right)^2\right] F_y$$

$$F_{cr} = \left[1 - \frac{1}{2}\left(\frac{51.24}{105.45}\right)^2\right](355) = 0.88(355) = 312.4 N/mm^2$$

$$P_n = AF_{cr} = 8260(312.4) = 2580424N = 2580kN$$

3.9.9 Guse Plakası Yırtılma Kontrolü

$$R_n = (0.6F_u A_{nv} + U_{bs}F_u A_{nt} \le 0.6F_y A_{gv} + U_{bs}F_u A_{nt}) \quad \text{(AISC 360-05 J4-5)}$$

$$R_n = 0.6(450)2(400)25 + 1.0(273)25(355) = 7822875N = 7822.875kN$$

$$R_n = 7822.875kN > R_u = 1740kN$$

3.9.10 Çapraz Yırtılma Kontrolü

t = 10 mm (profil et kalınlığı)

$$R_n = A_v 0.6F_u$$

$$R_n = 0.6(450)4(400)10) = 4320000N = 4320kN$$

$$R_n = 4320kN > R_u = 1740kN$$

Boru profildeki kayıp alan guse boyutundan büyük olduğundan ve çekme olması gereken yerde profil ile guse plakası arasında temas olmadığından formüldeki çekme ile ilgili kısım $A_{nt} = 0$ alınmıştır.

3.9.11 Net Enkesit Alanında Yırtılma Kontrolü

$$A_e = A_n U$$

U = yırtılma faktörü

Dairesel boru profiller için tablo D 3.1'de

$$L_w \geq 1.3D.....U = 1$$

L_w = birleşimin uzunluğu (kaynak boyu)

$\bar{x}$: birleşimin ekzantrisitesi

L_w = 400 mm > 1.3 D =1.3 (273) = 354.9 mm olduğundan U = 1.0

$$A_e = A_n U = (8260 - 2(25)10) = 7760(1.0) = 7760mm^2$$

$$P_n = (7760)450 = 34920000N = 3492kN > P_u = 1740kN$$

Olduğundan güçlendirme plakasına gerek yok

3.9.12 Guse Levhası – Çapraz Elemanı Eğilme Kapasitelerinin Kıyaslanması

Deprem Yönetmeliği Madde 4.6.3.3'e göre düğüm noktası levhasının düzlemi içindeki eğilme kapasitesi, düğüm noktasına birleşen çaprazın eğilme kapasitesinden daha az olmayacaktır.

Çapraz elemanın plastik eğilme kapasitesi:

$$M_p = W_p F_y \qquad \textbf{(3.53)}$$

$$M_p = W_p F_y = 692000(355) = 245660000Nmm = 245.66kNm$$

Guse levhasının düzlemi içindeki plastik mukavemet momenti:

$$W_p = \frac{tw^2}{4} \tag{3.54}$$

$$W_p = \frac{tw^2}{4} = \frac{25(735)^2}{4} = 3376406.25mm^3$$

$$M_{gp} = W_{pg}F_y = 3376406.25(355) = 1198624219Nmm = 1198.6kNm$$

$$M_{gp} = 1198.6kNm > M_p = 245.66kNm$$

3.9.13 Guse Levhası Kiriş Bağlantı Kaynaklarının Kapasite Kontrolü

$$R_{nw} = 0.60F_E(0.707)wL_w = (0.60)480(0.707)6(900) = 1099526.4N = 1100kN$$

Guse levhasının her iki yanında w = 6 mm etkili kaynak boyutuna sahip köşe kaynak kullanılırsa kapasite:

$$R_a = H_{ub} = 1187kN \le R_{nw} = 2(1100) = 2200kN$$

3.9.14 Guse Levhası Kolon Bağlantı Kaynaklarının Kapasite Kontrolü

$$R_{nw} = 0.60F_E(0.707)wL_w = (0.60)480(0.707)6(685) = 836861.76N = 837kN$$

Guse levhasının her iki yanında w = 6 etkili kaynak boyutuna sahip köşe kaynak kullanılırsa kapasite:

$$R_a = H_{uc} = 316kN \le R_{nw} = 2(837) = 1674kN$$

3.10 Tali kiriş - Ana Kiriş Bağlantı Detayı

C 2 = 1.0 D + 1.0 L + 1.0 S \ L_r

V_2 = 43.27 kN

8.8 kalitesinde bulon kullanılırsa

AISC'de bulon malzemenin karakteristik dayanımı, diş açılmış gövde en kesiti kayma düzleminde olduğu varsayılırsa

$$8 = F_{ub}/100 \rightarrow F_{ub} = 800N/mm^2 \tag{3.55}$$

$$F_{nv} = (0.80)0.60(0.75F_{ub}) \cong 0.40F_{ub} = (0.40)800 = 320N/mm^2$$

Bulonun kayma dayanımı:

M16 bulonun gövde alanı

$$A_b = \frac{\pi(16)^2}{4} = 201mm^2 \quad \textbf{(3.56)}$$

Tek etkili bir bulonun karakteristik kayma dayanımı

$$R_{bn} = F_{nv}A_b = 320(201) = 64320N = 64.32kN \quad \textbf{(3.57)}$$

Bir bulonun kayma güvenlik dayanımı ise:

$$R_{bn}/\Omega = 64.32/2 = 32.16kN$$

Ezilme dayanımı: h = 16 + 2 = 18 mm

IPE 300 için t_w = 7.1 mm plaka 8 mm seçilecek. Ezilme kalınlıklar küçük olduğundan kirişte oluşacak

$$L_c = L_e - \frac{h}{2} = 50 - \frac{18}{2} = 41mm \quad \textbf{(3.58)}$$

$$R_{bn} = 1.2L_c tF_u = 1.2(41)7.1(450) = 157194N = 157.194kN \quad \textbf{(3.59)}$$

$$R_{bn}/\Omega = 154.98/2 = 77.49kN$$

Üst sınır

$$R_{bn} = 2.4d_b tF_u = 2.4(16)7.1(450) = 122688N = 122.688kN \quad \textbf{(3.60)}$$

$$R_{bn}/\Omega = 122.668/2 = 61.344kN$$

İki bulon arası

$$L_c = s_b - h = 50 - 18 = 32mm \quad \textbf{(3.61)}$$

$$R_{bn} = 1.2(32)7.1(450) = 122688N = 122.688kN$$

$$R_{bn}/\Omega = 122.688/2 = 61.344kN$$

Üst sınır $R_{bn} = 2.4d_b tF_u = 2.4(16)7.1(450) = 122688N = 122.688kN$

$$R_{bn}/\Omega = 122.688/2 = 61.344kN$$

Bir bulonun karakteristik kayma dayanımı (32.16 kN) hesaplanan ezilme dayanımından (61.344 kN) küçük olduğundan kayma dayanımı kritiktir. Bu birleşimde bir bulon 32.16 kN yük taşıyabilir. Gerekli bulon sayısı

$$R_a = \frac{P}{n} \le \frac{R_{bn}}{\Omega} \rightarrow n = \frac{P}{R_{bn}/\Omega} = \frac{43.27}{32.16} = 1.35 \rightarrow 2M16 \qquad \textbf{(3.62)}$$

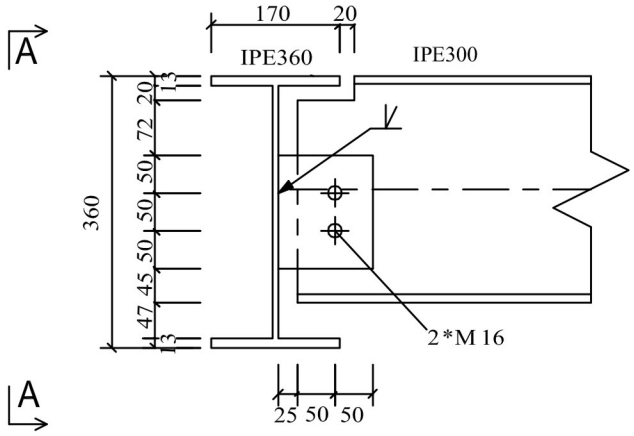
Uç plakasını ana kirişe bağlayan kaynakların tahkiki:
Küt kaynak dikişlerinin kayma durumunda karakteristik dayanımı;
Tam penetrasyonlu küt kaynağın karakteristik dayanımı esas metalin akma dayanımına eşit alınabilir ve bu durumda tam penetrasyonlu küt kaynağın karakteristik dayanımı esas metalin akma dayanımı ile sınırlanır.

$$R_{nw} = (0.60F_y)A_w = (0.60F_y)a_w L_w \qquad \textbf{(3.63)}$$

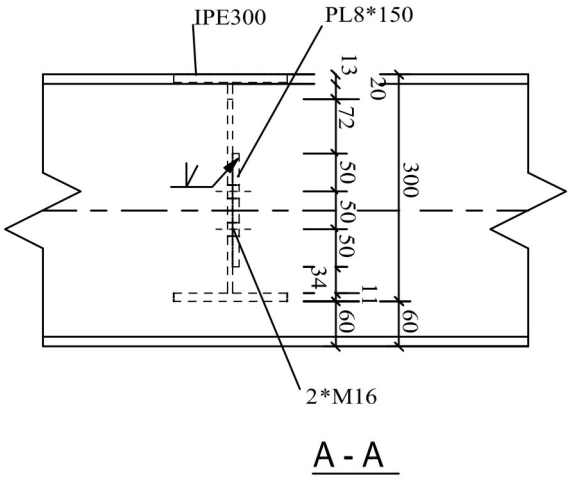
R_a = işletme yüklerinden kaynak dikişine gelen kuvvet
R_{nw} / Ω = kaynak dikişinin güvenle taşıyabileceği kuvvet (güvenlik dayanımı)
R_{nw} = kaynak dikişinin karakteristik dayanımı

$$R_{nw} = (0.60F_y)a_w L_w = (0.60)355(8)150 = 255600N = 255.60kN$$

$$R_a = 43.27kN \le R_{nw}/\Omega = 255.6/2 = 127.8kN$$



Şekil 3.12 Tali kiriş - Ana kiriş bağlantı detayı yan görünüş



Şekil 3.13 Tali kiriş - Ana kiriş bağlantı detayı ön görünüş

3.11 Ana Kiriş – Kolon Bağlantı Detayı

Kuvvet Dağıtım Metodu ile guse plakasından kirişe aktarılan kuvvetler belirlenir. Kiriş kolon birleşimi bu kuvvetlere ek olarak, analiz sonucunda elde edilen kuvvetlere göre tasarlanır. Bu tasarımda kiriş kolon birleşim noktasına üst ve alttan iki adet guse plakası bağlanmaktadır. Birleşimdeki düşey kuvvetler kiriş kesme kuvveti ve guse plakalarından gelen iki adet düşey kuvvetten oluşur.(A- 2 / A - 3 Akslarında 1. kattaki kirişin tasarımı)

C 2'den meydana gelen kesme kuvveti V_2 =52.85 kN

Alt taraftaki çaprazın tasarımı yapılmıştır ve basınç kuvvetine göre guse levhası boyutlandırılmıştır. Üstteki çapraz birleşimi ise çekme kuvvetine göre boyutlandırılacaktır. Kiriş kolon birleşimi boyutlandırılırken kirişten ölü yük ve hareketli yükten meydana gelen mesnet tepkisi yanında çapraz birleşiminden gelen yatay ve düşey kuvvetleri de aktaracaktır.

Üstteki çaprazdaki kuvvetler:

$P_ç$ = 795.34 kN (C 85 bu çaprazdaki maksimum çekme kuvveti)

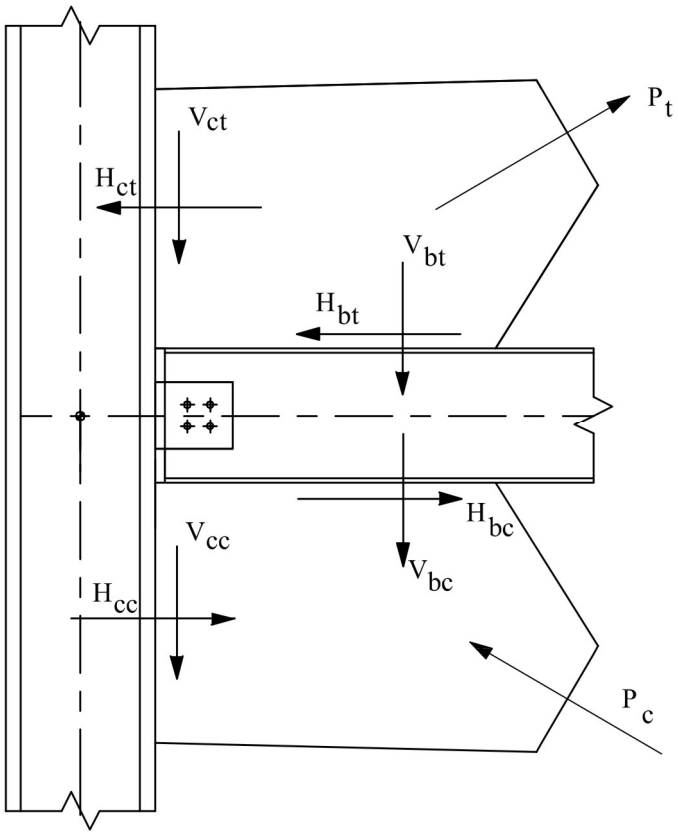
A_b = 93.59 kN (C 2 = D + L + S \ L_r)

$$V_{uc} = \frac{\beta}{r} P_u = \frac{368.66}{1088.75} 795.34 = 269.31 kN$$

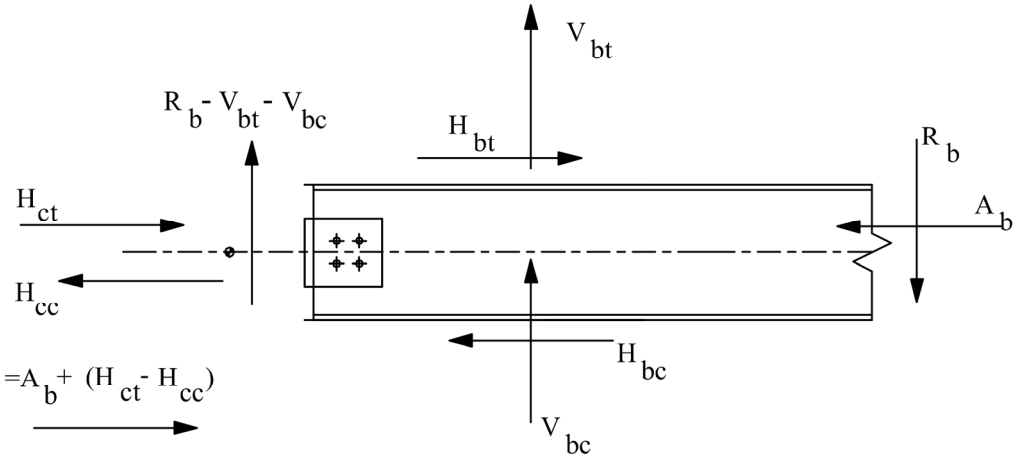
$$H_{uc} = \frac{e_c}{r} P_u = \frac{197.5}{1088.75} 795.34 = 144.28 kN$$

$$V_{ub} = \frac{e_b}{r} P_u = \frac{180}{1088.75} 795.34 = 131.49kN$$

$$H_{ub} = \frac{\alpha}{r} P_u = \frac{742.90}{1088.75} 795.34 = 542.7kN$$



Şekil 3.14 Guse plakasındaki kuvvet dağılımı



Şekil 3.15 Ana kirişteki kuvvetlerin dağılımı

Bu iki çaprazdan gelen kuvvetler süperpoze edilirse:
Toplam yatay kuvvet

$$H_T = A_b + \left|H_{cc} - H_{ct}\right| = 93.59 + \left|168.71 - 144.28\right| = 118.02kN \quad \textbf{(3.64)}$$

Toplam düşey kuvvet

$$V_T = \left|V_2 - V_{bc} - V_{bt}\right| = \left|52.85 - 153.76 - 131.49\right| = 232.4kN \quad \textbf{(3.65)}$$

Bileşke kuvvet

$$P_{bt} = \sqrt{(118.02)^2 + (232.4)^2} = 260.7kN$$

Ana kiriş bulonla uç plakasına ve bu uç plakası ile kolon başlığına kaynakla bağlanacaktır.
8.8 kalitesinde M20 bulonun gövde alanı

$$A_b = \frac{\pi(20)^2}{4} = 314mm^2$$

Çift etkili bir bulonun karakteristik kayma dayanımı

$$R_{bn} = (2)320(314) = 200960N = 200.96.2kN$$

Kayma güvenlik dayanımı

$$R_{bn}/\Omega = 200.96/2 = 100kN$$

Ezilme dayanımı: h = 20 + 2 = 22 mm
IPE 360 için t = 15 mm et kalınlığına sahip uç plakası seçilecek. Ezilme kalınlığın küçük olduğu kirişte oluşacak

$$L_c = L_e - \frac{h}{2} = 60 - \frac{20}{2} = 50mm$$

$$R_{bn} = 1.2L_c tF_u = 1.2(50)8(450) = 216000N = 216kN$$

$$R_{bn}/\Omega = 216/2 = 108kN$$

Üst sınır

$$R_{bn} = 2.4 d_b t F_u = 2.4(20)7.1(450) = 153360N = 153.36kN$$

$$R_{bn} / \Omega = 153.36 / 2 = 76.68kN$$

İki bulon arası

$$L_c = s_b - h = 60 - 20 = 40mm$$

$$R_{bn} = 1.2(40)8(450) = 172800N = 172.8kN$$

$$R_{bn} / \Omega = 176.8 / 2 = 86.4kN$$

Üst sınır

$$R_{bn} = 2.4 d_b t F_u = 2.4(20)8(450) = 172800N = 172.8kN$$

$$R_{bn} / \Omega = 172.80 / 2 = 86.4kN$$

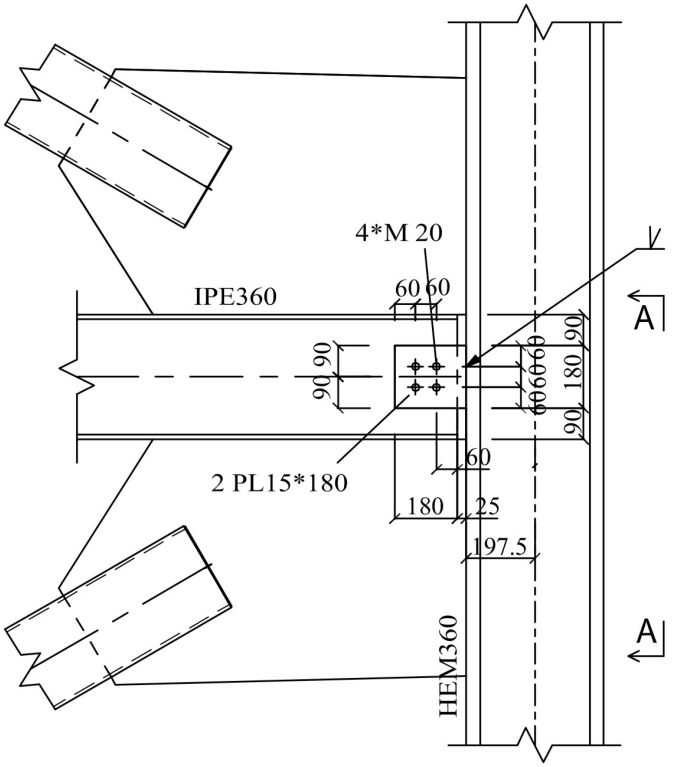
Bir bulonun kayma güvenlik dayanımı (100 kN) hesaplanan ezilme dayanımından (76 kN) büyük olduğundan ezilme dayanımı kritiktir. Bu birleşimde bir bulon 76 kN yük taşıyabilir. Gerekli bulon sayısı

$$R_a = \frac{P}{n} \le R_{bn} \rightarrow n = \frac{P}{R_{bn}} = \frac{260.7}{76} = 3.43 \rightarrow 4M20$$

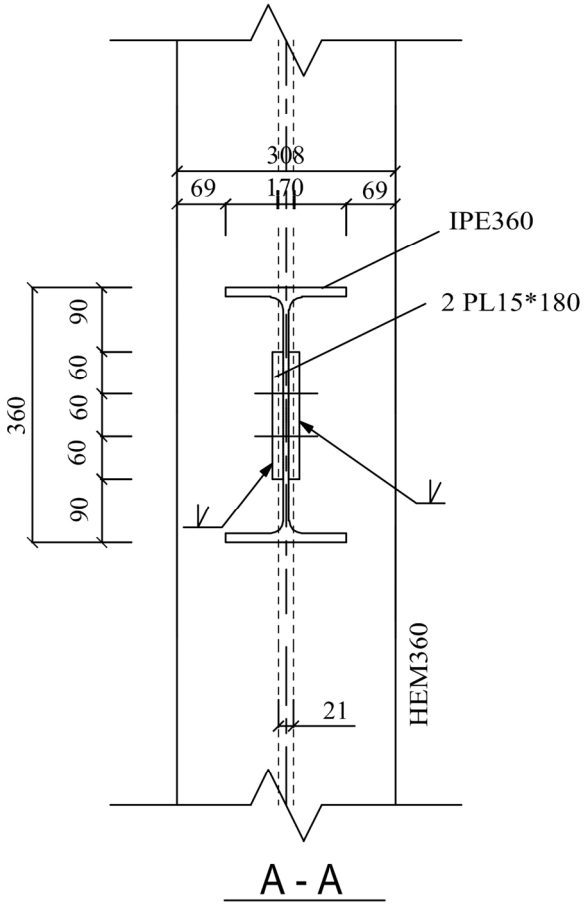
İki 15 mm kalınlığa sahip uç plakası küt kaynakla kolon başlığına bağlanırsa

$$R_{nw} = 2(0.60F_y)a_w L_w = 2(0.60)355(15)150 = 958500N = 958.5kN$$

$$R_a = 232.4kN \le R_{nw} / \Omega = 958.5 / 2 = 479kN$$



Şekil 3.16 Ana kiriş - kolon bağlantı detayı yan görünüş



Şekil 3.17 Ana kiriş - kolon bağlantı detayı ön görünüş

3.12 Çapraz - Çapraz Bağlantı Detayı

P_{28} = - 930.86 kN (C 28 = D + (- E_{YN} + 0.3E_X))

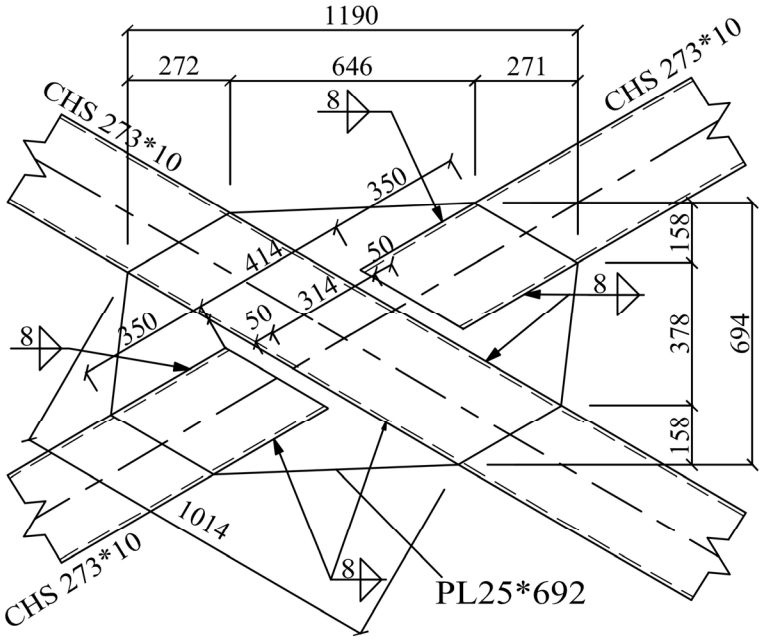
P_{83} = + 854.81 kN (C83 = 0.6 D + (E_{YN} + 0.3 E_X))

w = 8 mm olan 4 adet 350 mm uzunluğa sahip köşe kaynağın kapasitesi

$$R_{nw} = F_w A_w = (0.60F_E)A_w = 4(0.60)480(0.707)8(350) = 2280499.2N = 2280.5kN$$

$R_{nw}/\Omega = 2280.5/2 = 1140kN \geq R_a = 930.86kN$ Olduğundan birleşim yeterlidir.

Bütün olarak birleşimi geçen boru profil ile ayrık profiller arasında 2t = 50 mm boşluk bırakılmıştır.



Şekil 3.18 Çapraz düğüm noktası detayı

3.13 Dış Çerçeve Kolon – Kolon Birleşimi

P_{28} = - 1268.21 kN (C 28 = D + (- E_{YN} + 0.3E_X))

P_{110} = -2214.38 kN (C 110 = D + 2 (- E_{YN} – 0.3 E_X))

Tasarım kuvveti

N_E = -1269 kN basınç kuvvetine göre ek boyutlandırılacaktır.

Profil başlık alanı : A_{bp} = (22.5) 300 = 6750 mm^2

Başlık levhası alanı : F_{bp} = (25) 300 = 7500 mm^2

F_b = 6750 mm^2 < F_{bp} = 7500 mm^2

Profil gövde alanı : F_g = 18060 – 2 (6750) = 4560 mm^2

Gövde levhası alanı : F_{gp} = (2) 300 (12) = 4800 mm^2

$F_g = 4560\ mm^2 < F_{gp} = 4800\ mm^2$

Gövdeye gelen kuvvet:

$$P_g = P\frac{F_g}{F} = 1269\frac{4560}{18060} = 320.41kN \quad \textbf{(3.66)}$$

Başlığa gelen kuvvet:

$$P_b = P\frac{F_b}{F} = 1269\frac{6750}{18060} = 474.29kN \quad \textbf{(3.67)}$$

Gövde plakası detay kontrolü:

10.9 kalitesinde M24 bulon kullanılırsa, M24 bulonun gövde alanı:

$$A_b = \frac{\pi(24)^2}{4} = 452mm^2$$

Bulonlar çift etkili oldukları halde tek tesirli kabul edilerek karakteristik kayma dayanımı

$$R_{bn} = 360(452) = 162720N = 162.72kN$$

Bir bulonun kayma güvenlik dayanımı ise:

$$R_{bn}/\Omega = 162.72/2 = 81.36kN$$

Ezilme dayanımı: h = 24 + 2 = 26 mm

HEB 360 için t_w = 12.5 mm ve gövde plakalarının toplam kalınlığı 12 + 12 = 24 mm olduğundan ezilme kolon gövdesinde oluşacak

$$L_c = L_e - \frac{h}{2} = 60 - \frac{26}{2} = 47mm$$

$$R_{bn} = 1.2L_c tF_u = 1.2(47)12.5(450) = 317250N = 317.25kN$$

$$R_{bn}/\Omega = 317.25/2 = 158.625kN$$

Üst sınır

$$R_{bn} = 2.4d_b tF_u = 2.4(24)12.5(450) = 324000N = 324kN$$

$$R_{bn}/\Omega = 324/2 = 162kN$$

İki bulon arası

$$L_c = s_b - h = 75 - 26 = 49mm$$

$$R_{bn} = 1.2(49)12.5(450) = 330750N = 330.75kN$$

$$R_{bn}/\Omega = 330.75/2 = 165.375kN$$

Üst sınır

$$R_{bn} = 2.4d_b tF_u = 2.4(24)12.5(450) = 324000N = 324kN$$

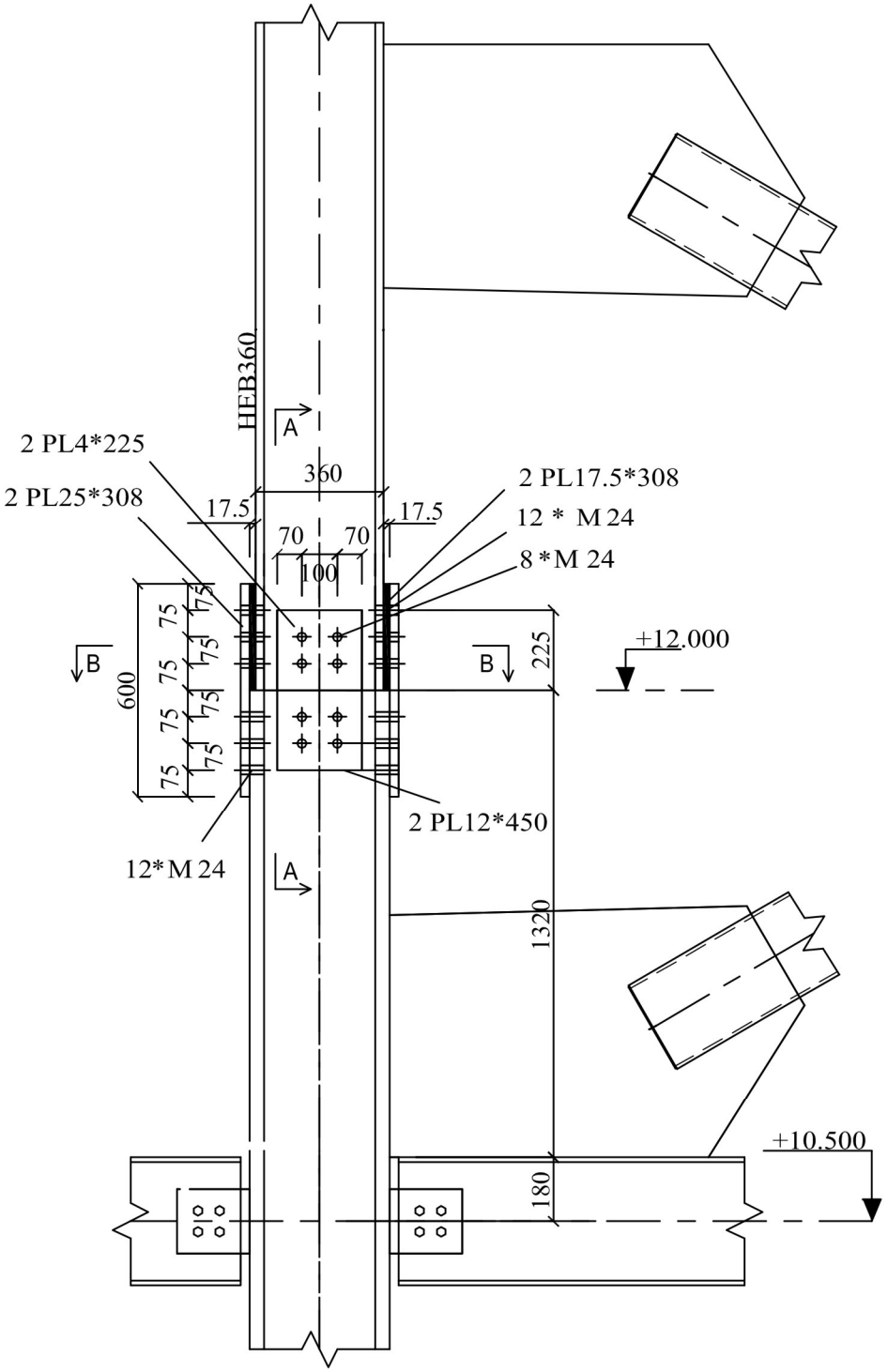
$$R_{bn}/\Omega = 324/2 = 162kN$$

Bir bulonun kayma güvenlik dayanımı (81.36kN) hesaplanan ezilme dayanımından (158.625 kN) küçük olduğundan kayma dayanımı kritiktir. Bu birleşimde bir bulon 81.36 kN yük taşıyabilir. Gerekli bulon sayısı

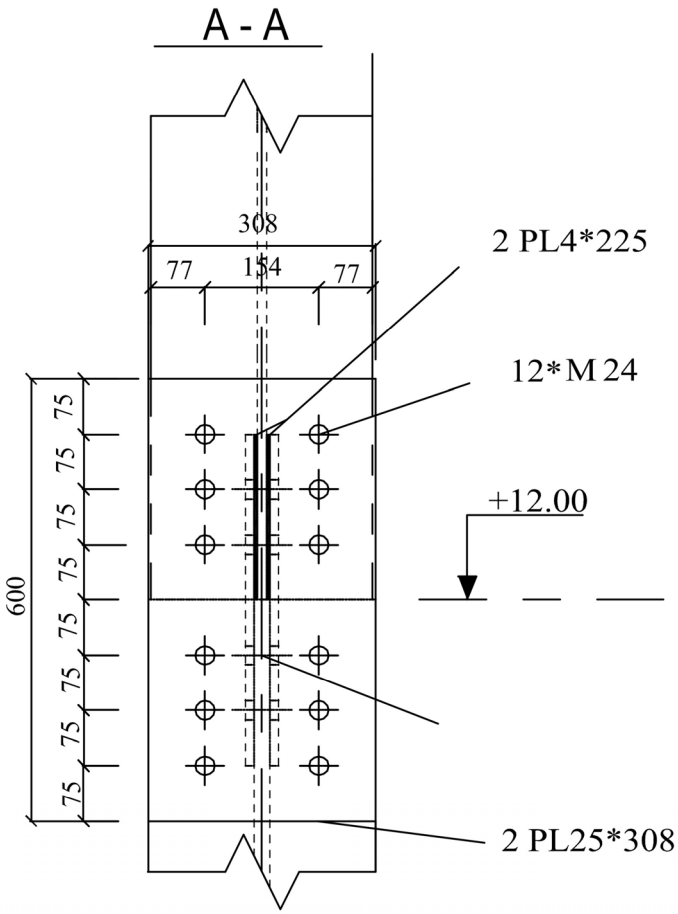
$$R_a = \frac{P}{n} \le \frac{R_{bn}}{\Omega} \rightarrow n = \frac{P}{R_{bn}/\Omega} = \frac{320.41}{81.36} = 3.93 \rightarrow 4M24$$

Başlık levhası detayı kontrolü:
Bulon mesafeleri benzer seçilirse gerekli bulon sayısı

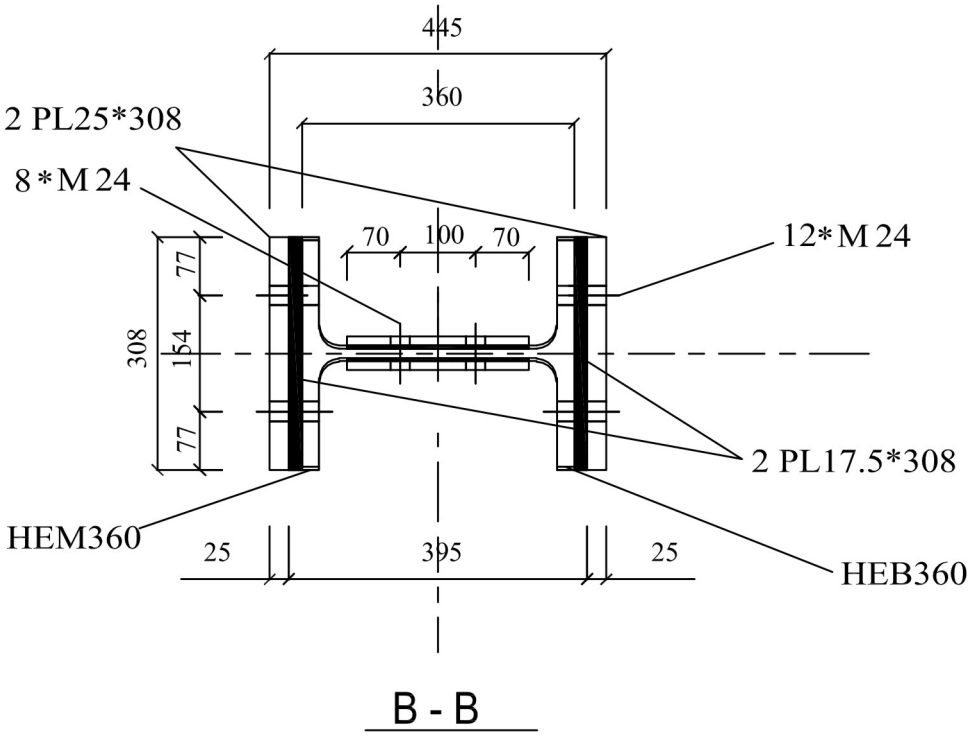
$$R_a = \frac{P}{n} \le \frac{R_{bn}}{\Omega} \rightarrow n = \frac{P}{R_{bn}/\Omega} = \frac{474.29}{81.36} = 5.82 \rightarrow 6M24$$



Şekil 3.19 Kolon ek detayı yan görünüş



Şekil 3.20 Kolon ek detayı ön görünüş



Şekil 3.21 Kolon ek detayı üst görünüş

3.14 B / 2 Aksı Kolon Ek Detayı

P_2 = - 769.84 kN (C 2 = D + L + S \ L_r)

N_E = -770 kN basınç kuvvetine göre ek boyutlandırılacaktır.

Profil başlık alanı : A_{bp} = (21.5) 300 = 6450 mm^2

Başlık levhası alanı : F_{bp} = (25) 300 = 7500 mm^2

F_b = 6450 mm^2 < F_{bp} = 7500 mm^2

Profil gövde alanı : F_g = 17090 – 2 (6450) = 4190 mm^2

Gövde levhası alanı : F_{gp} = (2) 300 (12) = 4800 mm^2

F_g = 4190 mm^2 < F_{gp} = 4800 mm^2

Gövdeye gelen kuvvet:

$$P_g = P\frac{F_g}{F} = 770\frac{4190}{17090} = 188.78kN$$

Başlığa gelen kuvvet:

$$P_b = P\frac{F_b}{F} = 770\frac{6450}{17090} = 290.61kN$$

Gövde plakası detay kontrolü:

10.9 kalitesinde M24 bulon kullanılırsa, M24 bulonun gövde alanı:

$$A_b = \frac{\pi(24)^2}{4} = 452mm^2$$

Bulonlar çift etkili oldukları halde tek tesirli kabul edilerek karakteristik kayma dayanımı

$$R_{bn} = 360(452) = 162720N = 162.72kN$$

Bir bulonun kayma güvenlik dayanımı ise:

$$R_{bn} / \Omega = 162.72 / 2 = 81.36kN$$

Ezilme dayanımı: h = 24 + 2 = 26 mm

HEB 360 için t_w = 12.5 mm ve gövde plakalarının toplam kalınlığı 12 + 12 = 24 mm olduğundan ezilme kolon gövdesinde oluşacak

$$L_c = L_e - \frac{h}{2} = 60 - \frac{26}{2} = 47mm$$

$$R_{bn} = 1.2L_c tF_u = 1.2(47)12.5(450) = 317250N = 317.25kN$$

$$R_{bn} / \Omega = 317.25 / 2 = 158.625kN$$

Üst sınır

$$R_{bn} = 2.4d_b tF_u = 2.4(24)12.5(450) = 324000N = 324kN$$

$$R_{bn} / \Omega = 324 / 2 = 162kN$$

İki bulon arası

$$L_c = s_b - h = 75 - 26 = 49mm$$

$$R_{bn} = 1.2(49)12.5(450) = 330750N = 330.75kN$$

$$R_{bn} / \Omega = 330.75 / 2 = 165.375kN$$

Üst sınır

$$R_{bn} = 2.4d_b tF_u = 2.4(24)12.5(450) = 324000N = 324kN$$

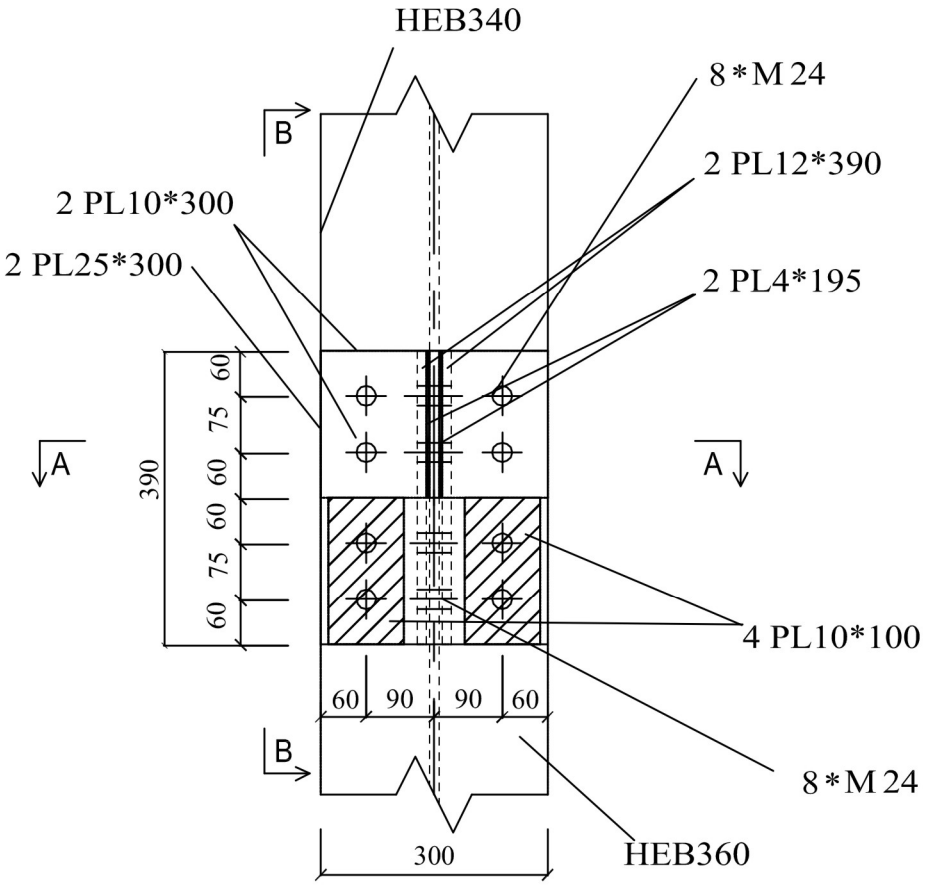
$$R_{bn} / \Omega = 324 / 2 = 162kN$$

Bir bulonun kayma güvenlik dayanımı (81.36kN) hesaplanan ezilme dayanımından (158.625 kN) küçük olduğundan kayma dayanımı kritiktir. Bu birleşimde bir bulon 81.36 kN yük taşıyabilir. Gerekli bulon sayısı

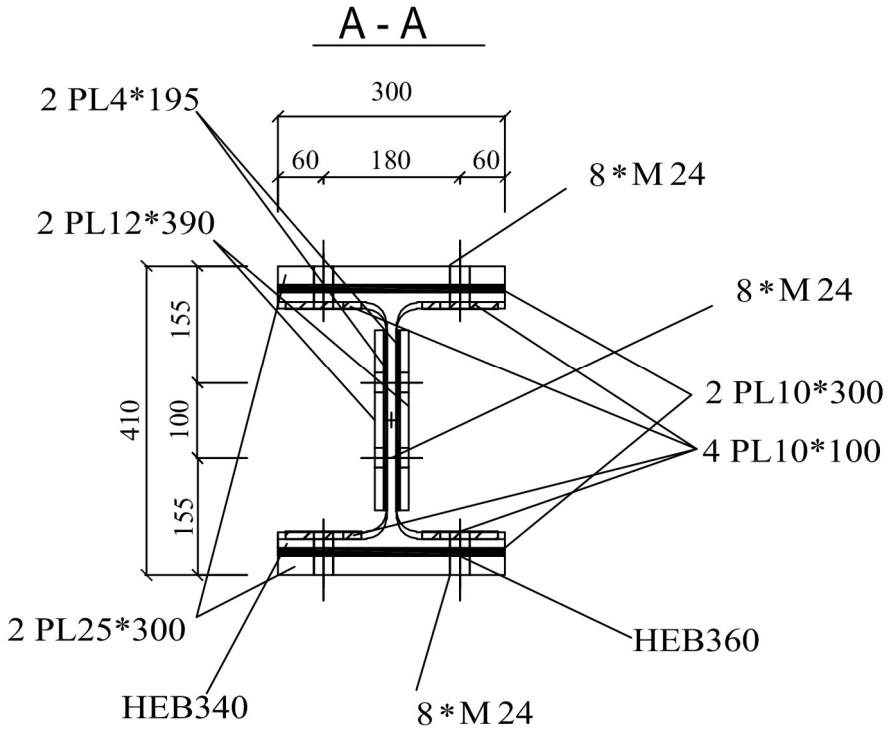
$$R_a = \frac{P}{n} \le \frac{R_{bn}}{\Omega} \rightarrow n = \frac{P}{R_{bn} / \Omega} = \frac{188.78}{81.36} = 2.32 \rightarrow 4M24$$

Başlık levhası detayı kontrolü:
Bulon mesafeleri benzer seçilirse gerekli bulon sayısı

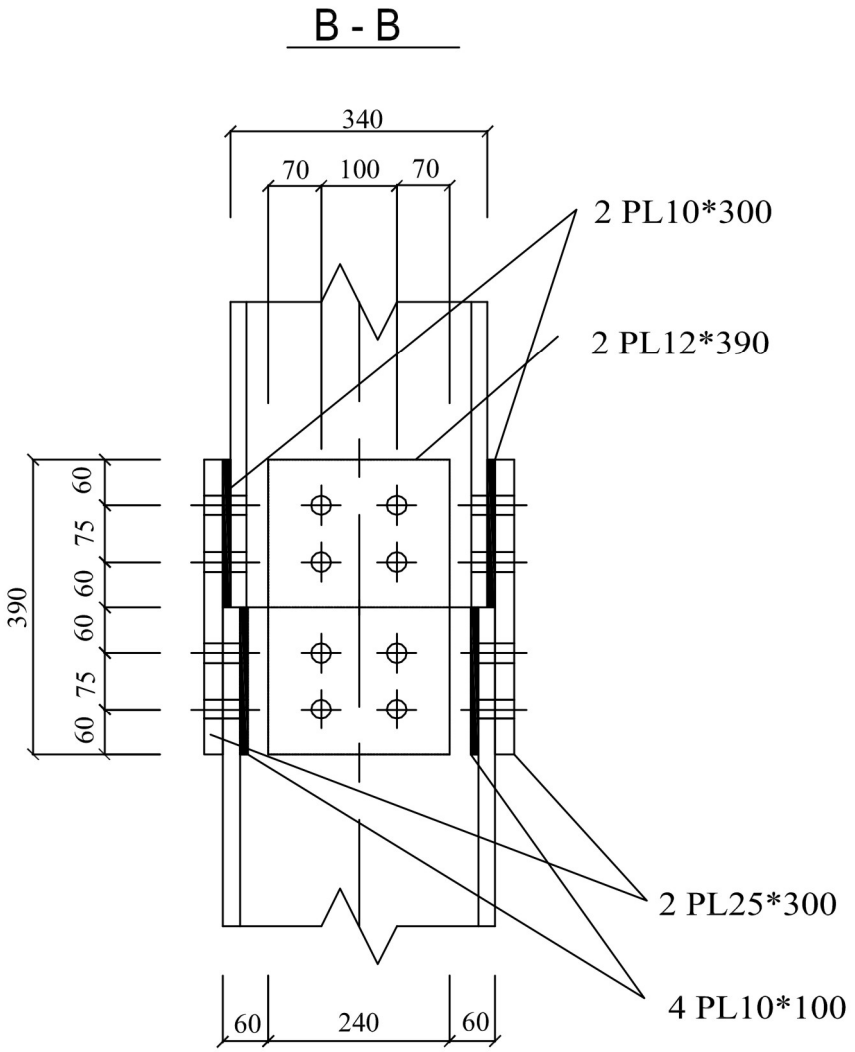
$$R_a = \frac{P}{n} \le \frac{R_{bn}}{\Omega} \rightarrow n = \frac{P}{R_{bn} / \Omega} = \frac{290.61}{81.36} = 3.57 \rightarrow 4M24$$



Şekil 3.22 Kolon ek detayı ön görünüş



Şekil 3.23 Kolon ek detayı üst görünüş



Şekil 3.24 Kolon ek detayı yan görünüş

3.15 Dış Kolon Temel Detayı Tasarımı

Tablo 3.6 Kolon temel tasarımı için kullanılacak kuvvetler

Kombinasyon adı	Fx	Fyk (kN)	Fz (kN)	Kombinasyon açılımı
C1	0	- 41.55	-722.91	D
C2	0	- 53.42	- 938.91	$D + L + S \setminus L_r$
C30	0	- 796.9	- 4421.59	$D + (-E_{YN} – 0.3E_X)$
C83	0	730.42	3264.93	$0.6 D + (E_{YP} + 0.3 E_X)$
C110	0	-1552.25	-8120.26	$D + 2 (-E_{YN} – 0.3E_X)$
C155	0	1485.78	6963.6	$0.6 D + 2 (E_{YN} + 0.3 E_X)$

A/2 aksındaki kolon mesneti için hesaplanan en elverişsiz eksenel basınç ve çekme kuvvetleri tabloda verilmiştir.

Beton basınç gerilmesi

$$\sigma_c = \frac{4421.59(10^3)}{855(800)} = 6.46N/mm^2 < 0.85(25)/1.5 = 14N/mm^2 \quad \textbf{(3.68)}$$

A = 800 mm

B = 855 mm

c = 160 mm

Açıklık momenti

$$M_1 = \frac{6.46(335)^2}{8} = 90622Nmm/mm \quad \textbf{(3.69)}$$

Konsol momenti

$$M_2 = \frac{6.46(375)^2}{11} = 65907Nmm/mm \quad \textbf{(3.70)}$$

$\rightarrow M_{max}$ = 90622 Nmm/mm

Taban plakasının kalınlığı 55 mm seçilirse mukavemet momenti:

$$W = \frac{t^2}{6} = \frac{55^2}{6} = 504.17mm^3 \quad \textbf{(3.71)}$$

$$M = \frac{W F_y}{\Omega} = \frac{(504.17)355}{1.67} = 107174Nmm/mm > M_{max} = 90622Nmm/mm \quad \textbf{(3.72)}$$

Temel bağlantı detayına etkiyen toplam çekme kuvveti

$\sum N_c$ = 3265 kN

10.9 kalitesinde M36 ankraj bulonu seçilirse

$$A_b = \frac{\pi 36^2}{4} = 1018mm^2$$

10.9 kalitesi için çekme güvenlik gerilmesi F_t = 375 N/mm^2

Bir bulonun güvenle aktarabileceği kuvvet

$$T_b = A_b F_t = 1018(375) = 381750N = 381kN \quad \textbf{(3.73)}$$

Gereken bulon sayısı:

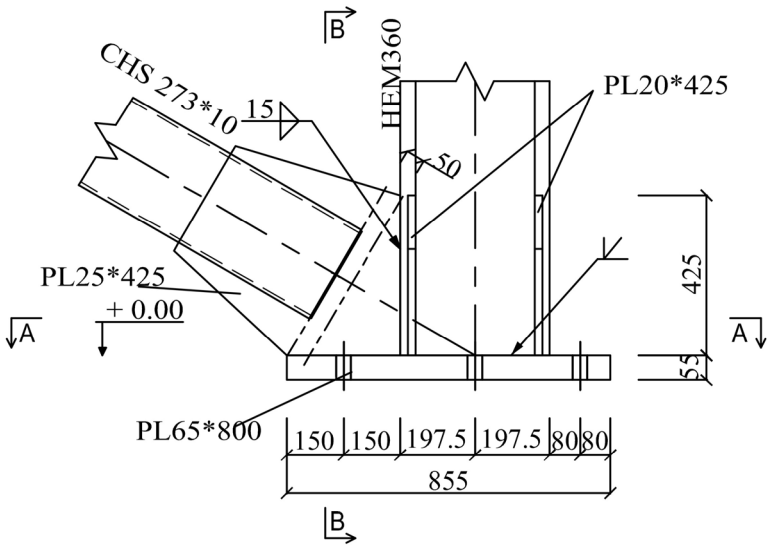
$$n = \frac{\sum N_c}{T_b} = \frac{3265}{381} = 8.57 \rightarrow 10 \text{ adet 10.9 kalitesinde M36} \qquad \textbf{(3.74)}$$

Ankraj bulonlarının aktarabileceği kesme kuvveti

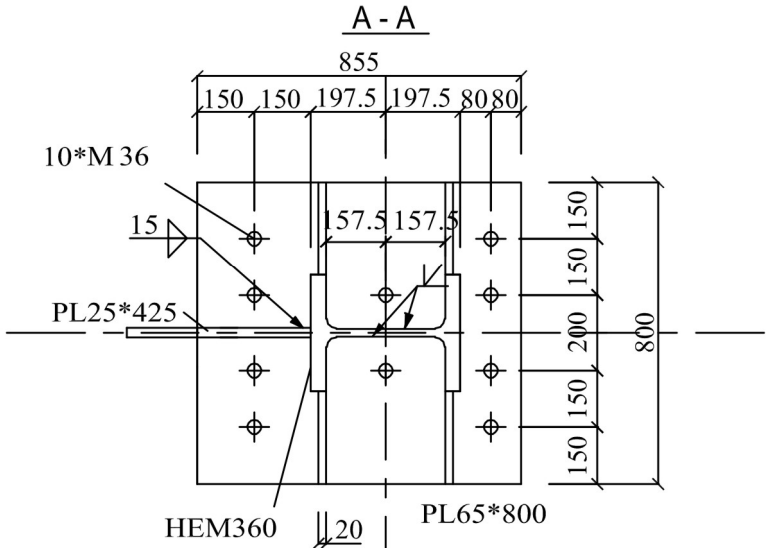
μ = 2 olarak alınırsa

$$T_u = (\sum P_u - \sum N_c)\mu = (10(381) - 3265)2 = 1090kN > F_y = 796.9kN \qquad \textbf{(3.75)}$$

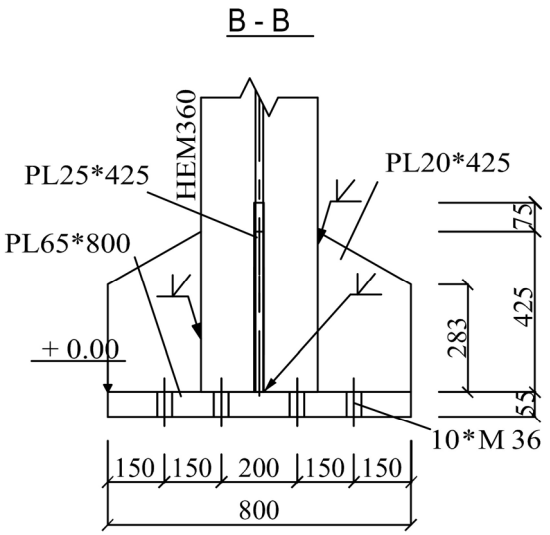
olduğundan kayma kamasına ihtiyaç yoktur.



Şekil 3.25 Dış kolon ayağı yan görünüş



Şekil 3.26 Dış kolon ayağı üst görünüş



Şekil 3.27 Dış kolon ayağı ön görünüş

3.16 Dış Kolon Ayağı Bağlantı Detayının Kapasitesinin Kontrolü

Beton basınç gerilmesi

$$\sigma_c = \frac{8120.26(10^3)}{800(855)} = 11.87 N/mm^2 < 0.85(25) = 21.25 N/mm^2$$

A = 800 mm

B = 855 mm

c = 160 mm

Açıklık momenti

$$M_1 = \frac{11.87(335)^2}{8} = 166513.8 Nmm/mm$$

Konsol momenti

$$M_2 = \frac{11.87(375)^2}{11} = 151747.16 Nmm/mm \qquad \textbf{(3.70)}$$

$\rightarrow M_{max}$ = 166514 Nmm/mm

Taban plakasının kalınlığı 55 mm seçilirse mukavemet momenti:

$$W = \frac{t^2}{6} = \frac{55^2}{6} = 504.17 mm^3$$

$$M = WF_y = (504.17)355 = 178980.35 Nmm/mm > M_{max} = 166514 mm/mm$$

Temel bağlantı detayına etkiyen toplam çekme kuvveti

$\sum N_c = 6963.6kN$

10.9 kalitesinde M36 ankraj bulonu seçilirse

$$A_b = \frac{\pi 36^2}{4} = 1018mm^2$$

10.9 kalitesi için çekme gerilmesi $F_t = 750\ N/mm^2$

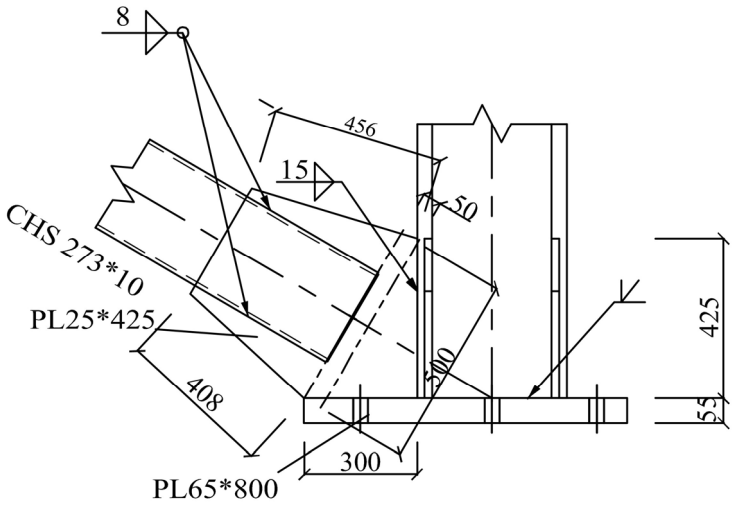
Bir bulonun güvenle aktarabileceği kuvvet

$$T_b = A_b F_t = 1018(750) = 763500N = 763.5kN$$

Gereken bulon sayısı:

$$n = \frac{\sum N_c}{T_b} = \frac{6963.6}{763.5} = 9.12 \rightarrow 10 \text{ adet 10.9 kalitesinde M36}$$

3.17 Dış Kolon Ayağı Guse Levhası Enkesit Kontrolü



Şekil 3.28 Dış kolon ayağı detayı

$P_b = -930.05\ kN$

$P_ç = 857.06\ kN$

$$H_{uc} = H_{ub} = P_b \cos\alpha = 930.05(0.864) = 803.52kN$$

$$V_{uc} = V_{ub} = P_b \sin\alpha = 930.05(0.504) = 468.72kN$$

Düşey kesit kontrolü

$$P_u = \sqrt{H_{uc}^2 + 3V_{uc}^2} = \sqrt{803.52^2 + 3(468.72)^2} = 1143kN$$

$$P_n = btF_y = 425(25)355 = 3771875N = 3771.875kN$$

Ω = 1.67 (kayma dayanımı güvenlik gerilmesi)

$$P_n / \Omega = 3771.875/1.67 = 2258.61kN > P_u = 468.72kN$$

Guse levhası yatay kesit kontrolü:

$$P_u = \sqrt{V_{ub}^2 + 3H_{ub}^2} = \sqrt{468.72^2 + 3(803.52)^2} = 1469kN$$

$$P_n = atF_y = 300(25)355 = 2662500N = 2662.5kN$$

$$P_n / \Omega = 2662.5/1.67 = 1594kN > P_u = 1469kN$$

Kolon Gövdesi Akma Dayanımı Kontrolü

AISC 360-05 J10-2a maddesine göre:

$$R_n = (5k + N)F_{yw}t_w$$

Ω = 1.50 (ASD için)

N = b = 425 mm

k = 0.5 (395-261).= 67 mm

R_n = (5 (67) + 425) 355 (21) = 5665800 N = 5665.8 kN

R_n / Ω = 5665.8 / 1.50 = 3777.2 kN

$R_u = H_{uc}$ = 803.52 kN < R_n / Ω = 3777.2 kN

Kolon Gövde Buruşması Tahkiki

Maksimum basınç kuvveti altında gövde buruşması kontrol edilirse

$$R_n = 0.8t_w^2\left[1 + 3\left(\frac{N}{d}\right)\left(\frac{t_w}{t_f}\right)^{1.5}\right]\sqrt{\frac{EF_{yw}t_f}{t_w}}$$ (AISC 360-05 J10-3a)

HE360M

N = b = 425 mm

$$R_n = 0.8(21)^2\left[1 + 3\left(\frac{425}{395}\right)\left(\frac{21}{40}\right)^{1.5}\right]\sqrt{\frac{200000(355)40}{21}}$$

$$R_n = 352.8\left[1 + 3(1.08)(0.38)\right](11629.19)$$

$$R_n = 9154118.8N = 9154kN$$

$$R_n / \Omega = 4577kN$$

$$R_n / \Omega = 4577kN > R_u = H_{uc} = 803.52kN$$

Guse plakasında çekme kontrolü

$$W = 500mm$$

$$P_n / \Omega = F_y A_g / \Omega$$

$$P_n / \Omega = 355(25)500 / 1.67 = 2657186N = 2657kN$$

$$P_n / \Omega = 2657 > P_u = 857.07kN$$

Guse plakası kenar stabilitesi kontrolü

Rijitlenmiş serbest kenarın uzunluğu, L_s :

$$L_s = \frac{(178.05 - 25)}{\sin 30} = 306.1mm$$

$$\frac{L_{fg}}{t} < 0.75\sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$\frac{L_{fg}}{t} < 0.75\sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0.75\sqrt{\frac{200000}{355}} = 17.80$$

$$L_{fg} < 25(17.80) = 445mm$$

$$L_1 = L - L_s = 456 - 306.1 = 149mm \rightarrow L_1 = 149mm < L_{fg} = 445mm$$

$$L_2 = L - L_s = 408 - 306.1 = 102mm \rightarrow L_2 = 102mm < L_{fg} = 445mm$$

Rijitlik plakasına ihtiyaç yok.

Guse plakası basınç dayanımı kontrolü

$$i = \frac{t}{\sqrt{12}} = \frac{25}{\sqrt{12}} = 7.22mm$$

Whitmore kesitinin genişliği

$$W = 500mm$$

Maksimum basınç kolonu uzunluğu L_g = 258 mm

KL/r = (1.2) 258 / 7.22 = 42.88

Sınır narinlik oranı,

$$\lambda_p = \frac{KL}{i} = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{F_y}} = \sqrt{\frac{2\pi^2 200000}{355}} = 105.45$$

$\lambda = 42.88 < \lambda_p = 105.45$ olduğundan

$$F_{cr} = \left[1 - \frac{1}{2}\left(\frac{42.88}{105.45}\right)^2\right](355) = 0.92(355) = 326.6 N/mm^2$$

$$\Omega = 1.5 + 1.2\left(\frac{42.88}{105.45}\right) - 0.2\left(\frac{42.88}{105.45}\right)^3 = 1.5 + 0.49 - 0.013 = 1.977$$

$$F = \frac{326.6}{1.977} = 165.2 N/mm^2$$

$$P_n = A\frac{F_{cry}}{\Omega} = (500)25(165.2) = 2065000N = 2065kN > 1255kN$$

Guse levhası kiriş bağlantı kaynaklarının tahkiki

Guse levhasının her iki yanında w = 15 mm etkili kaynak boyutuna sahip köşe kaynak kullanılırsa güvenlik

$$R_{nw} = 0.60F_E(0.707)wL_w = (0.60)480(0.707)15(300) = 916272N = 916.272kN$$

$$R_a = H_{ub} = 803.52kN \le \frac{R_{nw}}{\Omega} = \frac{2(916.272)}{2} = 916.272kN$$

Guse levhası kolon bağlantı kaynaklarının tahkiki

Guse levhasının her iki yanında w = 15 etkili kaynak boyutuna sahip köşe kaynak kullanılırsa güvenlik

$$R_{nw} = 0.60F_E(0.707)wL_w = (0.60)480(0.707)15(425) = 1298052N = 1298kN$$

$$R_a = H_{uc} = 468.72kN \le \frac{R_{nw}}{\Omega} = \frac{2(1298)}{2} = 1298kN$$

3.18 B/2 Aksı Kolon Ayağı Detay Tasarımı

Tablo 3.7 B/2 kolon temel tasarımı için kullanılacak kuvvetler

Kombinasyon adı	Fx (kN)	Fyk (kN)	Fz (kN)	Kombinasyon açılımı
C1	0	0	-1144.51	D
C2	0	0	-1576.51	D + L + S \ L_r
C30	-0.95	-0.95	-1144.51	D + ($-E_{YN} - 0.3E_X$)
C111	5.34	0.41	-1468.51	D +0.75 L + 0.75 S + 1.5 ($E_X + 0.3\ E_Y$)

B/2 aksındaki kolon mesneti için hesaplanan en elverişsiz eksenel basınç ve çekme kuvvetleri tabloda verilmiştir.

Beton basınç gerilmesi

$$\sigma_c = \frac{1576.51(10^3)}{400(500)} = 7.88 N/mm^2 < 0.85(25)/1.5 = 14 N/mm^2$$

$$n_1 = \frac{1}{2}(C - 0.95d) = \frac{1}{2}(500 - 0.95(360)) = 79mm$$

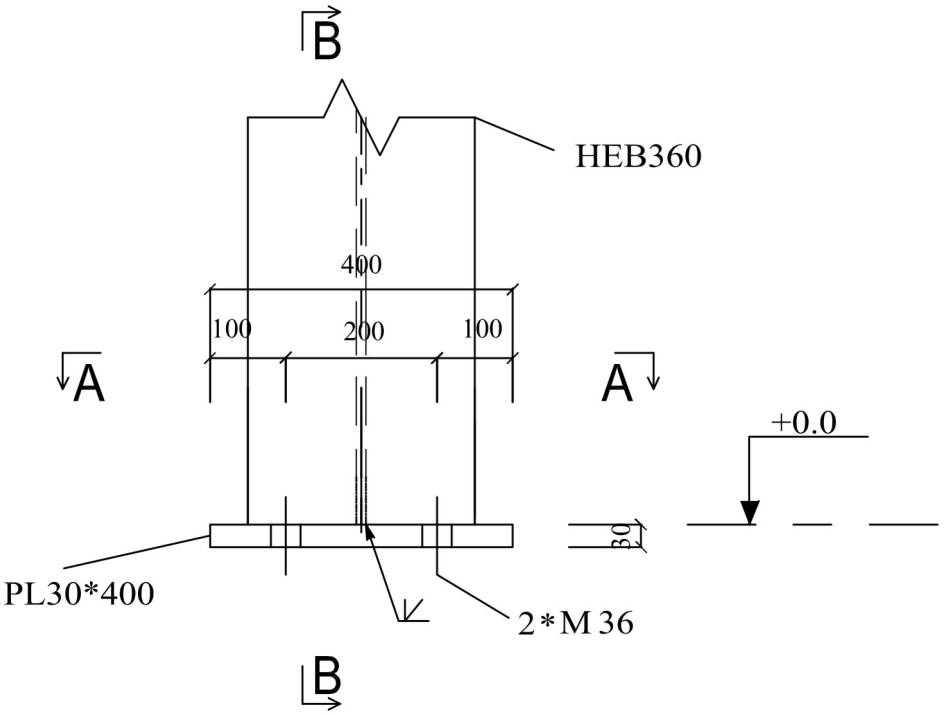
$$n_2 = \frac{1}{2}(B - 0.80b_f) = \frac{1}{2}(400 - 0.80(300)) = 80mm$$

C = 500 mm

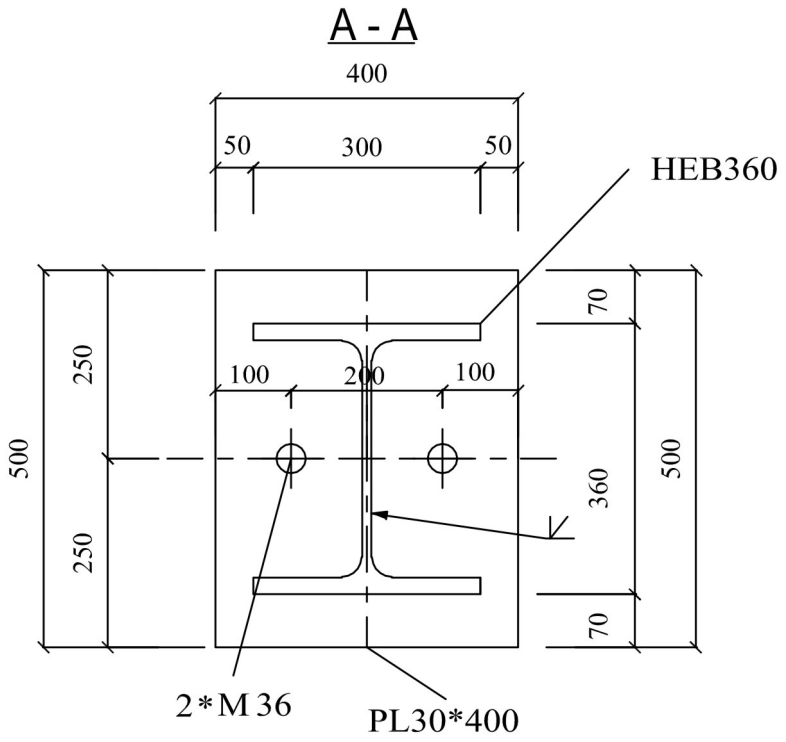
B = 400 mm

Ω = 1.67

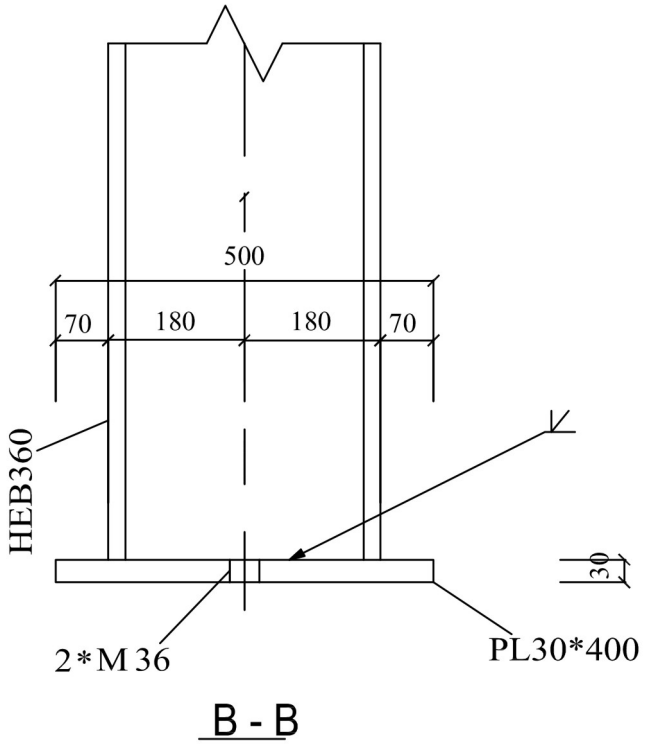
$$t = n\sqrt{\frac{3\sigma_c}{F_y/\Omega}} = 80\sqrt{\frac{3(7.88)}{212.5}} = 26.7mm \rightarrow t = 30mm$$



Şekil 3.29 B/2 aksı kolon ayağı ön görünüş



Şekil 3.30 B/2 aksı kolon ayağı üst görünüş



Şekil 3.31 B/2 aksı kolon ayağı yan görünüş

Hesaplar yapılırken [5], [10], [13], [15], [16], [17], [18], [19], [20], [21] ve [22] numaralı kaynaklardan yararlanılmıştır.

4. YÜK KOMBİNASYONLARININ KIYASLANMASI

Bu bölümde 3. bölümde ele alınan 6 katlı merkezi çelik çaprazlı perdelerden oluşan yapının boyutlandırılmasında Türk ve Amerikan yönetmeliklerinde verilen kombinasyonlardan meydana gelen kuvvetler tablolar halinde verilmiştir. TS 648 yönetmeliğinde rüzgarlı ve depremli yük kombinasyonlarında emniyet gerilmesi arttırılmaktadır. Bu durum ölü yükte azalmaya sebep olmaktadır. Birleşim ve ekleri için 1.15 ve depremli durum için en fazla 1.33 olarak verilen bu artırım sabit yüklerde azalma olarak ortaya çıkmaktadır.

TS 648'de

$$(D + L + E) \leq 1.15 \quad \rightarrow 0.87 (D + L + E) \leq 1.0 \qquad \textbf{(4.1)}$$

$$(D + L + E) \leq 1.33 \quad \rightarrow 0.75 (D + L + E) \leq 1.0 \qquad \textbf{(4.2)}$$

ASCE7-05

$$D + 0.75 (L + W) \leq 1.0 \qquad \textbf{(4.3)}$$

$$D + 0.75 (L + E) \leq 1.0 \qquad \textbf{(4.4)}$$

4.1 Türk Deprem Yönetmeliği Yük Kombinasyonları

Yük kombinasyonları olarak T.D.Y Bölüm 4'te verilen yük kombinasyonları kullanılmıştır.

$E_1 = E_X + 0.3\ E_Y$

$E_2 = -E_X + 0.3\ E_Y$

$E_3 = E_X - 0.3\ E_Y$

$E_4 = -E_X - 0.3\ E_Y$

$E_5 = E_{XP} + 0.3\ E_Y$

$E_6 = -E_{XP} + 0.3\ E_Y$

$E_7 = E_{XP} - 0.3\ E_Y$

$E_8 = -E_{XP} - 0.3\ E_Y$

$E_9 = E_{XN} + 0.3\ E_Y$

$E_{10} = -E_{XN} + 0.3\ E_Y$

$E_{11} = E_{XN} - 0.3\ E_Y$

$E_{12} = -E_{XN} - 0.3\ E_Y$

$E_{13} = E_Y + 0.3\ E_X$

$E_{14} = -E_Y + 0.3\ E_X$

$E_{15} = E_Y - 0.3\ E_X$

$E_{16} = -E_Y - 0.3\ E_X$

$E_{17} = E_{YP} + 0.3\ E_X$

$E_{18} = -E_{YP} + 0.3\ E_X$

$E_{19} = E_{YP} - 0.3\ E_X$

$E_{20} = -E_{YP} - 0.3\ E_X$

$E_{21} = E_{YN} + 0.3\ E_X$

$E_{22} = -E_{YN} + 0.3\ E_X$

$E_{23} = E_{YN} + 0.3\ E_X$

$E_{24} = -E_{YN} - 0.3\ E_X$

C 1 = 1.0 (D + L + S \ L_r)

C 2 - C 25 = 1.0 (D + L + S \ L_r + (E_1+…+ E_{24}))

C 26 - C 49 = 0.9 D + (E_1 + …+ E_{24})

C 50 = 1.0 (D+ L + S \ L_r) + 1.0 W_{XP}

C 51 = 1.0 (D + L + S \ L_r) + 1.0 W_{XN}

C 52 = 1.0 (D + L + S \ L_r) + 1.0 W_{YP}

C 53 = 1.0 (D + L + S \ L_r) + 1.0 W_{YN}

C 54 = 0.90 D + 1.0 W_{XP}

C 55 = 0.90 D + 1.0 W_{XN}

C 56 =0.90 D + 1.0 W_{YP}

C 57 = 0.90 D + 1.0 W_{YN}

C 58 - C 81 = 1.0 (D + L + S \ L_r) + 2 (C 1 + ….+ C 24)

C 82 - C 105 =) 0.9 D + 2 (C 1 + ….+ C 24)

Gerekli yerlerde ilgili maddeler uyarınca Ω = 2 değeri kullanılmıştır.

4.2 Tali Kiriş Boyutlandırmasında Kullanılan Kombinasyonlar

Tablo 4.1 Tali kiriş boyutlaması için kullanılan yük kombinasyonları

	ASCE7 – 05 ASD	TDY 2007
Kombinasyon açılımı	C 2 = D + L + S \ L_r	C 1 = D + L + S \ L_r
Normal kat maksM (kNm)	64.90	64.90
Normal kat maksT (kN)	43.27	43.27

4.3 Ana Kiriş Boyutlandırmasında Kullanılan Kombinasyonlar

Tablo 4.2 1. kat 2 B - 3 B akslarındaki ana kiriş boyutlaması için kullanılan yük kombinasyonları

	ASCE7 – 05 ASD	TDY 2007
Kombinasyon açılımı	C 2 = D + L + S \ L_r	C 1 = D + L + S \ L_r
maksM (kNm)	175.636	175.636
maksT (kN)	-88.25	-88.25

4.4 Çapraz Elemanı Boyutlandırmasında Kullanılan Kombinasyonlar

Tablo 4.3 1B - 1C Akslarındaki çapraz boyutlaması için kullanılan yük kombinasyonları

	ASCE7 – 05 ASD	TDY 2007
Kombinasyon açılımı	C 15 = D + E_{XN} + 0.3 E_Y	C 1 = D + L + S \ L_r + E_{XN} - 0.3 E_Y
maksN (kN)	-937.22	-950.97

4.5 A/2 Aksı C2 Kolonu Boyutlandırmasında Kullanılan Kombinasyonlar

Tablo A.12'de verilmiştir.

4.6 A/2 Aksı Dış Kolon - Kolon Ek Detayında Kullanılan Kombinasyonlar

Tablo A.13'te verilmiştir.

4.7 B/2 Aksı İç Kolon - Kolon Ek Detayında Kullanılan Kombinasyonlar

Tablo A.14'te verilmiştir.

4.8 B/2 Aksı İç Kolon Temel Detayında Kullanılan Kombinasyonlar

Tablo A.15'te verilmiştir.

4.9 A/2 Aksı Dış Kolon Temel Detayında Kullanılan Kombinasyonlar

Tablo A.16'da verilmiştir**.**

5. SONUÇLAR ve DEĞERLENDİRMELER

Bu çalışmada, süneklik düzeyi yüksek merkezi çelik çaprazlardan oluşan altı katlı çelik bir binanın 2007 yılında yürürlüğe giren Türk Deprem Yönetmeliğine uygun olarak elemanlarını boyutlayıp detay tasarımı yapılmıştır. Depremde yıkılan veya hasar gören yapıların birçoğunun yetersiz boyutlama değil de birleşim tasarımının kötü olmasından dolayı göçtüğü varsayılırsa detay tasarımının çelik yapılarda ne kadar önemli olduğu ortaya çıkar. Süneklik düzeyi yüksek çerçevelerin kendisinden beklenen sünek davranışı gerçekleştirebilmesi için yönetmelik ve standartlarda verilen kurallara uyulmalıdır. Bu çalışmada sünek davranışta önemli role sahip guse plakasının detay tasarımı **W. Thornton (1991)** tarafından önerilen Kuvvet Dağıtım Metodu kullanılmıştır. Bu metot birleşimde moment oluşturmadan birleşim için en uygun çözümü vermektedir. TS 648 ve Türk Deprem Yönetmeliğinde guse plakasının tasarımında uyulması gereken kurallar ve çaprazdaki kuvvetin guse – kiriş ve guse – kolon yüzeyine nasıl dağıtılacağı ile ilgili bilgi mevcut değildir. Çaprazdaki kuvvetin yatay ve düşey bileşeni alınarak kontroller yapıldığında guse plakasının kesiti büyüyebilmekte ve ekonomik çözümden uzaklaşılmaktadır.

Ayrıca bu çalışmada literatürde guse plakası tasarımı ile ilgili verilen kurallar tasarımda göz önüne alınmıştır. Yine guse plakası tutulmamış serbest kenarlarının uzunluğunun önemi, guse plakasının basınç dayanımının çaprazın gerçek boyu ile hesaplanan basınç dayanımından büyük olması gerektiği tasarımda göz önüne alınmıştır. Guse plakasının kutu veya boru profiller ile birleşim detayında en kesit kaybının göz önüne alınması ve takviye plakası ile güçlendirilmesinin önemi vurgulanmıştır. Guse plakasında yapılacak kontrollerle ilgili açıklayıcı bilgiler TS 648 ve Deprem Yönetmeliğinde mevcut değildir. Guse plakasında bırakılması gereken 2t mesafesi ile ilgili olarak Deprem Yönetmeliği Madde 4.6.3.3.b şıkkında düğüm noktası levhasının düzlem dışına burkulmasının önlenmesi amacıyla, çaprazın ucunun kiriş veya kolon yüzüne uzaklığı düğüm levhası kalınlığının iki katından daha fazla olmayacaktır. Buna uyulmadığı durumlarda, ilave berkitme levhaları kullanılarak, düğüm levhasının düzlem dışına burkulması önlenecektir ifadesi

geçmektedir. Fakat değişik çapraz açıları için 2t mesafesinin nasıl bırakılacağı, döşeme mevcut ise hesaplara etkisi, nasıl dikkate alınacağı ve guse plakasının basınç dayanımının çaprazın gerçek boyu ile hesaplanan basınç dayanımından büyük olması ile ilgili bilgi mevcut değildir.

Deprem Yönetmeliğinde çapraz düzeni olarak diyagonal, X, Ters V, V ve K tipi çaprazı verirken dikme ile desteklenmiş ters V, payanda ve burkulması önlenmiş sistemler ile ilgili bilgiler mevcut değildir. Bilgi verilen çapraz formları ile ilgili verilen bilgiler yetersiz olmakla birlikte, tasarımda bu tiplerin kullanılması durumunda ortaya çıkacak sorunlar ve bunlara çözüm önerileri verilmemiştir.

Moment aktaran çerçeveler için birleşim örnekleri verilirken merkezi çelik çaprazlı perdeler için hiçbir detay verilmemiştir. Düzlem içi ve düzlem dışı burkulma davranışına uygun olarak değişik enkesitler için detay örnekleri verilerek konunun iyi anlaşılması sağlanabilir.

Ayrıca TS 648 yönetmeliğinde rüzgarlı ve depremli yük kombinasyonlarında emniyet gerilmesi arttırılmaktadır. Bu durum ölü yükte azalmaya sebep olmaktadır. TS 648'de verilen yük kombinasyonları yerine ASCE7-05'te güvenlik dayanımları hesap yöntemi için verilen yük kombinasyonları kullanılıp sonuçlar değerlendirilmiştir. Birleşim ve ekleri için 1.15 ve depremli durum için en fazla 1.33 olarak verilen bu artırım sabit yüklerde azalma olarak ortaya çıkmaktadır.

TS 648'de

$$(D + L + E) \leq 1.15 \quad \rightarrow 0.87 (D + L + E) \leq 1.0 \qquad \textbf{(5.1)}$$

$$(D + L + E) \leq 1.33 \quad \rightarrow 0.75 (D + L + E) \leq 1.0 \qquad \textbf{(5.2)}$$

ASCE7-05

$$D + 0.75 (L + W) \leq 1.0 \qquad \textbf{(5.3)}$$

$$D + 0.75 (L + E) \leq 1.0 \qquad \textbf{(5.4)}$$

TS 648 genel olarak değerlendirildiğinde güvenlik gerilmelerinin belirlenmesinde verilen katsayılar Amerikan standartları ile hemen hemen aynıdır. Bu durum ve ASCE7-05'de verilen yük kombinasyonları ve bu yük kombinasyonları ile ilgili değerlendirmeler göz önüne alındığında, TS 648'de verilen yük kombinasyonları tasarımda daha az güvenlik payı bıraktığı görülmektedir.

KAYNAKLAR

[1] **Tremblay, R., Timler, P., Bruneau M. ve Filliatrault A.,** 1995. Performance of Steel Structures During the 1994 Northridge Earthquake , *Can. J. Civ. Eng ,* **22,** 338-360.

[2] **Liew., J.Y.R., Balendra T. ve Chen, W.F.,** 1999. Structural Engineering Handbook*,* ch. 12, Ed. Chen, W., F., Boca Raton, CRC Press LLC.,

[3] **Hamburger, R.O. ve Nazir, N.A.,** 2003. Earthquake Engineering Handbook*,* ch. 12, Eds. Chen, W., F. & Scawthorn, C., Boca Raton, CRC Press LLC.,

[4] **Filliatrault A. ve Tremblay, R.,** 1998. Design of Tension-Only Concentrically Braced Steel Frames for Sesimic Induced Impact Loading , *Engineering Structures ,* **20,** 1087-1096

[5] **Cochran, M.L. ve Honeck, W.C.,** 2004. Design of Special Concentric Braced Frames, *Steel TIPS, Structural Steel Educational Council ,* Morago**,** CA,

[6] **Clark, P., Aiken, I., Kasai K., ve Diğerleri,** 1999**,** Design Procedures for Buildings Incorporating Hysteretic Damping Devices, Proceedings*, 68th Annual Convention*, *Structural Engineers of California,* Santa Barbara, CA, Ekim

[7] **Roeder**, **C.W.,** 1999. Structural Steel Designer's Handbook*,* ch. 9, Eds. Brockenbrough, R.L. ve Merritt, F.S., New York, McGraw-Hill, inc.

[8] **Lee, K. ve Bruneau, M.,** 2005. Energy Dissipation Demand of Compresion Members in Concentrically Braced Frames, *Steel and Composite Structures ,* **5,** 345-358.

[9] **Lee, K. ve Bruneau, M.,** 2005. Energy Dissipation of Compresion Members in Concentrically Braced Frames: Review of Experimental Data, *Journal of Structural Engineering , ASCE* **131** (4), 552-559

[10] **Structural Engineers Association of California (SEAOC)**, 2003. 2000 IBC Structural / Seismic Design Manual – Volume III: Steel and Concrete Building Design Examples, , Sacramento, CA,

[11] **Astaneh-Asl, A.,** 1998 Seismic Behavior and Design of Gusset Plate, *Steel TIPS, Structural Steel Educational Council ,* Morago**,** CA,

[12] **AISC**, 1994, Manual of Steel Construction: Load & Resistance Factor Design, 2.nd Ed., Chicago,

[13] **Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Esaslar**, 2007, T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü Deprem Araştırma Dairesi, Ankara.

[14] **Lui, M.E.,** 1999. Structural Engineering Handbook, ch. 3, Ed. Chen, W., F., Boca Raton, CRC Press LLC.,

[15] **TS-498**, 1997. Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri kuralları, *Türk Standartları Enstitüsü,* Ankara.

[16] **American Society of Civil Engineers (ASCE)**, 2006, Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures, SEI/ASCE 7-05, Virginia

[17] **Yorgun, C**., 2007 Çelik Yapılar I Ders Notları, İ.T.Ü., İstanbul

[18] **TS-648**, 1980. Çelik Yapıların Hesap ve Yapım kuralları, *Türk Standartları Enstitüsü,* Ankara.

[19] **AISC**, 2005, Specification for Structural Steel Buildings, ANSI/AISC 360-05, Chicago, Illinois

[20] **AISC**, 2005, Commentary on the Specification for Structural Steel Buildings, ANSI/AISC 360-05, Chicago, Illinois

[21] **AISC**, 2005, Seismic Provisions for Structural Steel Buildings, ANSI/AISC 341-05, Chicago, Illinois

[22] **SEAOC** , 2000. Seismic Design Manual – Volume III: Building Design Examples: Steel, Concrete and Cladding , Sacramento, CA

EK A

Tablo A.1 1 ve 6 numaralı noktalar için (E_X)

KAT	NO	U_x	U_{x-1}	Δ_x	Δ_{max}	Δ_{min}	Δ_{ort}	η
6	1	0.0412	0.0342	0.007	0.007	0.007	0.007	1
5	1	0.0342	0.0266	0.0076	0.0076	0.0076	0.0076	1
4	1	0.0266	0.0189	0.0077	0.0077	0.0077	0.0077	1
3	1	0.0189	0.0166	0.0073	0.0073	0.0073	0.0073	1
2	1	0.0116	0.0051	0.0065	0.0065	0.0065	0.0065	1
1	1	0.0051						
6	6	0.0412	0.0342	0.007				
5	6	0.0342	0.0266	0.0076				
4	6	0.0266	0.0189	0.0077				
3	6	0.0189	0.0166	0.0073				
2	6	0.0116	0.0051	0.0065				
1	6	0.0051						

Tablo A.2 1 ve 31 numaralı noktalar için (E_Y)

KAT	NO	U_y	U_{y-1}	Δ_y	Δ_{max}	Δ_{min}	Δ_{ort}	η
6	1	0.0412	0.0343	0.0069	0.0069	0.0069	0.0069	1
5	1	0.0343	0.0266	0.0077	0.0077	0.0077	0.0077	1
4	1	0.0266	0.0189	0.0077	0.0077	0.0077	0.0077	1
3	1	0.0189	0.0116	0.0073	0.0073	0.0073	0.0073	1
2	1	0.0116	0.0051	0.0065	0.0065	0.0065	0.0065	1
1	1	0.0051						
6	31	0.0412	0.0343	0.0069				
5	31	0.0343	0.0266	0.0077				
4	31	0.0266	0.0189	0.0077				
3	31	0.0189	0.0116	0.0073				
2	31	0.0116	0.0051	0.0065				
1	31	0.0051						

Tablo A.3 1 ve 31 numaralı noktalar için (E_{YP} - E_{YN})

KAT	NO	U_y	U_{y-1}	Δ_y	Δ_{max}	Δ_{min}	Δ_{ort}	η
6	1	0.0392	0.0326	0.0066	0.0073	0.0066	0.00695	1.05
5	1	0.0326	0.0253	0.0073	0.008	0.0073	0.00765	1.05
4	1	0.0253	0.018	0.0073	0.0081	0.0073	0.0077	1.05
3	1	0.018	0.011	0.007	0.0077	0.007	0.00735	105
2	1	0.011	0.0048	0.0062	0.0069	0.0062	0.00655	1.05
1	1	0.0048						
6	31	0.0433	0.036	0.0073				
5	31	0.036	0.0253	0.008				
4	31	0.0253	0.018	0.0081				
3	31	0.018	0.011	0.0077				
2	31	0.011	0.0048	0.0069				
1	31	0.0048						

Tablo A.4 1 ve 6 numaralı noktalar için (E_{XP} - E_{XN})

KAT	Δ_{ort}	Δ_{ort} / h	Δ_{ort-1} / h	η_{ki}
6	0.007	0.002	0.002171	0.92
5	0.0076	0.002171	0.0022	0.987
4	0.0077	0.0022	0.002086	1.05
3	0.0073	0.002086	0.001857	1.12
2	0.0065	0.001857		

Tablo A.5 1 ve 31 numaralı noktalar için (E_Y)

KAT	Δ_{ort}	Δ_{ort} / h	Δ_{ort-1} / h	η_{ki}
6	0.0069	0.001971	0.0022	0.90
5	0.0077	0.0022	0.0022	1
4	0.0077	0.0022	0.002086	1.05
3	0.0073	0.002086	0.001857	1.12
2	0.0065	0.001857		

Tablo A.6 1 ve 31 numaralı noktalar için (E_{YP} - E_{YN})

KAT	Δ_{ort}	Δ_{ort} / h	Δ_{ort-1} / h	η_{ki}
6	0.00695	0.001986	0.002186	0.91
5	0.00765	0.002186	0.0022	0.99
4	0.0077	0.0022	0.0021	1.05
3	0.00735	0.0021	0.001871	1.12
2	0.00655	0.001871		

Tablo A.7 1 ve 6 numaralı noktalar için (E_X)

KAT	Δ_x	$\delta_{ix} = \Delta_{ix}$ R	δ_{ix} / 3.5
6	0.007	0.035	0.01
5	0.0076	0.038	0.00109
4	0.0077	0.0385	0.0011
3	0.0073	0.035	0.00104
2	0.0065	0.0365	0.0093
1	0.0051	0.0255	0.0073

Tablo A.8 1 numaralı noktalar için (E_{XP}) ve 6 numaralı nokta için (E_{XN})

KAT	Δ_x	$\delta_{ix} = \Delta_{ix}$ R	δ_{ix} / 3.5
6	0.0067	0.0335	0.0096
5	0.0072	0.036	0.00102
4	0.0073	0.0365	0.00104
3	0.007	0.035	0.001
2	0.0061	0.0305	0.0087
1	0.0049	0.0245	0.007

Tablo A.9 1 numaralı noktalar için (E_{XN}) ve 6 numaralı nokta için (E_{XP})

KAT	Δ_x	$\delta_{ix} = \Delta_{ix}$ R	δ_{ix} / 3.5
6	0.0073	0.0365	0.00104
5	0.0081	0.0405	0.0012
4	0.0081	0.0405	0.0012
3	0.0076	0.038	0.0011
2	0.0068	0.034	0.0097
1	0.0054	0.027	0.0077

Tablo A.10 1 ve 31 numaralı noktalar için (E_Y)

KAT	Δ_x	$\delta_{ix} = \Delta_{ix}$ R	δ_{ix} / 3.5
6	0.0069	0.0345	0.099
5	0.0077	0.0385	0.0011
4	0.0077	0.0385	0.0011
3	0.0073	0.0365	0.00104
2	0.0065	0.0325	0.0093
1	0.0051	0.0255	0.0073

Tablo A.11 1 numaralı noktalar için (E_{YP}) ve 31 numaralı nokta için (E_{YN})

KAT	Δ_x	$\delta_{ix} = \Delta_{ix}$ R	δ_{ix} / 3.5
6	0.0066	0.033	0.0094
5	0.0073	0.0365	0.00104
4	0.0073	0.0365	0.00104
3	0.007	0.035	0.001
2	0.0062	0.031	0.0089
1	0.0048	0.024	0.0069

Tablo A.12 A/2 Aksındaki C2 kolonun boyutlaması için kullanılan yük kombinasyonları

	ASCE7 – 05 ASD	TDY 2007
Kombinasyon açılımı	C 28 = 1.0 D - E_{YN} + 0.3 E_X	C25 = D + L + S \ L_r + (- E_{YN} – 0.3 E_X)
Maks N_E (kN)	- 3951.14	- 4160.21
Arttırılmış etkiler altında (çekme k.)	C157 = 0.6 D + 2 (E_{YN} - 0.3 E_X)	C 102 = 0.9 D + 2 (E_{YN} + 0.3 E_X)
Maks N_E (kN)	6093.91	5887.28
Arttırılmış etkiler altında (basınç k.)	C110 = D + 2 (-E_Y - 0.3 E_X)	C81 = D + L + S \ L_r + 2 (-E_{YN} – 0.3 E_X)
Maks N_E (kN) (basınç kuvveti)	-7204.73	-7413.8

Tablo A.13 A/2 Aksı kolon - kolon birleşiminde kullanılan yük kombinasyonları

	ASCE7 – 05 ASD	TDY 2007
Kombinasyon açılımı	C 28 = D + (- E_{YN} + 0.3E_X)	C 25 = D + L + S \ L_r - E_{YN} - 0.3 E_X
Maks N_E (kN)	-1268.21	-1370.26

Tablo A.14 B/2 Aksı kolon - kolon birleşiminde kullanılan yük kombinasyonları

	ASCE7 – 05 ASD	TDY 2007
Kombinasyon açılımı	C 2 = D + L + S \ L_r	C 1 = D + L + S \ L_r
Maks N_E (kN)	- 769.84	- 769.84

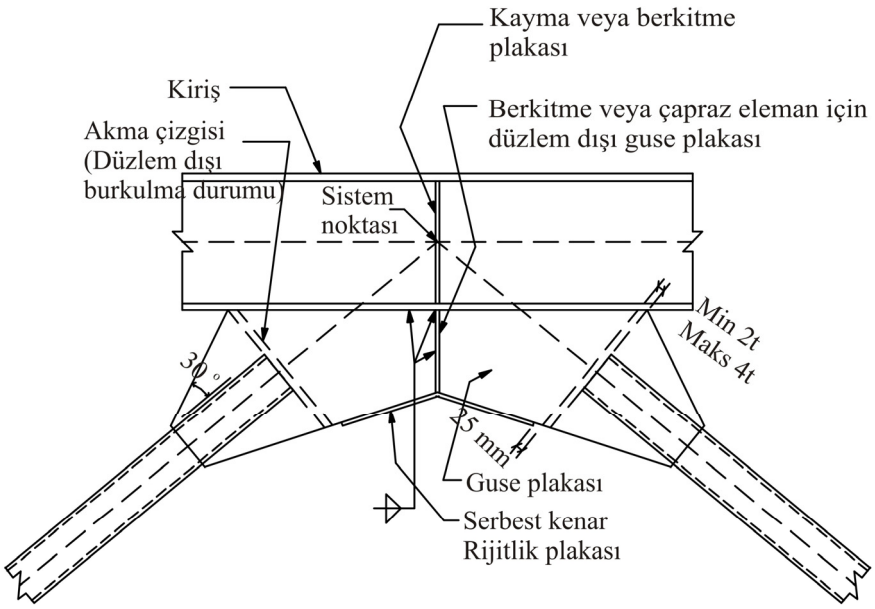
Tablo A.15 B/2 Aksı kolon temel detayında kullanılan yük kombinasyonları

	ASCE7 – 05 ASD	TDY 2007
Kombinasyon açılımı	C 2 = D + L + S \ L_r	C 1 = D + L + S \ L_r
F_z (kN)	- 1576.51	- 1576.51

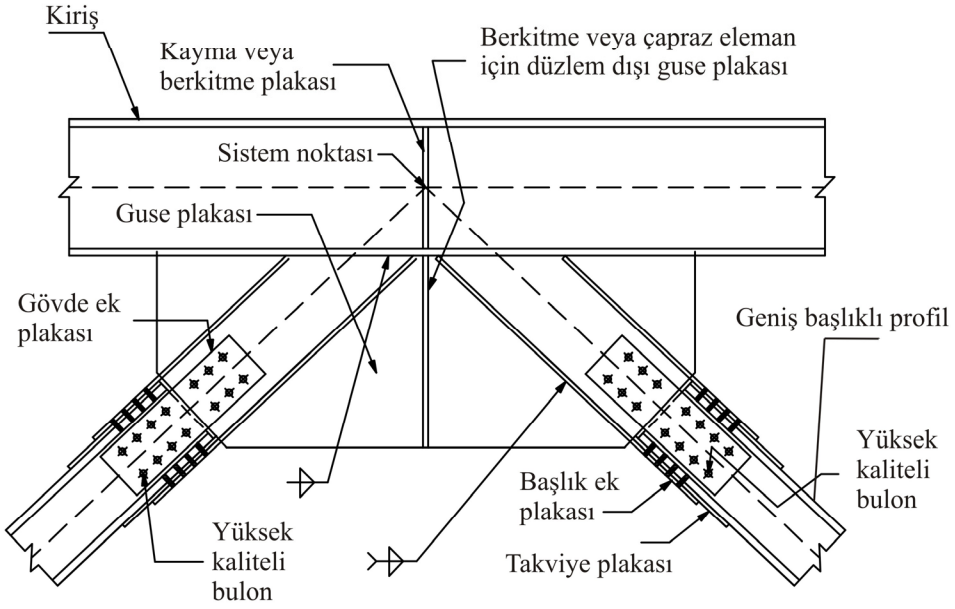
Tablo A.16 A/2 Aksı kolon temel detayında kullanılan yük kombinasyonları

	ASCE7 – 05 ASD	TDY 2007
Basınç kuvveti Kombinasyon açılımı	C 30 = 1.0 D - E_{YN} - 0.3 E_X	C 25 = D + L + S \ L_r + (- E_{YN} – 0.3 E_X)
F_z (kN)	- 4421.59	- 4160.21
F_{yk} (kN)	-769.9	-817.12
Çekme kuvveti Kombinasyon açılımı	C 83 = 0.6 D + E_{YP} + 0.3 E_X	C 46 = 0.9 D + E_{YN} + 0.3 E_X
F_z (kN)	3264.93	2633.68
F_{yk} (kN)	730.42	725.35
Arttırılmış etkiler altında (çekme k.)	C 155 = 0.6 D + 2 (E_{YN} + 0.3 E_X)	C 102 = 0.9 D + 2 (E_{YN} + 0.3 E_X)
F_z (kN)	6963.6	5887.28
F_{yk} (kN)	1485.78	1488.55
Arttırılmış etkiler altında (basınç k.)	C110 = D + 2 (-E_{YN} - 0.3 E_X)	C81 = D + L + S \ L_r + 2 (- E_{YN} - 0.3 E_X)
F_z (kN)	-8120.26	-7413.8
F_{yk} (kN)	-1555.25	-1580.256

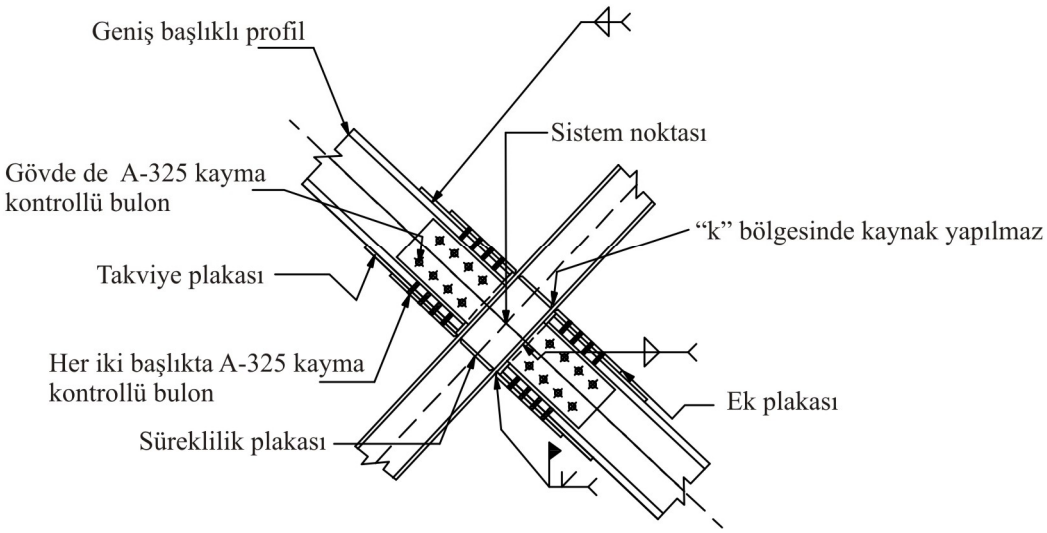
EK B



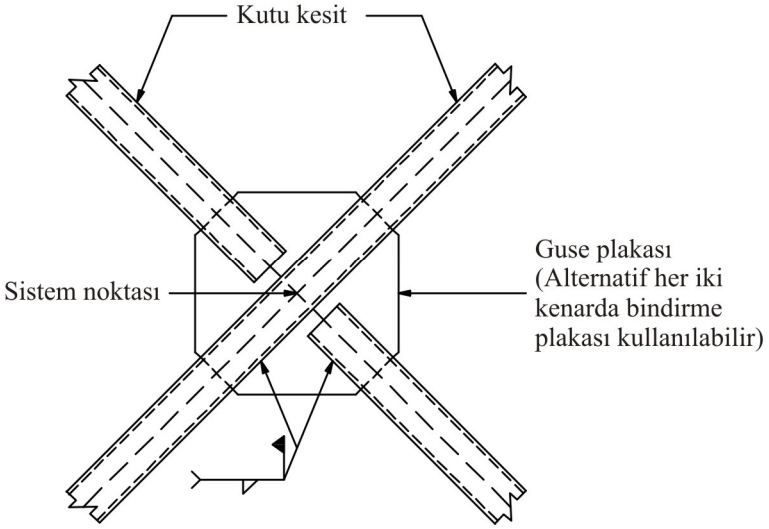
Şekil B.1 V tipi çapraz formunda kutu kesit çapraz eleman - kiriş bağlantı detayı [5]



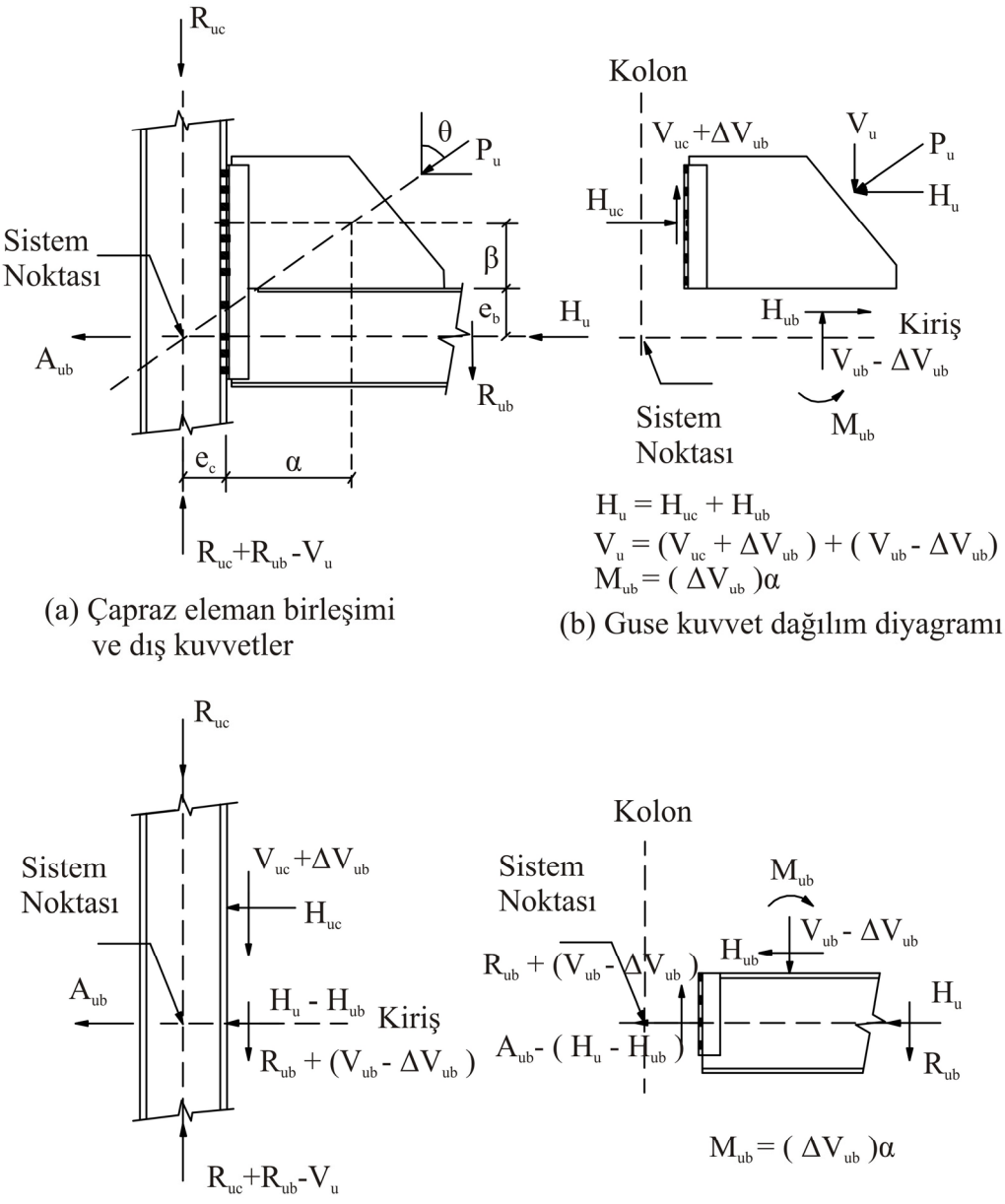
Şekil B.2 V tipi çapraz formunda geniş başlıklı çapraz eleman - kiriş bağlantı detayı [5]



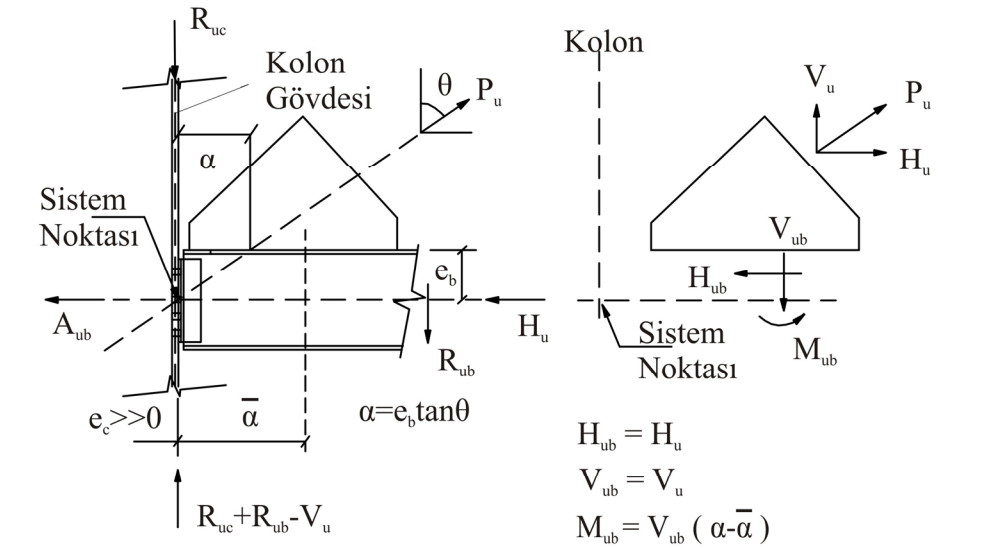
Şekil B.3 Geniş başlıklı çaprazların düğüm noktası detayı [5]



Şekil B.4 Kutu kesit çaprazların düğüm noktası detayı [5]

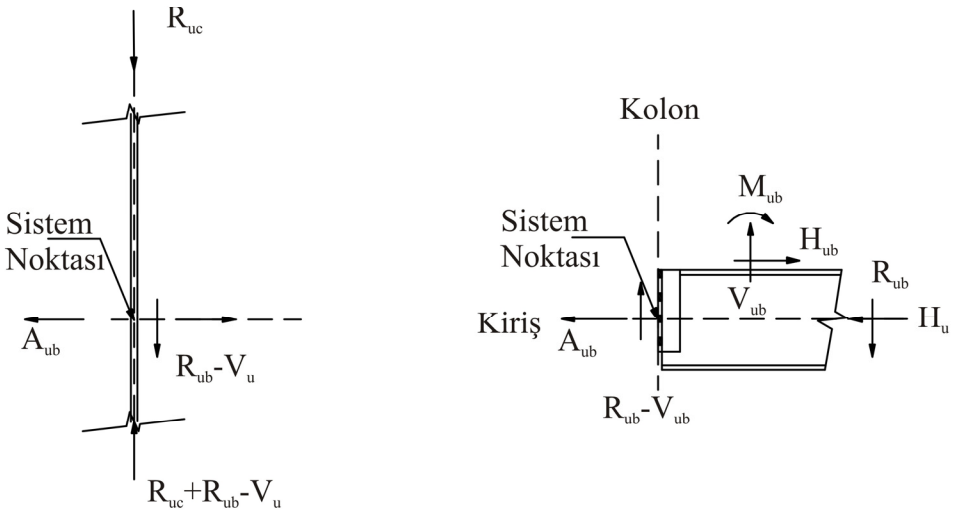


Şekil B.5 Özel durum 2 [12]



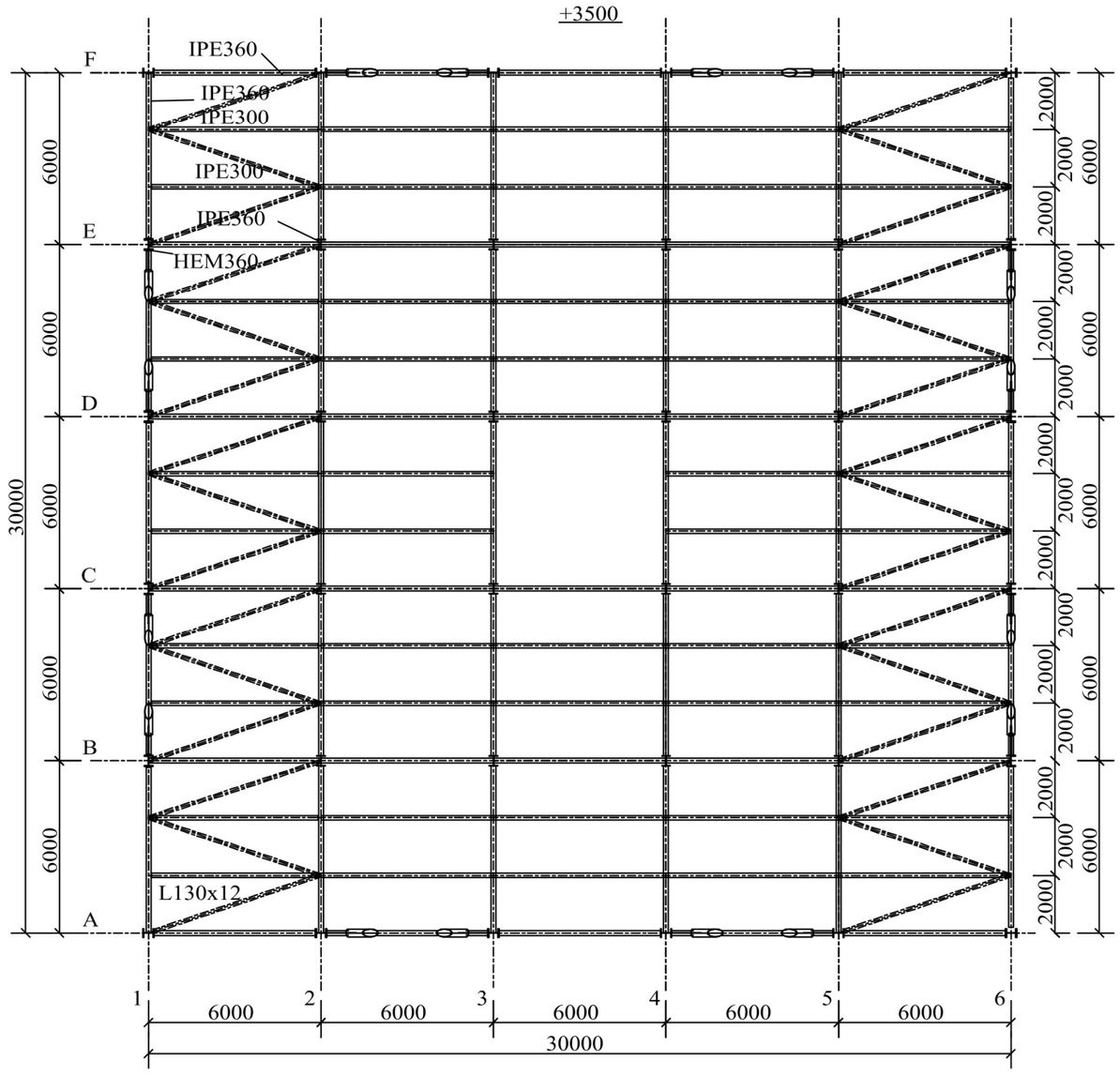
(a) Çapraz eleman birleşimi ve dış kuvvetler

(b) Guse kuvvet dağılım diyagramı

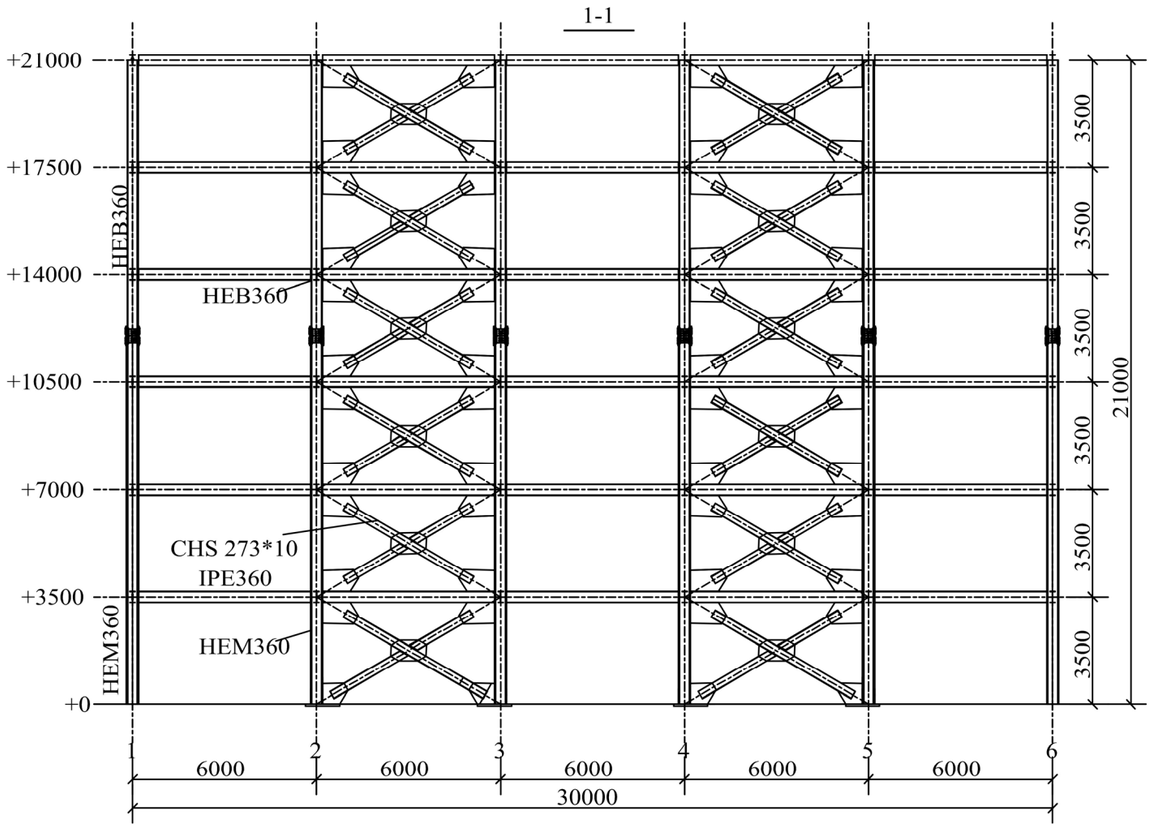


(c) Kolon kuvvet dağılım diyagramı (d) Kiriş kuvvet dağılım diyagramı

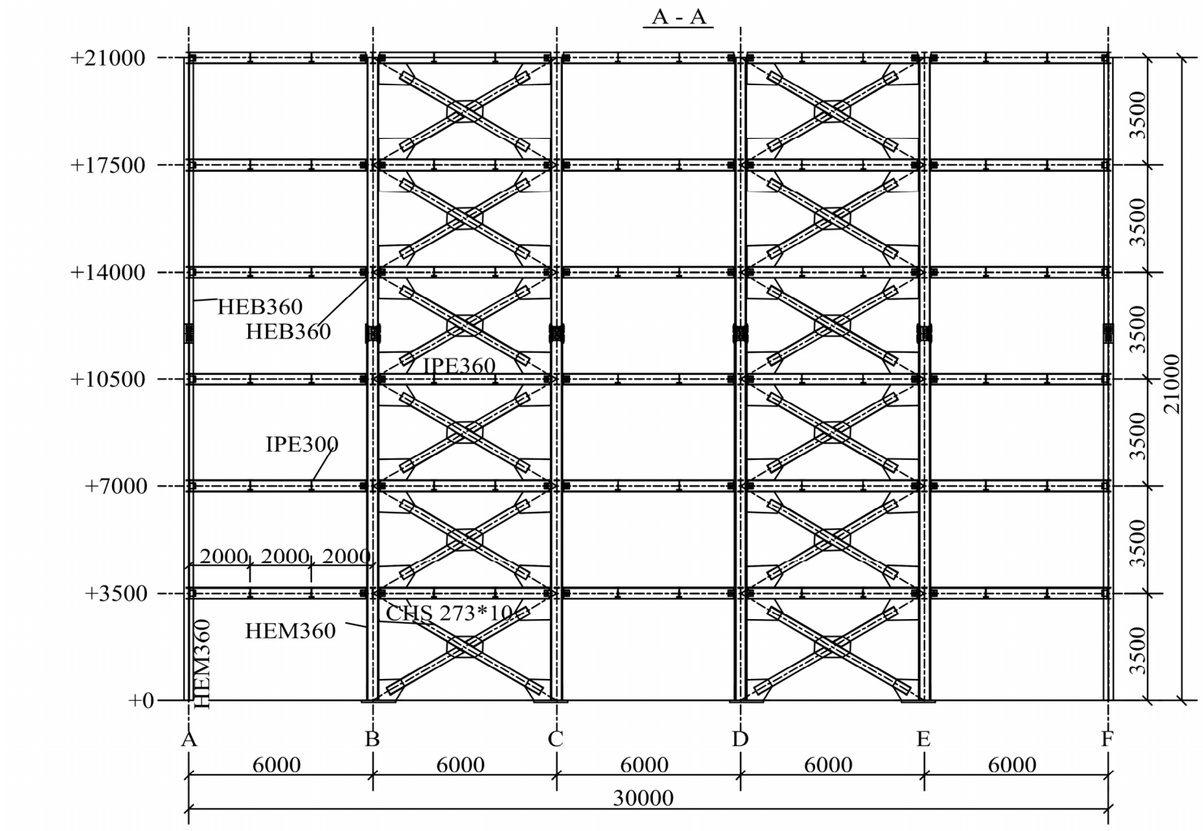
Şekil B.6 Özel durum 3 [12]



Şekil B.7 1. kat planı



Şekil B.8 1-1 aksı görünüş



Şekil B.9 A-A aksı görünüş

ÖZGEÇMİŞ

Mustafa CAN, 1982 yılında Ankara'da doğdu. Lise öğrenimini Muğla Fethiye Yabancı Dil Ağırlıklı Lisesinde tamamladı. 2000'de İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünde lisans eğitimine başladı. 2005 yılında Lisans eğitimini tamamlayıp aynı yıl İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yapı Mühendisliği Programında yüksek lisans eğitimine başladı. Kasım 2006 tarihinde halen çalışmakta olduğu ARÇE Mühendislikte çalışmaya başladı.