

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DIŞMERKEZ ÇAPRAZLI ÇELİK ÇERÇEVELİ
SİSTEMLERİN DBYBH 2007 YÖNETMELİĞİNE
GÖRE TASARIMI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş. Müh. İbrahim SİMUR

**Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
Programı : YAPI MÜHENDİSLİĞİ**

HAZİRAN 2007

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DIŞMERKEZ ÇAPRAZLI ÇELİK ÇERÇEVELİ
SİSTEMLERİN DBYBH 2007 YÖNETMELİĞİNE
GÖRE TASARIMI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. İbrahim SİMUR
(501041060)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 07 Mayıs 2007
Tezin Savunulduğu Tarih : 11 Haziran 2007**

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

HAZİRAN 2007

ÖNSÖZ

İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Mühendisliği yüksek lisans programında hazırlanan bu yüksek lisans çalışmasında, çelik yapılarda dışmerkezi çaprazlı çerçevelerin yeni deprem yönetmeliğine göre tasarım kuralları incelenmiştir.

Yüksek lisans eğitimi ve tez aşamasındaki çalışmalarım sırasında; bilgi ve deneyimlerinden yararlanma fırsatını bulduğum, yol gösterici ve hoşgörülü yaklaşımıyla tezimin gelişmesinde büyük katkıları olan danışman hocam Doç. Dr. Cavidan YORGUN'a, ilgi ve bölüm öğretim üyelerine en içten teşekkürlerimi sunarım.

Üzerimde büyük emekleri olan aileme ve bilgisini esirgemeyen 1990 İ.T.Ü. İnşaat Mühendisliği Bölümü mezunu Sn. Salih SATICI'ya teşekkür ederim.

Mayıs 2007

İbrahim SİMUR

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	vii
TABLO LİSTESİ	viii
ŞEKİL LİSTESİ	ix
SEMBOL LİSTESİ	x
ÖZET	xii
SUMMARY	xiii
1. GİRİŞ	1
2. DIŞ MERKEZ ÇAPRAZLI ÇERÇEVELER	2
2.1. Genel	2
2.2. Dışmerkez çaprazlı çerçeve sistemlerin gelişimi	2
2.3. Dışmerkez çaprazlı çerçeve sistem tasarım felsefesi	3
2.4. Dışmerkez çaprazlı çerçeve sistemlerin geometrisi	3
2.5. Dışmerkez çaprazlı çerçeve sistemlerin kinematığı	4
2.6. Bağ Kirişi Davranışı ve Boyu	5
2.7. Bağ Kirişi Boyu ve Deformasyonu Hesapları	7
2.7.1. Akma Dayanımı	7
2.7.2. Kopma Dayanımı	8
2.7.3. Bağ Kirişi Deformasyon Kapasitesi	9
2.8. Bağ Kirişi Detayları	9
2.8.1. Bağ Kirişi Rijitleştiricileri Aralığı	9
2.8.2. Bağ Kirişi Ara Rijitleştiricileri Detayları	10
2.8.3. Bağ Kirişi-Kolon Bağlantı Elemanları	10
2.8.4. Bağ Kirişi İçin Diğer Tasarım Kuralları	11
2.9. Bağ Kirişleri Haricindeki Çerçeve Elemanlarının Tasarımı	11
2.9.1. Kirişler ve Çaprazlar	11
2.9.2. Bağ Kirişi Çapraz Birleşimi	12
2.9.3. Kolonlar	13
2.9.4. Kiriş Kolon Birleşimler	13
3. AISC TASARIM KURALLARI	14
3.1. Amaç	14
3.2. Bağ Kirişleri	14
3.2.1. Genişlik ve kalınlıkta sınırlamalar	14
3.2.2. Kesme dayanımı	14

3.2.3. Bağ kirişi dönme açısı	18
3.3. Rijitlik Levhaları	18
3.4. Bağ Kirişi Kolon Birleşimi	19
3.5. Bağ Kirişinin Yanal Doğrultuda Mesnetlenmesi	19
3.6. Çaprazlar ve Bağ Kirişi Dışında Kalan Kirişler	19
3.6.1. Çaprazlar	19
3.6.2. Bağ kirişi dışında kalan kirişler	19
4. DIşMERKEZ ÇAPRAZLI SİSTEMLER İÇİN D.B.Y.B.H.Y. TASARIM KURALLARI	21
4.1. Çelik Çaprazlı Perdeler	21
4.2. Süneklik Düzeyi Yüksek Dışmerkez Çaprazlı Çelik Çaprazlı Perdeler	22
4.2.1. Enkesit koşulları	22
4.2.2. Bağ kirişleri	24
4.2.3. Bağ kirişinin yanal doğrultuda mesnetlenmesi	25
4.2.4. Bağ kirişinin dönme açısı	26
4.2.5. Rijitlik (Berkitme) levhaları	27
4.2.6. Çaprazlar, kat kirişleri ve kolonlar	28
4.2.7. Çapraz bağ kirişi birleşimi	29
4.2.8. Bağ kirişi kolon birleşimi	29
4.2.9. Kiriş kolon birleşimi	30
5. ÖRNEK BİR YAPININ DIşMERKEZ ÇAPRAZLI SİSTEMLERLE MODELLENMESİNE AİT SAYISAL İNCELEME	31
5.1. Giriş	31
5.1.1. Yapının tanıtılması	31
5.1.2. Deprem karakteristikleri	32
5.1.3. Yapıya etkiyen düşey yükler	32
5.1.4. D.B.Y.B.H.Y.'de belirtilen eşdeğer deprem yükü yöntemi	33
5.1.4.1. Toplam eşdeğer deprem yükünün belirlenmesi	33
5.1.4.2. Binanın birinci doğal titreşim periyodunun belirlenmesi	34
5.1.4.3. Dış merkezi çelik çaprazlı sistemde bağ kirişi uzunluğunun tayini ve kullanılacak çaprazın belirlenmesi	35
5.1.4.4. Elastik deprem yüklerinin tanıtılması	36
5.1.4.5. Elastik deprem yüklerinin azaltılması	38
5.1.4.6. Katlara etkiyen eşdeğer deprem yüklerinin belirlenmesi	39
5.1.5. Deprem yüklerin etkime noktası	40
5.2. Süneklik Düzeyi Yüksek Dışmerkezi Çaprazlı Çerçevenin Boyutlandırılması (e=70 cm)	41
5.2.1. Dışmerkez çaprazlı çerçevenin elastik analizi	41
5.2.2. Sistemde seçilen profiller	41

5.2.3. Elastik analiz sonuçları	41
5.2.4. Görelî kat ötelemelerinin kontrolü	41
5.2.5. İkinci merteye etkiler	42
5.2.6. Bağ kirişinin boyutlandırılması	43
5.2.6.1. Enkesit koşulları	44
5.2.6.2. Bağ kirişi tasarım kesme kuvveti kontrolü	45
5.2.6.3. Bağlantı kirişi dönme açısı kontrolü	46
5.2.6.4. Bağlantı kirişi rijitleştiricilerinin boyutlandırılması	46
5.2.6.5. Bağlantı kirişi ara rijitleştiricilerinin boyutlandırılması	47
5.2.6.6. Bağlantı kirişi rijitleştiricilerinin kaynak kontrolü	47
5.2.6.7. Kat kirişinin bağ kirişi dışında kalan bölümünün kontrolü	50
5.2.7. Çapraz elemanın boyutlandırılması	50
5.2.7.1. Enkesit koşulları ve kapasite tahkiki	51
5.2.8. Kolon elemanının boyutlandırılması	52
5.2.8.1. Enkesit koşulları	52
5.2.8.2. Gerilme kontrolleri	
5.2.9. Kiriş çapraz, kolon çapraz birleşim tahkikleri	53
5.2.9.1. Kiriş çapraz birleşim detayının tasarlanması	53
5.2.9.1.1. Kaynak kontrolü	53
5.2.9.1.2. Gerilme kontrolleri	54
5.2.9.2. Kiriş kolon birleşim detayının tasarlanması	55
5.3. Süneklik Düzeyi yüksek dışmerkezi çaprazlı çerçevenin boyutlandırılması (e=150 cm)	56
5.3.1. Eşdeğer deprem kuvvetinin bulunması	57
5.3.2. Deprem yüklerinin etkime noktaları	58
5.3.3. Dışmerkezi çaprazlı çerçevelerin elastik analiz sonuçları	59
5.3.4. Sistemde seçilen profiller	59
5.3.5. Elastik analiz sonuçları	60
5.3.6 Görelî kat ötelemelerinin kontrolü	60
5.3.7. İkinci merteye etkiler	60
5.3.8. Bağ kirişinin boyutlandırılması	61
5.3.8.1. Enkesit koşulları	61
5.3.8.2. Bağ kirişi tasarım kesme kuvveti kontrolü	63
5.3.8.3. Bağlantı kirişi dönme açısı kontrolü	64
5.3.8.4. Bağlantı kirişi rijitleştiricilerinin boyutlandırılması	64
5.3.8.5. Bağlantı kirişi ara rijitleştiricilerinin boyutlandırılması	65
5.3.8.6. Bağlantı kirişi rijitleştiricilerinin kaynak kontrolü	66
5.3.8.7. Kat kirişinin bağ kirişi dışında kalan bölümünün kontrolü	67
5.3.9. Çapraz elemanın boyutlandırılması	68

5.3.9.1. Enkesit koşulları ve kapasite tahkiki	68
5.3.10. Kolon elemanının boyutlandırılması	69
5.3.10.1. Enkesit koşulları	69
5.3.10.2. Gerilme kontrolleri	70
5.3.11. Kiriş apraz, kolon çapraz birleşim tahkikleri	71
5.3.11.1. Kiriş apraz birleşim detayının tasarlanması	71
5.3.11.1.1. Kaynak kontrolü	71
5.3.11.1.2. Gerilme kontrolü	71
5.3.11.2. Kiriş kolon birleşim detayının tasarlanması	73
6. SONUÇ	75
KAYNAKLAR	78
ÖZGEÇMİŞ	79

KISALTMALAR

AISC	: American Institute of Steel Construction
ASD	: Allowable Stress Design
DBYBHY	: Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik
LRFD	: Load and Resistance Factor Design
TS	: Türk Standardı

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 3.1a : Rijitleştirilmemiş basınç elemanları için genişlik-kalınlık oranları sınır değerleri.....	16
Tablo 3.1b : Rijitleştirilmiş basınç elemanları için genişlik-kalınlık oranları sınır değerleri.....	17
Tablo 4.1 : Enkesit koşulları.....	23
Tablo 5.1 : Hareketli yük katılım katsayısı (n).....	34
Tablo 5.2 : Etkin yer ivmesi katsayısı (A_0).....	36
Tablo 5.3 : Spektrum karakteristik periyotları (T_A, T_B).....	37
Tablo 5.4 : Bina önem katsayısı (I).....	37
Tablo 5.5 : Taşıyıcı sistem davranış katsayısı (R).....	38
Tablo 5.6 : X yönünde dışmerkezi çaprazlı sistemde katlara etkileyen eşdeğer deprem yükü.....	40
Tablo 5.7 : X yönünde katlara etkileyen deprem ve moment kuvvetleri	40
Tablo 5.8 : Dışmerkez çaprazlı çerçeve kat ötelemeleri.....	42
Tablo 5.9 : Göreli kat ötelemelerinin sınır değerlere göre kontrolü.....	43
Tablo 5.10 : Sisteme etki eden yüklemelerin elverişsiz olan değerleri.....	43
Tablo 5.11 : X yönünde dışmerkezi çaprazlı sistemde katlara etkileyen eşdeğer deprem yükü.....	58
Tablo 5.12 : X yönünde katlara etkileyen deprem ve moment kuvvetleri.....	59
Tablo 5.13 : Dışmerkez çaprazlı çerçeve kat ötelemeleri.....	60
Tablo 5.14 : Göreli kat ötelemelerinin sınır değerlere göre kontrolü.....	60
Tablo 5.15 : Sisteme etki eden yüklemelerin elverişsiz olan değerleri.....	61
Tablo 5.16 : İki farklı sistemde seçilen profiller.....	75
Tablo 5.17 : İki farklı sistemde oluşan maksimum tesir değerleri	76

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1	: Dışmerkez çaprazlı sistemler..... 2
Şekil 2.2	: Dışmerkez çaprazlı çerçevelerde bağ kirişi-plastik dönme ilişkisi..... 5
Şekil 2.3	: Dışmerkezi çerçevelerin kuvvet dağılımları..... 6
Şekil 4.1	: Merkezi çelik çaprazlı perdeler..... 21
Şekil 4.2	: Dışmerkez çelik çaprazlı perdeler..... 22
Şekil 4.3	: Bağ kirişi dönme açıları..... 26
Şekil 4.4	: Berkitme levhaları..... 27
Şekil 4.5	: Bağ kirişi kolon birleşimi..... 29
Şekil 5.1	: Yapının enkesit görünüşü..... 31
Şekil 5.2	: Sistemin plan görünüşü..... 32
Şekil 5.3	: Dış merkezi çapraz sistemin görünüşü (e = 70 cm)..... 36
Şekil 5.4	: Bağ kirişi ara rijitlik levhaları (e = 70 cm)..... 48
Şekil 5.5	: Bağ kirişi ara rijitleştiricilerinin kaynak kuvvetleri (e = 70 cm)..... 49
Şekil 5.6	: Çapraz kolon kiriş birleşim detayı (e = 70 cm)..... 54
Şekil 5.7	: Kiriş kolon birleşim detayı (e = 70 cm)..... 56
Şekil 5.8	: Dış merkezi çapraz sistemin görünüşü (e = 150 cm)..... 57
Şekil 5.9	: Bağ kirişi ara rijitlik levhaları (e = 150 cm)..... 65
Şekil 5.10	: Bağ kirişi ara rijitleştiricilerinin kaynak kuvvetleri (e = 150 cm)..... 66
Şekil 5.11	: Çapraz kolon birleşim detayı (e = 150 cm)..... 72
Şekil 5.12	: Kiriş kolon birleşim detayı (e = 150 cm)..... 74

SEMBOL LİSTESİ

A(T)	: Spektral ivme katsayısı
A_g	: Brüt alan (cm ²)
A_{is}	: Bağlantı kirişi ara rijitleştirici alanı
A₀	: Etkin yer ivmesi katsayısı
A_s	: Bağlantı kirişi rijitleştiricilerinin alanı
A_w	: Bağlantı kirişi gövdesinin alanı
A_k	: Kaynak alanı (cm ²)
b_f	: Başlık genişliği (cm)
d	: Bulon çapı (cm)
d_i	: Binanın i'inci katında deprem yüklerine göre hesaplanan yerdeğiştirme (cm)
D_a	: Akma gerilmesi artırım katsayısı
E_s	: Çeliğin elastisite modülü (E = 2,1*10 ⁶ kg/cm ²)
e	: Bağ kirişi boyu
F_b	: Basınç başlığı enkesit alanı (cm ²)
F_i	: Eşdeğer deprem yükü yönteminde i'inci kata etkiyen eşdeğer deprem yükü (kN)
g	: Yerçekimi ivmesi
g_i	: Binanın i'inci katındaki toplam sabit yük
H_i	: Binanın i'inci katının temel üstünden itibaren ölçülen yüksekliği (m)
h	: Gövde levhası yüksekliği
h_i	: Binanın i'inci katının kat yüksekliği (m)
I	: Bina önem katsayısı
I_x	: Çelik elemanının x yönündeki atalet momenti (cm ⁴)
I_y	: Çelik elemanının y yönündeki atalet momenti (cm ⁴)
K	: Burkulma boyunu belirleyen katsayı
L, l	: Açıklık mesafesi (m)
l_b	: Kirişin yanal doğrultuda mesnetlendiği noktalar arası mesafe
M_p	: Nominal plastik eğilme dayanımı (kNm)
m_i	: Binanın i'inci katının kütlesi
N	: Binanın toplam kat sayısı
N_{bp}	: Eksenel basınç kapasitesi (kN)
N_{çp}	: Eksenel çekme kapasitesi (kN)
n	: Hareketli yük katılım katsayısı
Q	: Hareketli yük simgesi
q_i	: Binanın i'inci katındaki toplam hareketli yük (ton)
P_a	: Gerekli basınç dayanımı (ASD)
P_u	: Gerekli basınç dayanımı (LRFD)
R	: Taşıyıcı sistem davranış katsayısı
R_a(T)	: Deprem yükü azaltma katsayısı
r	: Atalet yarıçapı
S(T)	: Spektrum katsayısı
S_x	: Statik moment

T	: Bina doğal titreşim periyodu (sn)
T_a, T_b	: Spektrum karakteristik periyotları
t_{bf}	: Kiriş başlık kalınlığı (cm)
t_f	: Başlık kalınlığı (cm)
t_{is}	: Bağlantı kirişi ara rijitleştirici kalınlığı (cm)
t_s	: Bağlantı kirişi rijitleştiricisi kalınlığı (cm)
t_{min}	: Kayma bölgesindeki en küçük levha kalınlığı
t_w	: Gövde kalınlığı (cm)
V_i	: göz önüne alınan deprem doğrultusunda binanın i'inci katına etki eden kat kesme kuvveti (kN)
V_n	: Elemanın nominal kesme dayanımı (kN)
V_p	: Bağlantı kirişinin nominal kesme dayanımı (kN)
V_t	: Eşdeğer deprem yükü yönteminde göz önüne alınan deprem doğrultusunda binaya etki eden toplam eşdeğer deprem yükü (kN)
W	: Binanın toplam ağırlığı
w_i	: Binanın i'inci katındaki ağırlığı
Δ_i	: Binanın i'inci katındaki görelî kat ötelemesi (cm)
Δ_p	: Plastik kat ötelemesi (cm)
ΔF_n	: Binanın N'inci katına (tepesine) etkiyen ek eşdeğer deprem yükü (kN)
γ_p	: Bağlantı kirişi dönme açısı (radyan)
θ_p	: Plastik kat öteleme açısı (radyan)
λ	: Narinlik modülü
Ω₀	: Büyütme katsayısı
σ_a	: Yapı çeliğinin akma gerilmesi (kN/m ²)
σ_b	: Yalnız eğilme momenti altında hesaplanan basınç gerilmesi (kN/m ²)
σ_{bem}	: Yalnız basınç kuvvet altında müsaade edilecek basınç emniyet gerilmesi (kN/m ²)
τ	: Hesaplanan kayma gerilmesi
τ_{em}	: Kayma emniyet gerilmesi

ÖZET

Yüksek lisans tezi olarak hazırlanan bu çalışmada dışmerkez çaprazlı sistemler DBYBHY' deki (Deprem Bölgelerinde Yapılan Binalar Hakkında Yönetmelik – 2007) ve AISC 'deki (American Institute of Steel Construction) kurallara göre incelenmiştir. Sistemde bağ kirişi boyu değiştirilerek yapıdaki enerji sönümlenmenin nasıl oluşacağı ve sistemin göçme modunun nasıl değişeceği belirtilmiştir.

Altı bölümden oluşan çalışmanın ilk iki bölümünde konu anlatımı yapılmıştır. Dışmerkezi çaprazlı sistemlerin tasarım felsefesi ve sınır geçmişte yapılan çalışmalar sonucu ortaya çıkan sınır koşullar belirtilmiştir.

Üçüncü ve dördüncü bölümlerde sırasıyla AISC, 2005 ve DBYBHY, 2007' deki dışmerkezi çaprazlı sistemlerin tasarım kuralları belirtilmiştir. Bu bölümlerde iki yönetmeliğin birbirlerine benzerliği gösterilmektedir. DBYBHY, 2007 yönetmeliği eski yönetmeliğe göre çok daha kapsamlı hale getirilmiştir. Böylece uygulama esnasındaki belirsizlikler aza indirilmiştir.

Beşinci bölümde, beş katlı dışmerkezi çaprazlı çerçevelerden oluşan bir binanın tasarımı yapılmıştır. Sistemin oluşturulmasında dışmerkezi çaprazları her iki yönde orta aksa yerleştirilerek simetriklik sağlanmıştır. Sistemde bağ kirişi mesafesi değiştirilerek farklı davranışlar elde edilmesi sağlanmıştır. Yapıyı oluşturan elemanların elastik ve inelastik davranışa göre boyutlandırılması yapılmıştır. Yapıdaki bağ kirişlerinde plastikleşme görüleceğinden büyük kesitler kullanılmıştır. Ancak kolon, çapraz ve diğer kirişlerde elastik davranış sergileyeceğinden sistemde küçük kesitler kullanılmıştır. Yapısal analiz Sap 2000 kullanılarak yapılmıştır.

Son bölümde, çalışmanın ana özellikleri, deprem yönetmeliğinin irdelenmesi ve sayısal incelemelerden elde edilen sonuçlar açıklanmaktadır.

SUMMARY

In the scope of this master of science thesis, the design rules of DBYBHY (Specifications for Structures to be Built in Disaster Areas) and AISC (American Institute of Steel Construction) about eccentrically braced frames are examined. In this system, the changes of energy dissipation and the failure mode are determined by the change of shear link length.

The first two chapters of this study, which is composed of six chapters, contain the description of the subject.

The third and fourth chapters with respectively implies the rules of AISC-2005 and DBYBHY-2007 about the eccentrically braced frames. In these two chapters the similarities are shown. DBYBHY-2007 is more practical for modeling the structure and also the unknowns are reduced.

In the fifth chapter a five story building with an eccentric braced frame is designed. In the system, the different behaviors of are obtained due to the change of shear length. While modeling the structure, the elastic behaviors are seen in column, braces and beams and inelastic behaviors are seen at the links. The structural analysis of the building is performed by using the Sap 2000 computer program.

In the last chapter the main properties of the study and evaluation of the numerical results are given.

1. GİRİŞ

Sünek çelik yapılar, özellikle 1994 Northridge ve 1995 Kobe depremlerinden sonra oldukça önem kazanmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda çelik yapılarda sistemin nerelerinde plastikleşme görüleceği, deprem sırasında nasıl bir davranış sergileyeceği konusunda gözle görülür ilerlemeler sağlanmıştır. Çelik yapılar deprem riski yüksek bölgelerde avantajlarından dolayı sıkça kullanılan yapı tipidir. Bu nedenlerin bazılarını şöyle açıklanabilir:

1. Süneklik düzeyinin yüksek olması.
2. Enerji yutma kapasitesi
3. Yüksek dayanıma sahip olması.
4. Ek ve birleşim bölgelerinin denetime açık olması.
5. Kolay onarım ve güçlendirme imkânlarının bulunması.
6. Moment çerçevelerin mimari açıdan çok yönlü olması.

Moment aktaran çelik çerçeveler iyi boyutlandırıldığı ve uygulandığı zaman sünek bir davranış gösterir. Çoğu zaman katlar arası yerdeğiştirmenin sınırlandırılması boyutlandırılmada kritik şart olarak ortaya çıkar. Merkezi çaprazlı çerçeveler ise, yüksek yanal rijitliğe sahip olmakla beraber, enerji tüketimi çaprazların burkulmasından etkilenir. Dışmerkez çaprazlı çerçeveler, her iki türdeki sakıncayı da gidermek amacıyla kullanılmaktadır. Dışmerkez çaprazlı sistemlerdeki bağ kirişi deprem sırasında yapısal bir sigorta gibi davranarak, enerjinin kararlı biçimde tüketilmesini sağlar. Bunun dışındaki bütün kirişler, kolonlar, çaprazlar ve birleşim elemanlarının deprem etkisinde elastik kalacak şekilde, kapasite kavramına uygun olarak boyutlandırılması gerekmektedir.(Deprem mühendisliğine giriş) Dışmerkez çaprazlı sistemlerde bağ kirişinde plastik mafsallaşmanın oluşmasını sağlamaktaki amaç bağ kirişinde deprem etkisi sırasında büyük plastik dönmelere karşın yapıda herhangi bir hasar oluşmamasını sağlamaktır.

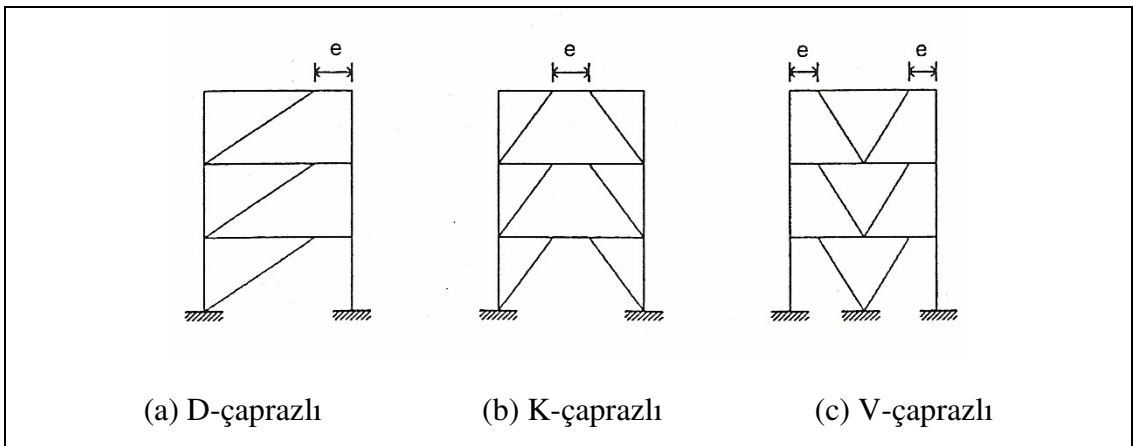
2. DIŞMERKEZ ÇAPRAZLI ÇERÇEVELER

2.1. Genel

Dışmerkez çaprazlı çerçeve sistemler alışıla geldik iki çerçeve sistemden oluşan, yanal kuvvet dayanımlı sistemlerdir. Bu iki çerçeve sistem; moment dayanımlı çerçeve ve merkezi çaprazlı çerçeveden oluşmaktadır. Dışmerkez çaprazlı çerçeve sistemler geleneksel sistemlerden farklı olarak bazı avantaj ve dezavantajlara sahiptir. Dışmerkez çaprazlı çerçeveler yüksek elastik rijitliğe, çevrimsel yanal yükleme altında stabil inelastik davranışa ve mükemmel sünekliğin yanı sıra büyük bir enerji sönümlene kapasitesine sahiptir.

2.2. Dışmerkez Çaprazlı Çerçeve Sistemlerin Gelişimi

Merkezi çaprazlı çelik çerçevelerin yüksek elastik rijitliği ve moment dayanımlı çerçevelerin düktilliği ve stabil enerji sönümlene kapasitesi dışmerkez çaprazlı çerçeve sistemlerin genel karakteristikleridir. Bir dışmerkez çaprazlı çerçeve sistemin temel ayırt edici özelliği; her bir çaprazın ucunda en az bağ kirişinin bulunmasıdır. Yaygın olarak kullanılan dışmerkez çaprazlı çerçeve sistemler **Şekil 2.1**'de gösterilmektedir. Her bir şekilde bağ kirişleri "e" mesafesi ile tanımlanmaktadır ve D-çaprazlı, ayrık K-çaprazlı ve V-çaprazlı dışmerkez çaprazlı çerçeve sistemler olarak adlandırılırlar.



Şekil 2.1: Dışmerkez Çaprazlı Sistemler [1]

2.3. Dışmerkez Çaprazlı Çerçeve Sistem Tasarım Felsefesi

Dışmerkez çaprazlı çerçeve sistem tasarım felsefesi basit temellere dayanmaktadır. İnelastik hareketler bağ kirişleri ile sınırlandırılır ve bağ kirişinin birleşim yaptığı çerçeve elemanlarının bağ kirişleri tarafından iletilen maksimum kuvvetlere karşı dayanım sağlaması gibi (Celep ve Kumbasar, 2004) [2].

Kapasite tasarımın bu hedefi; uç kuvvetlerinin bu seçili çerçeve elemanında kalmasını sağlamaktır. Lineer statik hesap kullanılarak tasarım yapmak için bağ kirişlerinin, kuvvetler elastik davranış için yapılan analizden elde edilen hesaptakinden daha küçük olacak şekilde, ayarlanması gerekmektedir (ICBO, 1994) [3]. Sismik çerçeve sistemdeki diğer elemanlar tam akma ve gerilme pekleşmesini gerçekleştirmiş bağ kirişlerindeki kuvvetler kullanılarak tasarlanırlar. İnelastik hareketler bu bağ kirişi kısmında sınırlandırılır.

Çerçeve kesme kuvveti ve bağ kirişi kesme kuvveti arasındaki basit ilişki dışmerkez çaprazlı çerçeve sistem konfigürasyonları için geliştirilebilir. Bu ilişkiler yalnızca çerçeve geometrisine bağlı ve bağ kirişinin elastik ve inelastik davranışından bağımsızdır.

Ayrık K-çaprazlı dışmerkez çaprazlı çerçeve sistem için bağ kirişinin merkezindeki momentin sıfıra eşit olduğu varsayılır ve bağ kirişi kesme kuvveti (V_L) aşağıdaki gibi hesaplanabilir (Michel Bruneau, Chia-Ming Uang ve Andrew Whittaker, 1998) [1].

$$V_L = \frac{P \times h}{(L - \frac{e}{2})} \quad (2.1)$$

Burada P yanal yük, h hat yüksekliği, e bağ kirişi boyu ve L ise çaprazlı kiriş boyudur. Benzer şekilde D-çaprazlı çerçeve sistemde V_L yukarıdaki gibi hesaplanır (Michel Bruneau, Chia-Ming Uang ve Andrew Whittaker, 1998) [1].

2.4. Dışmerkez Çaprazlı Çerçeve Sistemlerin Geometrisi

Yaygın olarak kullanılan dışmerkez çaprazlı çerçeve sistem konfigürasyonları **Şekil 1**'de gösterilmektedir. Çoğu çerçeve konfigürasyonunda çaprazın sadece bir

ucunda bağ kirişi bulunur. Diğer uçta ise merkezi bağlantı bulunur. Çoğu çerçeve konfigürasyonu için çapraz kuvvetinin yatay bileşeni bağ kirişi dışında kalan kiriş kısmının aksenal kuvvetine dayanmalıdır. Bu kiriş kısımlarındaki aşırı aksenal kuvvetten kaçınmak için çapraz ile kiriş arasındaki açını küçük olmaması gerekir. Dışmerkez çapraz ile kiriş arasında minimum 35 derecelik bir açı olması tavsiye edilmektedir (Engelhardt, M.D. ve Popov, E.P., 1989) [4].

Şekil 2.1.a' da görülen basit diyagonal çapraz dar açıklıklarda sıkça kullanılmaktadır. İdeal olan bu çerçeve konfigürasyonlarının bina çerçevesinin davranışında tam simetriyi korumak için karşıt açıklıklarda da simetrik olarak kullanılmalıdır. Daha geniş açıklıklar için, **Şekil 2.1.b** ve **Şekil 2.1.c'** deki çerçeve konfigürasyonları tavsiye edilmektedir. **Şekil 2.1.b'** deki ayrık K konfigürasyonu simetrik olduğu için özellikle avantajlıdır. Çünkü bağ kirişleri kolona direk olarak bağlanmaz.

2.5. Dışmerkez Çaprazlı Çerçeve Sistemlerin Kinematığı

Kat plastik ötelenmesi (Δ_p) ve bağ kirişi plastik dönmesi (γ_p) arasındaki ilişki basit bir şekilde türetilir. **Şekil 2.1'**deki üç çerçeve için kat plastik ötelenmesi ve bağ kirişi plastik dönmesi arasındaki ilişki **Şekil 2.2'**de gösterilmektedir (AISC, 1995) [4]. Tanımlamada bağ kirişi dışında kalan çerçeve kısımlarındaki elastik deformasyon plastik deformasyonlara kıyasla küçüktür. Bağ kirişi dışında kalan çerçeve kısımlarının rijit olduğu varsayılabilir.

Şekil 2.1.a ve **Şekil 2.2.b'** deki D-çaprazlı çerçeveler için kat plastik ötelenmesi bağ kirişi plastik dönmesi ile aşağıdaki gibi bir ilişkiye sahiptir.

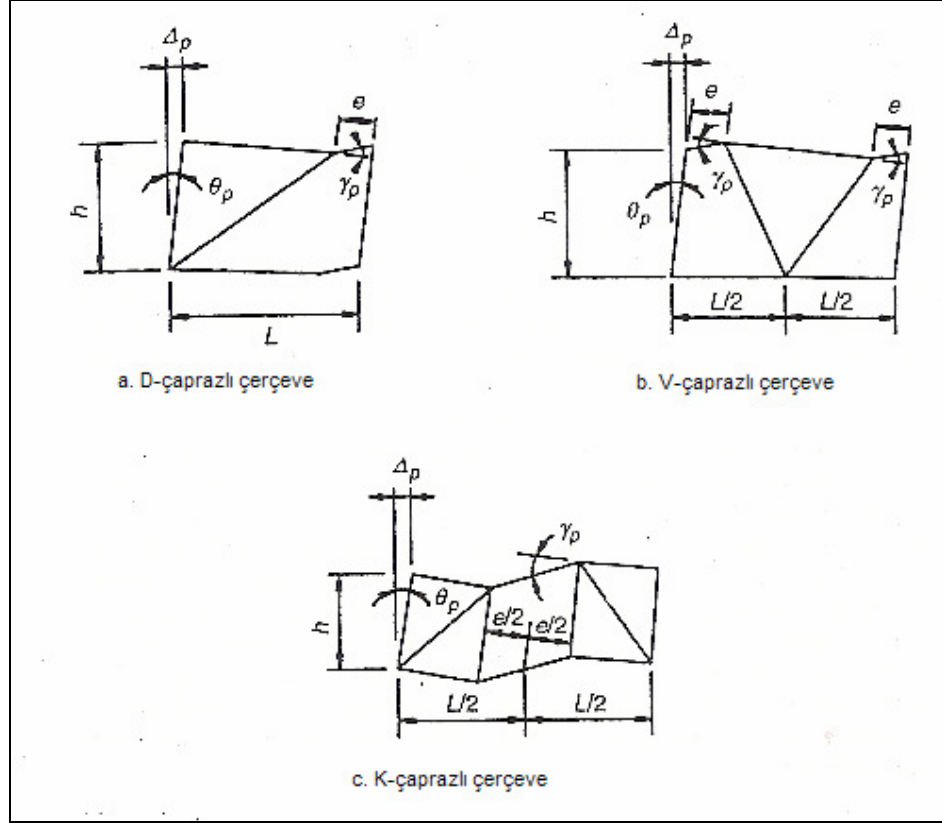
$$\Delta_p = \frac{\gamma_p \times e \times h}{L} \quad (2.2)$$

Şekil 2.1b ve **Şekil 2.2c'**deki ayrık K-çaprazlı çerçeveler için, kat plastik ötelenmesi ile bağ kirişi plastik dönmesi arasındaki ilişki:

$$\Delta_p = \frac{\gamma_p \times e \times h}{L} \quad (2.3)$$

Şekil 2.1c ve **Şekil 2.2b'**deki V-çaprazlı çerçeveler için ise bu ilişki:

$$\Delta_p = \frac{2\gamma_p \times e \times h}{L} \quad (2.4)$$



Şekil 2.2: Dış Merkez Çerçeveselerde Bağ Kirişi-Plastik Dönme İlişkisi [5]

V-çaprazlı çerçevenin ötelenmesine oranla bağ kirişi dönmesindeki bu düşüş dışmerkez çaprazlı çerçeve sistemlerin tasarımında bağ kirişi dönme kapasitesinin kontrolünde avantaj sağlayabilir.

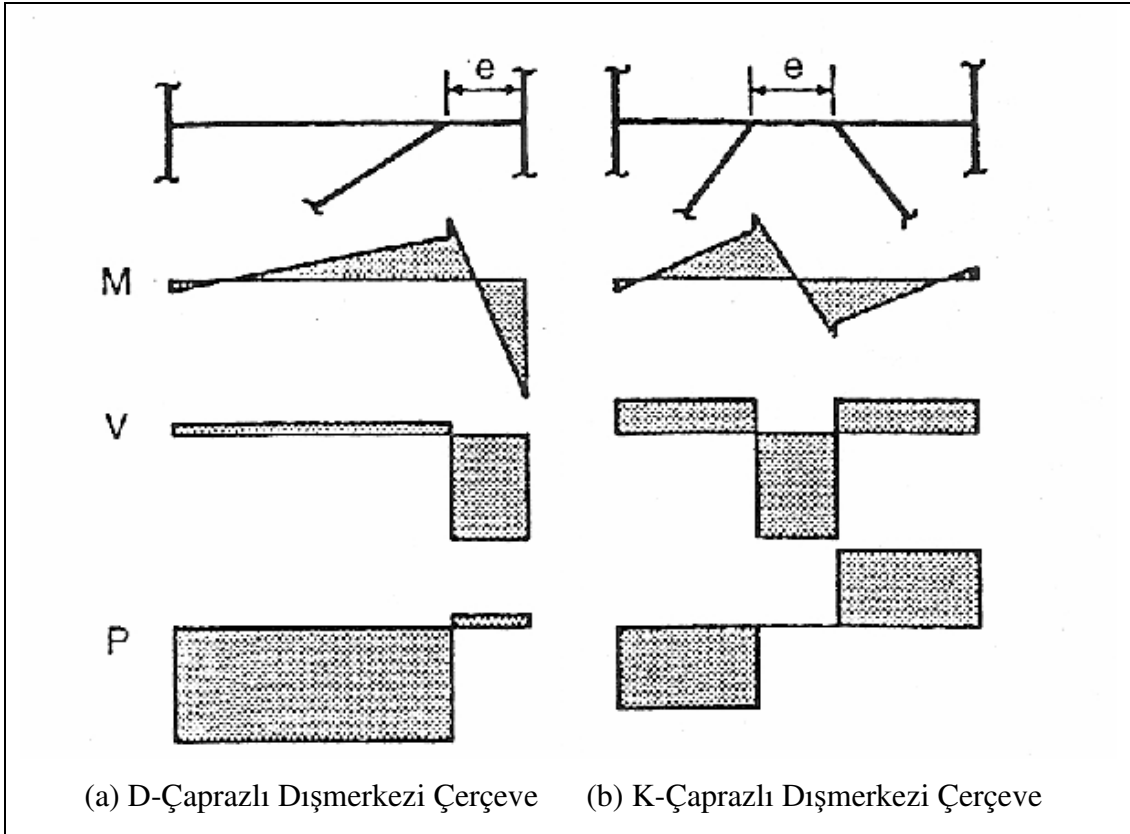
2.6. Bağ Kirişi Davranışı ve Boyu

Bir dışmerkez çaprazlı çerçeve sistemde bağ kirişlerinin boyu ve geometrisi çerçevenin davranışını belirler. Kısa bağ kirişleri kesmeye, uzun bağ kirişleri eğilmeye çalışırlar. Kısa bağ kirişlerinin kullanımındaki mimari gayeler merkezi çaprazlı çerçeve sistemlerdekine benzerdir. Uzun bağ kirişleri kapılar, pencereler ve mekanik donanımlar için çerçevede önemli açıklıklar sağladığından mimari ve planlama avantajlarına sahiptir [6].

Bir dışmerkez çaprazlı çerçeve sistemdeki bağ kirişi deprem esnasında daha fazla enerji sönümlemesi gerçekleştirmek için sünek sigorta olarak tasarlanır. Çünkü bağ

kirişleri dışmerkez çaprazlı çerçeve sistemi, gelişebilecek aşırı yüklemelerden korumak için tasarlanır. Bir dışmerkez çaprazlı çerçeve sistemin tasarımındaki ana etken bağ kirişlerinin plastik davranışdır. Bağ kirişi plastik davranışını etkileyen kritik faktör boyudur. Bağ kirişi boyu akma mekanizmasını ve kırılma modunu kontrol eder. Kısa bağ kirişlerinde, bağ kirişi davranışında kesme etkisi baskındır. **Şekil 2.3**'de yanal yük altında çaprazlar, kirişler ve bağ kirişlerindeki aksenal kuvvet P , eğilme momenti M ve kesme kuvveti V diyagramları gösterilmektedir. **Şekil 2.3'teki** bağ kirişleri büyük kesme kuvvetlerine, büyük uç momentlerine ve küçük aksenal kuvvetlere maruz kalırlar (Engelhardt, M.D. ve Popov, E.P., 1989) [4].

Çok kısa bağ kirişleri için, uç momentler plastik moment kapasitesi $M_p (Z \times F_a)$ 'ye ulaşmadan önce bağ kirişi kesme kuvveti plastik kesme kapasitesi $V_p (0,55 \times d \times t_w \times F_a)$ 'ye ulaşır ve kesmede bağ kirişi akar. Kesme bağ kirişi veya kesme mafsalı oluşur. Uzun bağ kirişleri için, uç momentler M_p 'ye ulaşır, kesme akması meydana gelmeden önce eğilme mafsalı oluşur. Bu bağ kirişleri eğilme bağ kirişleri diye adlandırılır. Malzemenin gerilme pekleşmesi bağ kirişi davranışını etkileyebilir. Bağ kirişi boyu (e) için aşağıdaki denklemler kullanılabilir.



Şekil 2.3: Dışmerkezli Çerçevelerin Kuvvet Dağılımları [4]

$$\text{Kesme (kısa) bağ kirişleri} : e \leq \frac{1,6M_p}{V_p} \quad (2.5)$$

$$\text{Orta uzunluklu bağ kirişleri} : \frac{1,6M_p}{V_p} < e < \frac{2,5M_p}{V_p} \quad (2.6)$$

$$\text{Moment (uzun) bağ kirişleri:} e \geq \frac{2,5M_p}{V_p} \quad (2.7)$$

Kısa ve uzun bağ kirişlerinin kırılma davranışı tamamen farklıdır. Kesmedeki plastik gövde burkulması kısa bağ kirişleri için kırılma modudur. Bu burkulma modu gövde rijitleştirici ilavesi ile geciktirilebilir. Kasai ve Popov tarafından geliştirilen bu basit kurallar aşağıdaki gibi geliştirilmiştir.

$$\alpha = 29t_w - \frac{d}{5} \quad \gamma_p = \pm 0,09 \quad \text{radyan için} \quad (2.8a)$$

$$\alpha = 38t_w - \frac{d}{5} \quad \gamma_p = \pm 0,06 \quad \text{radyan için} \quad (2.8b)$$

$$\alpha = 56t_w - \frac{d}{5} \quad \gamma_p \leq \pm 0,03 \quad \text{radyan için} \quad (2.8c)$$

Burada α eşit aralıklı rijitleştiriciler arasındaki mesafe, d kiriş derinliği, t_w gövde kalınlığı ve γ_p ise bağ kirişinin plastik dönmesidir. γ_p 'nin ara değerleri için gerekli rijitleştirici aralığı interpolasyonla hesaplanır (Kasai, K. ve Popov, E.P., 1989) [7].

Engelhardt ve Popov'un yapmış oldukları deneyler uzun bağ kirişlerinin dönme kapasitelerinin fark edilebilir bir derecede kısa bağ kirişlerinininkinden küçük olduğunu kanıtlamaktadır.

2.7. Bağ Kirişi Boyu ve Deformasyonu Hesapları

2.7.1 Akma Dayanımı

Bağ kirişinin kesme akma dayanımı:

$$e < \frac{2M_p}{V_p} \quad \text{için} \quad V_a = V_p \quad (2.9)$$

$$e \geq \frac{2M_p}{V_p} \quad \text{için} \quad V_a = \frac{2M_p}{e} \quad (2.10)$$

Denk.(2.9) ve **Denk.(2.10)**' da kesme dayanımları tam plastiklik varsayımı temel alınır. Moment-kesme kuvveti ilişkisi ve bağ kirişlerindeki küçük aksel kuvvetler ihmal edilebilir. Eğer bağ kirişindeki aksel kuvvet küçük değilse, kesme akma dayanımı **Denk.(2.9)** ve **Denk.(2.10)** denklemleri kullanılarak azaltılmalıdır. Bağ kirişindeki aksel kuvvet büyükse, bağ kirişinin dönme kapasitesindeki bir kayıp ortaya çıkar (Kasai, K. ve Popov, E.P., 1989) [7].

Kolonlarla bağlantı yapan bağ kirişlerinden oluşan dışmerkez çaprazlı çerçeve sistemler için lineer analizle çözüme genellikle bağ kirişinin ucundaki kolonda kolonun büyük eğilme rijitliği yüzünden büyük eğilme momenti gösterecektir. Bu durumda bağ kirişi bu büyük momentler için boyutlandırılmamalıdır. Kasai ve Popov'un yaptığı çalışmalar gösteriyor ki; bağ kirişinin bir ucunda oluşacak erken eğilme akması bağ kirişinin hem kesme dayanımı hem de dönme kapasitesi üzerinde etkiye sahiptir. Bu durumda kolondaki büyük elastik moment bağ kirişinin diğer ucuna paylaşılır ve bağ kirişinin akması kesme kuvveti **Denk.(2.9)** ve **Denk.(2.10)** ile verilen değerlere varana kadar oluşmaz.

2.7.2 Kopma Dayanımı

Çaprazlar, kolonlar ve bağ kirişi haricindeki kiriş kısımları deprem esnasında zaten elastik kalma eğilimindedirler. Bu da kapasite tasarım prosedürlerinin temel prensiplerinden biridir. Aşağıda verilen maddeler yüzünden bir bağ kirişinin maksimum dayanımı **Denk.(2.9)** ve **Denk.(2.10)**'da verilen dayanımı aşacaktır:

- Malzeme gerilme pekleşmesi.
- Gerçek malzeme dayanımının tasarım değerlerini aşması.
- Kompozit döşeme sistemlerinin varlığı.

İlk iki maddenin kombinasyonu yukarıda verilen tasarım değerlerinin iki katından daha büyük bir bağ kirişi dayanımı üretebilir. Kompozit döşeme sistemleri ise maksimum bağ kirişi dayanımını %50 oranında artırır (Whittaker, A.S., Uang, C.M. ve Bertero, V.V., 1987) [8].

2.7.3 Bağ Kirişi Deformasyon Kapasitesi

Dışmerkez aprazlı ereve sistemler üzerinde yapılan ilk çalışmalarda kısa bağ kirişlerinin davranışı önem taşıymaktaydı. Bu alışmalar iyi berkitilmiş bir kesme bağ kirişinin $\pm 0,10$ radyan çevrimsel plastik dönme ve $+0,20$ radyan monotonik plastik dönme yapabileceğini, uzun bağ kirişlerinin ise; $\pm 0,015$ ile $\pm 0,09$ radyan arasında bir çevrimsel plastik dönme ve $+0,03$ ile $+0,12$ arasında bir monotonik plastik dönme yapabileceğini göstermiştir.

Bağ kirişi dönmesinin şartnamelerdeki limit değeri; $1,6M_p/V_p$ ve altı için $0,09$ radyan, $2,6M_p/V_p$ ve üstü için $0,03$ radyandır. (Engelhardt, M.D. ve Popov, E.P., 1989) [4].

2.8. Bağ Kirişi Detayları

2.8.1. Bağ Kirişi Rijitleştiricilerinin Aralığı

Yalın elik bağ kirişlerinin gövde rijitleştiricileri ile desteklenmeleri gövdede oluşabilecek kesme burkulmalarını geciktirir ve bağ kirişi dönme kapasitesini arttırır. Kısa bağ kirişlerinde oluşan bu tür burkulmalar bağ kirişini kırılması olarak düşünülebilir. Çünkü burkulmadan hemen sonra gövdede yırtılmalar meydana gelir Kasai ve Popov'un bağ kirişi dönmesinin bir fonksiyonu olarak rijitleştirici aralıkları için geliştirdiği kriterler kesmede bağ kirişlerinin akmasını geciktirmektedir (Kasai, K. ve Popov, E.P., 1989) [7].

Yapılan incelemeler sonucu kısa bağ kirişlerinin gövdesinde kesme burkulması, uzun bağ kirişleri ise eğilme burkulması (başlık burkulması) meydana geldiği gözlenmiştir. Engelhardt ve Popov'un tavsiyeleri başlık burkulmasının enine gövde rijitleştiricilerinin kullanılmasıyla başarılı bir şekilde geciktirilemeyeceği yönündedir. Ancak rijitleştirilmiş bir bağ kirişindeki başlık burkulması bağ kirişi dayanımı artan plastik mafsal dönmeleri ile hızlı bir şekilde düşmesine rağmen büyük bir olasılıkla kesme gövde burkulmasındaki kadar ciddi bir olay değildir.

AISC LRFD şartnamesi dışmerkez aprazlı ereve sistemlerde rijitleştirilmiş bağ kirişleri için aşağıdaki kuralları zorunlu tutmuştur:

- Bağ kirişinin uçlarındaki diyagonal çaprazlarda bağ kirişi gövdesinin her iki tarafında da gövde rijitleştiricileri bulunmalıdır.

- $1,6M_p/V_p$ 'ye eşit veya daha kısa bağ kirişlerinde 0,09 radyan dönme açısına sahip bir bağ kirişi için $30t_w-0,2d$ ve 0,03 radyan veya daha küçük dönme açısına sahip bağ kirişleri için $52t_w-0,2d$ 'yi aşmayacak şekilde ara gövde rijitleştiriciler bulundurulmalıdır.
- $1,6M_p/V_p$ 'den daha uzun ve $5M_p/V_p$ 'den daha kısa olan bağ kirişlerinde bağ kirişinin her bir ucundan $1,5b_f$ kadar mesafede ara gövde rijitleştiricileri bulundurulmalıdır.
- $1,6M_p/V_p$ ve $2,6M_p/V_p$ arasında uzunluğa sahip bağ kirişlerinde ikinci ve üçüncü kuralların gerektirdiğinden daha fazla ara gövde rijitleştirici kullanılmalıdır.
- $5M_p/V_p$ 'den daha uzun bağ kirişlerinde ara gövde rijitleştiriciler gerekmez. (AISC, 1995) [5].

2.8.2. Bağ Kirişi Ara Rijitleştiricileri Detayları

Ara rijitleştiriciler tam derinlikli olmayı ve bağ kirişi uzunluğu boyunca eşit aralıklarda yerleştirilmeyi gerektirmektedir. 635 mm'den derin veya daha büyük bağ kirişleri için, rijitleştiriciler gövdenin her iki tarafında da bulundurulmalıdır. 635 mm'den daha küçük bağ kirişlerinde ise yalnızca tek tarafta bulundurulması yeterlidir. Rijitleştiriciler bağ kirişi gövdesine köşe kaynakla birleştirilmelidir. Bu köşe kaynaklar rijitleştiricinin düşey çekme dayanımına eşit veya daha büyük bir dayanıma sahip olmalıdır. Rijitleştiricilerin bağ kirişi başlığına olan köşe kaynaklı bağlantıları rijitleştiricinin çekme dayanımını %25'ine eşit bir kuvvete göre tasarlanmalıdır (Michel Bruneau, Chia-Ming Uang ve Andrew Whittaker, 1998) [1].

2.8.3. Bağ Kirişi-Kolon Bağlantı Elemanları

AISC LRFD şartnamesinde bağ kirişi-kolon birleşimleri için özel gereksinimlere ihtiyaç duyulmaktadır. Şartnamenin tavsiyeleri; bağ kirişi-kolon birleşiminin bağ kirişinin gerekli plastik dönmesini geliştirebileceği kanıtlanmadıkça kısa bağ kirişleri direk olarak kolona bağlanmamalıdır. (AISC, 1995) [5].

Bağ kirişi-kolon başlık birleşimi kolona tam penetrasyonlu kaynaklı birleşimlere sahip bağ kirişi başlıklarıyla tam kaynaklı olacak şekilde birleşimi gerektirmektedir ve bağ kirişi gövdesi kolona kaynaklı olmalıdır. Böylece gövdenin aksel, kesme ve eğilme dayanımı geliştirilebilir. Küt kaynaklı birleşimler kaynaklı gövde birleşimleri yerine kullanılamazlar. Çünkü yüksek deformasyonlar nedeniyle bağ kirişi

başlığındaki tam penetrasyonlu kaynakların kırılması ile sonuçlanacak büyük bir çevrimsel kesme kuvveti etkir.

Bağ kirişi-kolon gövde birleşimleri tavsiye edilmez. Böyle bir birleşim için maksimum bağ kirişi dönme açısı herhangi bir bağ kirişi boyu için 0,015 radyanla sınırlı olmalıdır. Bu tam kaynaklı bağlantılarda bağ kirişi flanşları süreklilik levhaları ile kolona tam penetrasyonlu olarak kaynaklanmalıdır ve bağ kirişi gövdesi-kolon gövdesi birleşimi kaynağı bağ kirişi gövdesinin eksenel, kesme ve eğilme dayanımını geliştirebilmelidir (AISC, 1995) [5].

2.8.4. Bağ Kirişleri İçin Diğer Tasarım Kuralları

AISC LRFD şartnamesi dışmerkez çaprazlı çerçeve sistemlerdeki bağ kirişleri için aşağıdaki kuralları içermektedir:

- Bağ kirişleri moment dayanımlı çerçevelerdeki kirişler için söylenen kompakt kesit kriterine uygun olmalıdır.
- Bağ kirişi için kullanılan çeliğin karakteristik akma gerilmesi sünek davranış elde etmek zorundadır (AISC, 1995) [5].

2.9. Bağ Kirişleri Haricindeki Çerçeve Elemanlarının Tasarımı

2.9.1 Kirişler ve Çaprazlar

Dışmerkez çaprazlı çerçeve tasarımının amacı; bağ kirişleri ile daha fazla veya tüm deprem enerjisini sönmölemektir. Bağ kirişi kesme kuvveti Çapraz ve kirişlerde eksenel kuvvetler ve momentler yaratacaktır. Tasarım hedeflerine ulaşmak için, çapraz ve kirişlerin bağ kirişi tarafından geliştirilen maksimum kuvvetler için elastik kalacak şekilde tasarlanmalıdır.

AISC LRFD şartnamesi bağ kirişi haricindeki kirişlerin bağ kirişinin teorik kesme dayanımının 1,25 katı ile üretilen kuvvetlere dayanması için minimum moment, eksenel ve kesme dayanımının yeterli olmasını gerektirmektedir. Aynı kurallar dışmerkez çaprazlar için de geçerlidir. (AISC, 1995) [5].

Dışmerkez çaprazlı çerçeve sistemler için getirilen ilk tasarım prosedürleri dışmerkez çaprazın teorik dayanımının bağ kirişinin teorik dayanımına benzer şekilde eksenel kuvvetin 1,5 katına eşit veya daha büyük olması gerektiğini yazmaktadır.

LRFD şartnamesine göre bağ kirişi dışındaki kiriş kısmı ve dışmerkez çaprazın tasarım dayanımı bağ kirişinin teorik dayanımının 1,25 katı ile üretilen kuvvetleri aşar; böyle bir tasarımda ϕ faktörleri, teorik dayanım tasarım dayanımına indirgenerek kullanılmalıdır. Çapraz ve kiriş kısmındaki aksenal kuvvet için, ϕ genellikle 0,85'e eşittir ve yedek dayanım faktörü yaklaşık olarak 1,5'e eşittir ($\approx 1,25/0,85=1,47$) (LRFD, 1999) [9]. Momentler için yedek dayanım faktörü yaklaşık olarak 1,4'e eşittir. Bağ kirişi maksimum dayanımına vardığında:

$$e \leq 2M_p / V_p \quad \text{için: bağ kirişi kesme kuvveti} = 1,25V_p \quad (32.a)$$

$$\text{bağ kirişi uç momenti} = e(1,25M_p) / 2 \quad (32.b)$$

$$e \geq 2M_p / V_p \quad \text{için: bağ kirişi kesme kuvveti} = 2(1,25M_p) / e \quad (32.c)$$

$$\text{bağ kirişi uç momenti} = 1,25M_p \quad (32.d)$$

Bağ kirişleri kolonlara $1,3M_p/V_p$ 'den daha kısa mesafede bağlandığında, Kasai ve Popov'a göre; bağ kirişi uç momentleri bağ kirişi maksimum dayanımına ulaştığında eşit olmayabilir (LRFD, 1999) [9]. Kesme kuvveti ve uç momenti için aşağıdaki bağıntılar kullanılabilir:

$$e \leq 1,3M_p / V_p \quad \text{için: bağ kirişi kesme kuvveti} = 1,25V_p \quad (32.e)$$

$$\text{kolondaki bağ kirişi uç momenti} = 0,8M_p \quad (32.f)$$

$$\text{çaprazdaki bağ kirişi uç momenti} = e(1,25M_p) - 0,8M_p \quad (32.g)$$

2.9.2 Bağ Kirişi-Çapraz Birleşimleri

Dışmerkez çapraz ile bağ kirişi arasındaki birleşim çaprazın teorik dayanımına göre tasarlanmalıdır. Birleşim bağ kirişi içine doğru uzatılmamalıdır. Eğer çapraz-bağ kirişi birleşimi bir mafsal olarak tasarlanacaksa, bağ kirişi dışında kalan kiriş kısmı bağ kirişi uç momentine dayanmalıdır ve birleşim maksimum kuvveti bağ kirişi ve diğer kiriş kısmına transfer edebilecek şekilde detaylandırılır.

Eğer dışmerkez çapraz bağ kirişi uç momentinin bir kısmına dayanım sağlamak için tasarlanırsa, birleşim tam mesnetli olarak tasarlanır.

2.9.3 Kolonlar

Kolonlarda plastik davranıştan genellikle kaçınılmalıdır. Çünkü kolonda bu tarz bir davranış yerçekimi yüklerine dayanımlı sistemin stabilitesini bozabilir. LRFD şartnamesine göre çaprazların birleştiği bağ kirişinin teorik dayanımının 1,25 katı ile üretilen yerçekimi-yük hareketleri, momentler ve eksenel yüklere dayanmalıdır.

2.9.4 Kiriş-Kolon Birleşimleri

Eğer dışmerkez çaprazlı çerçeve konfigürasyonunda bağ kirişi kolonla birleşmiyorsa (ayrık K-çaprazlı vb.), bağ kirişi dışındaki kiriş-kolon birleşimleri kiriş gövdesinin planında bir mafsal olarak tasarlanabilir. Sonuç olarak kirişte burulmaya karşı bazı sınırlandırmalar sağlar. Başlığın teorik eksenel çekme dayanımının 1,5 katına eşit kuvvetlerle hesaplanmasını gerektirmektedir (LRFD, 1999) [9].

3. AISC TASARIM KURALLARI

3.1. Amaç

Dış merkezi çaprazlı çerçeve sistemlerin bağ kirişleri deprem etkisi altında inelastik şekil değiştirmeler yapabilecek şekilde tasarım yapılmalıdır. Maksimum kuvvetler altında bağ kirişleri dışında kalan çaprazlar, kirişler ve kolonlar elastik davranış altında kalacak şekilde tasarlanır. Ancak 5 kattan fazla yapılan son kat merkezi çaprazlı sistem olarak tasarlanmalı.

3.2. Bağ Kirişleri

3.2.1. Genişlik ve Kalınlıkta Sınırlamalar

Süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı çerçevelere ait kolon ve çapraz elemanların genişlik-kalınlık oranlarına ilişkin koşullar **Tablo 3.1a** ve **Tablo 3.1b**'de verilmiştir

3.2.2. Kesme Dayanımı

$$V_n = 2M_p/e \text{ veya } V_p \text{ değerlerine eşit veya küçük} \quad (3.1)$$

$$\phi_v = 0,90 \text{ (LRFD)} \quad (3.2)$$

$$M_p = F_y Z \quad (3.3)$$

$$V_p = 0,60 F_y A_w \quad (3.4)$$

$$A_w = (d - 2t_f) t_w \quad (3.5)$$

$$\text{Tasarım kesme dayanımı} = \phi_v V_n = 0,90 V_n \quad (3.6)$$

Eğer $P_u \leq 0.15 P_y$ (LRFD) ise bağ kirişindeki aksenal kuvvetin etkisi ihmal edilir.

Eğer $P_u > 0.15 P_y$ (LRFD) ise ek önlemler alınmalıdır.

Bağ kirişindeki kesme kuvveti dayanımı (**Denk. 3.7**)'deki değerlerden küçük olmalı.

$$\phi_v V_{pa} , 2\phi_v M_{pa} / e \quad (3.7)$$

$$V_{pa} = V_p \sqrt{1 - (P_r / P_c)^2} \quad (3.8)$$

$$M_{pa} = 1.18 M_p \left(1 - \frac{P_r}{P_c} \right) \quad (3.9)$$

$$P_r = P_u \quad P_c = P_y \quad (3.10)$$

$$C_a \leq 0,125 \text{ için } \lambda_p = 3,76 \sqrt{\frac{E}{F_y}} (1 - 2,75 C_a) \quad (3.11)$$

$$C_a > 0,125 \text{ için } \lambda_p = 1,12 \sqrt{\frac{E}{F_y}} (2,33 - C_a) \geq 1,49 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (3.12)$$

$$\text{LRFD için } C_a = \frac{P_u}{0,90 P_y} \quad (3.13)$$

$$\text{ASD için } C_a = \frac{1,6 P_a}{P_y} \quad (3.14)$$

Bağ kirişi uzunluğu **Denk.(3.15)** ve **Denk.(3.16)**'teki değerleri aşmamalı.

$$\rho' = \left(\frac{A_w}{A_g} \right) \geq 0.30 \text{ ise } e < \left[1.15 - 0.50 \rho' \left(\frac{A_w}{A_g} \right) \right] \times 1.6 \frac{M_p}{V_p} \quad (3.15)$$

$$\rho' = \left(\frac{A_w}{A_g} \right) < 0.30 \text{ ise } e < 1.6 \frac{M_p}{V_p} \quad (3.16)$$

$$\rho' = \frac{P_r}{V_r} \quad (3.17)$$

$$V_r = V_u \quad (3.18)$$

Tablo 3.1a: Rijitleştirilmemiş Basınç Elemanları İçin Genişlik-Kalınlık Oranları Sınır Değerleri

Basınç Elemanları İçin Genişlik-Kalınlık Oranları Sınır Değerleri			
Eleman Tanımı		Narinlik Oranları	Genişlik-Kalınlık Oranı Sınır Değerleri
			λ_{ps} (sismik olarak kompakt)
Rijitleştirilmemiş Elemanlar	Eğilme etkisindeki I kesitler	b/t	$0,30\sqrt{E/F_y}$
	Üniform basınç etkisindeki I kesitler	b/t	$0,30\sqrt{E/F_y}$
	Üniform basınç etkisindeki I kesitler	b/t	$0,38\sqrt{E/F_y}$
	Üniform basınç etkisindeki U kesitler, birbirine bitişik korniyer çiftleri ve çaprazlar	b/t	$0,30\sqrt{E/F_y}$
	Bağ levhaları	b/t	2,5
	Üniform basınç etkisindeki tek korniyer ve ayrık çift korniyerler	b/t	$0,30\sqrt{E/F_y}$
	Üniform basınç etkisindeki dairesel halka kesitler (borular)	d/t	$0,30\sqrt{E/F_y}$

Tablo 3.1b: Rijitleştirilmiş Basınç Elemanları İçin Genişlik-Kalınlık Oranları Sınır Değerleri

Basınç Elemanları İçin Genişlik-Kalınlık Oranları Sınır Değerleri			
Eleman Tanımı		Narinlik Oranları	Genişlik-Kalınlık Oranı Sınır Değerleri
			λ_{ps} (sismik olarak kompakt)
Rijitleştirilmiş Elemanlar	Eğilme ve aksenal basınç etkisindeki süneklik düzeyi yüksek moment aktaran çerçeve kirişlerinin gövdeleri	h/t_w	$2,45\sqrt{E/F_y}$
	Eğilme ve aksenal basınç etkisindeki kesitlerin gövdeleri	h/t_w	$C_a \leq 0,125$ için $3,14\sqrt{\frac{E}{F_y}}(1-1,54C_a)$
			$C_a > 0,125$ için $1,12\sqrt{\frac{E}{F_y}}(2,33-C_a) \geq 1,49\sqrt{\frac{E}{F_y}}$
	Eğilme ve aksenal basınç etkisindeki dairesel halka kesitler (borular)	D/t	$0,044E/F_y$
Eğilme ve aksenal basınç etkisindeki dikdörtgen tüp kesitler	b/t h/t_w	$0,64\sqrt{E/F_y}$	

3.2.3. Bağ Kirişinin Dönme Açısı

- (a) Bağ kirişi uzunluğunu $1.6M_p/V_p$ 'ye eşit veya daha küçük olması halinde dönme açısı 0.08 radyan
- (b) Bağ kirişi uzunluğu $2.6M_p/V_p$ 'ye eşit veya daha büyük olması halinde dönme açısı 0.02 radyan
- (c) Bu iki değer arasında kaldığı durumlarda doğrusal interpolasyon yapılmalı.

3.3. Rijitlik levhaları

Rijitlik levhaları bağ kirişi gövde levhası yüksekliğinde olmalıdır. İki tarafına toplam genişliği $(b_f - 2t_w)$ 'den büyük olmalıdır. Ayrıca kalınlığı kiriş gövde kalınlığının 0.75 katından büyük olmalı.

Bağ kirişindeki ara rijitlik levhaları şu kurallara göre konulmalı.

- (a) Boyu $1.6M_p/V_p$ 'ye eşit veya kısa olan bağ kirişlerinde, ara rijitlik levhalarının ara mesafeleri, bağ kirişinin dönme açısının 0.08 radyan olduğu durumda $\left(30t_w - \frac{d}{5}\right)$ 'den, bağ kirişi dönme açısının 0.03 radyandan küçük olduğu durumlarda $\left(52t_w - \frac{d}{5}\right)$. Dönme açısı bu 2 değer arasında ise lineer interpolasyon yapılmalıdır.
- (b) Bağ kirişi boyu $2.6M_p/V_p$ 'den büyük , $5M_p/V_p$ 'den küçük olduğu durumlarda, bağ kirişi uçlarından $1.5b_f$ mesafede ara rijitlik levhaları yerleştirilmelidir.
- (c) Boyu $1.6M_p/V_p$ ile $2.6M_p/V_p$ arasında olan bağ kirişlerinde (a) ve (b)'de açıklanan ara rijitlik levhaları birlikte uygulanacaktır.
- (d) Boyu $5M_p/V_p$ 'den büyük olan bağ kirişlerinde ara rijitlik levhaları kullanmaya gerek yoktur.
- (e) Ara rijitlik levhaları tam derinlik levhaları tam derinlikte olmalı. Kiriş derinlikleri 635 mm' den küçük ise tek taraflı ara rijitlik levhalarının kullanılması yeterlidir. Tek taraflı bu rijitlik levhaları kalınlıkları t_w yada 10mm' den küçük olmamalı. Genişlikleri ise $(b_f/2 - 2t_w)$ 'den büyük yada eşit olmalı. Bağ kirişleri derinlikleri 635 mm' den büyük olduğu durumlarda 2 tarafa da benzer ara rijitlik levhaları konulmalıdır.

Ara rijitlik levhasının bağ kirişi gövdesine birleşmesi için çekilen köşe kaynağı dayanımı $A_w F_y$ (LRFD) olmalıdır.

Ara rijitlik levhasının bağ kirişi başlığına birleşimi için çekilen köşe kaynağı dayanımı $A_w F_y / 4$ (LRFD) olmalıdır.

3.4. Bağ Kirişi – Kolon Birleşimleri

Bağ kirişi ile kolon birleşimi bağ kirişi uzunluğuna bağlı olarak belirtilen dönme maksimum dönme açısını sağlamalı. Birleşimin kolon yüzündeki dayanım nominal kesme dayanımı olan V_n ' den büyük yada eşit olmalıdır.

Kolon bağ kirişi birleşiminde güçlendirme levhası kullanıldığı durumda güçlendirme levhası boyunca kirişte akma görülmez ve bağ kirişi tam olarak takviyenin bittiği yerden çaprazla kadar ki kısım olarak kabul edilir. Bu bağ kirişi uzunluğu da $1.6M_p / V_p$ değerini aşmamalıdır. Gerekli olduğu şartlarda ara rijitlik levhaları bağ kirişine konulmalıdır.

3.5. Bağ Kirişinin Yanal Doğrultuda Mesnetlenmesi

Bağ kirişinin üst ve alt başlıkları kirişin iki ucunda, kolon kenarında düzenlenen bağ kirişlerinde ise kirişin bir ucunda, yanal doğrultuda mesnetlenecektir. Yanal doğrultudaki mesnetlerin gerekli dayanımı, kiriş başlığının aksenal çekme kapasitesinin 0.06'sından daha az olmayacaktır. ($P_b = 0.06 M_r / h_a$)

3.6. Çaprazlar ve Bağ Kirişi Dışında Kalan Kirişler

3.6.1. Çaprazlar

Çapraz elemanlar deprem yüklemeleri ve yük kombinasyonları altında gerekli olan aksenal kuvveti ve eğilme dayanımı karşılamalı. Gerekli olan bu dayanımlar nominal kesme dayanımından en az 1.25 kat daha büyük olmalıdır.

3.6.2. Bağ Kirişi Dışında Kalan Kiriş

Kirişler yükleme kombinasyonları altında aksenal ve eğilme gerilmelerini karşılamaları. Ayrıca nominal kesme dayanımının en az 1.1 katına göre tasarlanmalıdır.

Çapraz elemanlar ve bağ kiriş dışında kalan kirişler elastik davranış yapmalıdır.

4. ÇELİK BİNALAR İÇİN DEPREME DAYANIKLI TASARIM KURALLARI

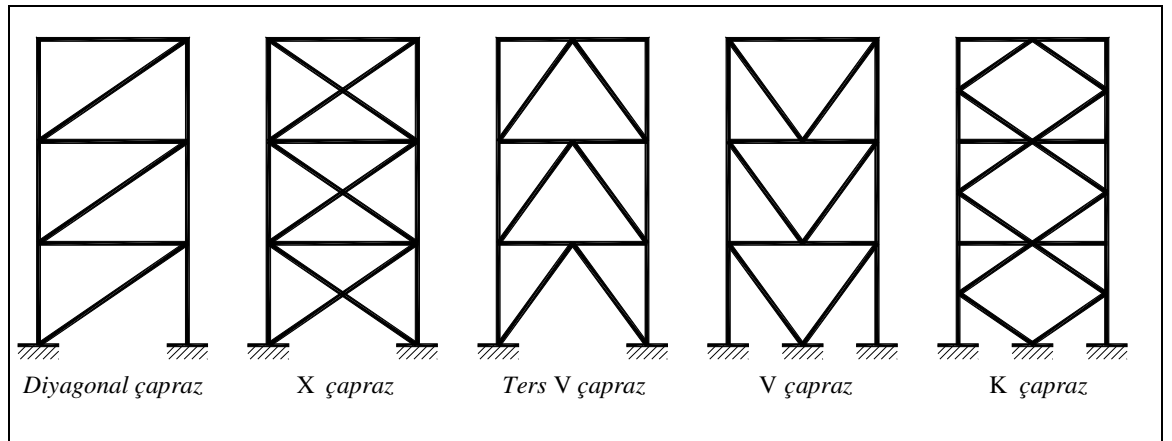
4.1. Çelik Çaprazlı Perdeler

Çelik çaprazlı perdeler, mafsallı birleşimli veya moment aktaran çerçeveler ile bunlara merkezi ve dışmerkez olarak bağlanan çaprazlardan oluşan yatay yük taşıyıcı sistemlerdir. Bu tür sistemlerin yatay yük taşıma kapasiteleri, eğilme dayanımlarının yanında, daha çok veya tümüyle elemanların aksenal kuvvet dayanımları ile sağlanmaktadır. Çelik çaprazlı perdeler, çaprazların düzenine bağlı olarak ikiye ayrılırlar:

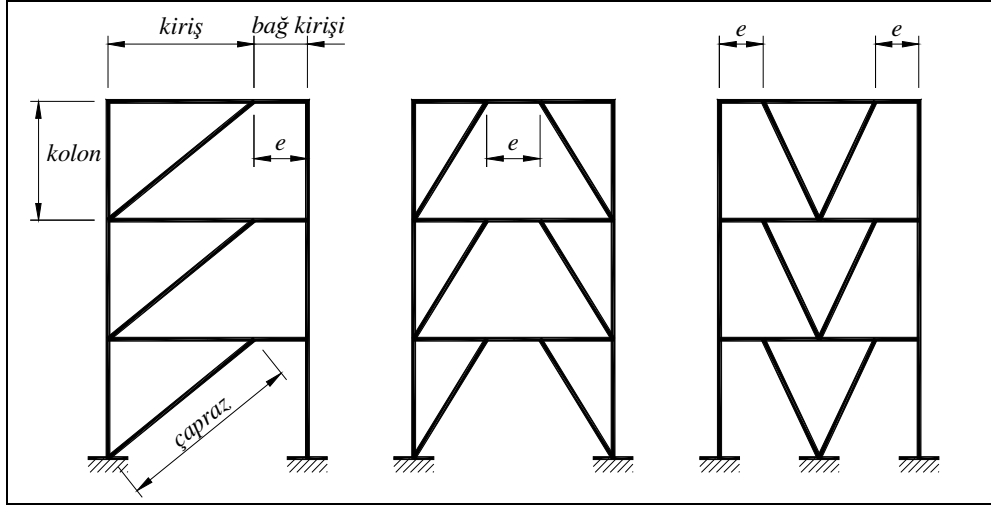
(a) Merkezi Çelik Çaprazlı Perdeler (Şekil 4.1)

(b) Dışmerkez Çelik Çaprazlı Perdeler (Şekil 4.2)

Çaprazların çerçeve düğüm noktalarına merkezi olarak bağlandığı Merkezi Çelik Çaprazlı Perdeler süneklik düzeyi yüksek veya süneklik düzeyi normal sistem olarak boyutlandırılabilirler. Buna karşılık, çaprazların çerçeve düğüm noktalarına dışmerkez olarak bağlandığı Dışmerkez Çelik Çaprazlı Perdeler süneklik düzeyi yüksek sistem olarak boyutlandırılacaklardır.



Şekil 4.1: Merkezi Çelik Çaprazlı Perdeler



Şekil 4.2: Dışmerkez Çelik Çaprazlı Perdeler

4.2. Süneklik Düzeyi Yüksek Dışmerkezi Çaprazlı Perdeler

Süneklik düzeyi yüksek dışmerkez çelik çaprazlı perdeler, deprem etkileri altında bağ kirişlerinin önemli ölçüde doğrusal olmayan şekil değiştirme yapabilme özelliğine sahip olduğu yatay yük taşıyıcı sistemlerdir. Bu sistemler, bağ kirişlerinin plastik şekil değiştirmesi sırasında, kolonların, çaprazların ve bağ kirişi dışındaki diğer kirişlerin elastik bölgede kalması sağlanacak şekilde boyutlandırılırlar. Süneklik düzeyi yüksek merkezi çelik çaprazlı perdelerin boyutlandırılmasında uygulanacak kurallar aşağıda verilmiştir.

4.2.1. Enkesit Koşulları

4.2.1.1. Süneklik düzeyi yüksek dışmerkez çelik çaprazlı perdelerin bağ kirişleri, diğer kirişleri, kolon ve çaprazlarında başlık genişliği/kalınlığı, gövde yüksekliği/kalınlığı ve çap/kalınlık oranlarında **Tablo 4.1**'deki koşullara uyulacaktır. Bağ kirişlerine ilişkin ek koşullar, **4.2.2**'de verilmiştir.

4.2.1.2. Çaprazların narinlik oranı (çubuk burkulma boyu/atalet yarıçapı)

$4.0 \times \sqrt{E_s / \sigma_a}$ sınır değerini aşmayacaktır.

Tablo 4.1: Enkesit Koşulları

Eleman Tanımı	Narinlik Oranları	Sınır Değerler	
		Süneklik Düzeyi Yüksek Sistem	Süneklik Düzeyi Normal Sistem
Eğilme etkisindeki I Kesitleri U Kesitleri	b/t	$0.3\sqrt{E_s/\sigma_a}$	$0.5\sqrt{E_s/\sigma_a}$
Eğilme etkisindeki I Kesitleri U Kesitleri	h/t _w	$3.2\sqrt{E_s/\sigma_a}$	$5\sqrt{E_s/\sigma_a}$
Basınç etkisindeki T Kesitleri L Kesitleri	h/t _w	$0.3\sqrt{E_s/\sigma_a}$	$0.5\sqrt{E_s/\sigma_a}$
Eğilme ve eksenel basınç etkisindeki I Kesitleri U Kesitleri	h/t _w	$ N_d/\sigma_a A \leq 0.10$ için $3.2\sqrt{E_s/\sigma_a} \left(1 - 1.7 \left \frac{N_d}{\sigma_a A} \right \right)$	$ N_d/\sigma_a A \leq 0.10$ için $5\sqrt{E_s/\sigma_a} \left(1 - 1.7 \left \frac{N_d}{\sigma_a A} \right \right)$
		$ N_d/\sigma_a A > 0.10$ için $1.33\sqrt{E_s/\sigma_a} \left(2.1 - \left \frac{N_d}{\sigma_a A} \right \right)$	$ N_d/\sigma_a A > 0.10$ için $2.08\sqrt{E_s/\sigma_a} \left(2.1 - \left \frac{N_d}{\sigma_a A} \right \right)$
Eğilme veya eksenel basınç etkisindeki dairesel halka kesitler (borular)	D/t	$0.05 \frac{E_s}{\sigma_a}$	$0.08 \frac{E_s}{\sigma_a}$
Eğilme veya eksenel basınç etkisindeki dikdörtgen kutu kesitler	b/t veya h/t _w	$0.7\sqrt{E_s/\sigma_a}$	$1.2\sqrt{E_s/\sigma_a}$
<p>Tanımlar</p> <p>b : I kesitlerinde yarım başlık genişliği U kesitleri ve dikdörtgen kutu kesitlerde başlık genişliği</p> <p>h : I, U, T kesitleri ve dikdörtgen kutu kesitlerde gövde yüksekliği L kesitlerinde büyük kenar uzunluğu</p> <p>D : dairesel halka kesitlerde (borularda) dış çap</p> <p>t : I, U, T kesitleri ve dikdörtgen kutu kesitlerde başlık kalınlığı halka kesitlerde (borularda) kalınlık</p> <p>t_w : I, U, T, L kesitleri ve dikdörtgen kutu kesitlerde gövde kalınlığı</p>			

4.2.1.3. Çok parçalı çaprazlar için aşağıda verilen koşullar dışmerkez çelik çaprazlı perdeler için de aynen geçerlidir.

Çok parçalı çaprazlarda bağ levhalarının aralıkları, ardışık iki bağ levhası arasındaki tek elemanın narinlik oranı tüm çubuğun narinlik oranının 0.40 katını aşmayacak şekilde belirlenecektir. Çok parçalı çaprazın burkulmasının bağ levhasında kesme etkisi oluşturmadığının gösterilmesi halinde, bağ levhalarının aralıkları, iki bağ levhası arasındaki tek çubuğun narinlik oranı çok parçalı çubuğun etkin narinlik oranının 0.75 katını aşmayacak şekilde belirlenebilir. Bağ levhalarının toplam kesme kuvveti kapasitesi, her bir çubuk elemanının aksenal çekme kapasitesinden daha az olmayacaktır. Her çubukta en az iki bağ levhası kullanılacak ve bağ levhaları eşit aralıklı olarak yerleştirilecektir. Bulonlu bağ levhalarının, çubuğun temiz açıklığının orta dörtte birine yerleştirilmesine izin verilmez

4.2.2. Bağ Kirişleri

4.2.2.1. Süneklik düzeyi yüksek dışmerkez çelik çaprazlı perdelerde, her çapraz elemanın en az bir ucunda bağ kirişi bulunacaktır.

4.2.2.2. Bağ kirişinin boyu, **4.2.2.1'**deki özel durumun dışında, aşağıdaki şekilde belirlenebilir.

$$1.0M_p / V_p \leq e \leq 5.0M_p / V_p \quad (4.1)$$

Bu bağıntıdaki M_p eğilme momenti ve V_p kesme kuvveti kapasiteleri aşağıda belirtilen denklemlerle belirlenecektir.

$$\text{Eğilme momenti kapasitesi} : M_p = W_p \sigma_a \quad (4.2a)$$

$$\text{Kesme kuvveti kapasitesi} : V_p = 0.60 \sigma_a A_k \quad (4.2b)$$

$$\text{Eksenal basınç kapasitesi} : N_{bp} = 1.7 \sigma_{bem} A \quad (4.2c)$$

$$\text{Eksenal çekme kapasitesi} : N_{cp} = \sigma_a A_{net} \quad (4.2d)$$

Burada, σ_{em} ilgili birleşim elemanına ait emniyet gerilmelerini (normal gerilme, kayma ve ezilme gerilmeleri) göstermektedir.

Birleşim elemanlarının gerilme sınır değerleri:

Tam penetrasyonlu kaynak : σ_a

Kısmi penetrasyonlu küt kaynak

veya köşe kaynağı : $1.7 \sigma_{em}$

Bulonlu birleşimler : $1.7 \sigma_{em}$

4.2.2.3. Bağ kirişleri, düşey yükler ve **D.B.Y.B.H.Y. Bölüm 2'**e göre hesaplanan deprem etkilerinden oluşan tasarım iç kuvvetleri (kesme kuvveti, eğilme momenti ve aksel kuvvet) altında boyutlandırılacaktır.

4.2.2.4. Bağ kirişinin V_d tasarım kesme kuvveti, aşağıdaki koşulların her ikisini de sağlayacaktır.

$$V_d \leq V_p \quad (4.3)$$

$$V_d \leq 2M_p / e \quad (4.4)$$

4.2.2.5. Bağ kirişi tasarım aksel kuvvetinin

$$N_d / \sigma_a A > 0.15 \quad (4.5)$$

olması halinde, **Denk.(4.3)** ve **Denk.(4.4)**'te M_p ve V_p yerine

$$M_{pn} = 1.18 M_p \left[1 - \frac{N_d}{\sigma_a A} \right] \quad (4.6)$$

$$V_{pn} = V_p \sqrt{1 - (N_d / \sigma_a A)^2} \quad (4.7)$$

değerleri kullanılacaktır.

4.2.2.6. Bağ kirişinin gövde levhası tek parçalı olacak, gövde düzlemi içinde takviye levhaları bulunmayacaktır. Gövde levhasında boşluk açılmayacaktır.

4.2.3. Bağ Kirişinin Yanal Doğrultuda Mesnetlenmesi

4.2.3.1. Bağ kirişinin üst ve alt başlıkları kirişin iki ucunda, kolon kenarında düzenlenen bağ kirişlerinde ise kirişin bir ucunda, yanal doğrultuda mesnetlenecektir. Yanal doğrultudaki mesnetlerin gerekli dayanımı, kiriş başlığının aksel çekme kapasitesinin 0.06'sından daha az olmayacaktır.

4.2.3.2. Ayrıca, bağ kirişi dışında kalan kiriş bölümü de, $0.45b_{bf}\sqrt{E_s/\sigma_a}$ aralıklarla yanal doğrultuda mesnetlenecektir. Bu mesnetlerin gerekli dayanımı, kiriş başlığının aksel çekme kapasitesinin 0.01'inden daha az olmayacaktır.

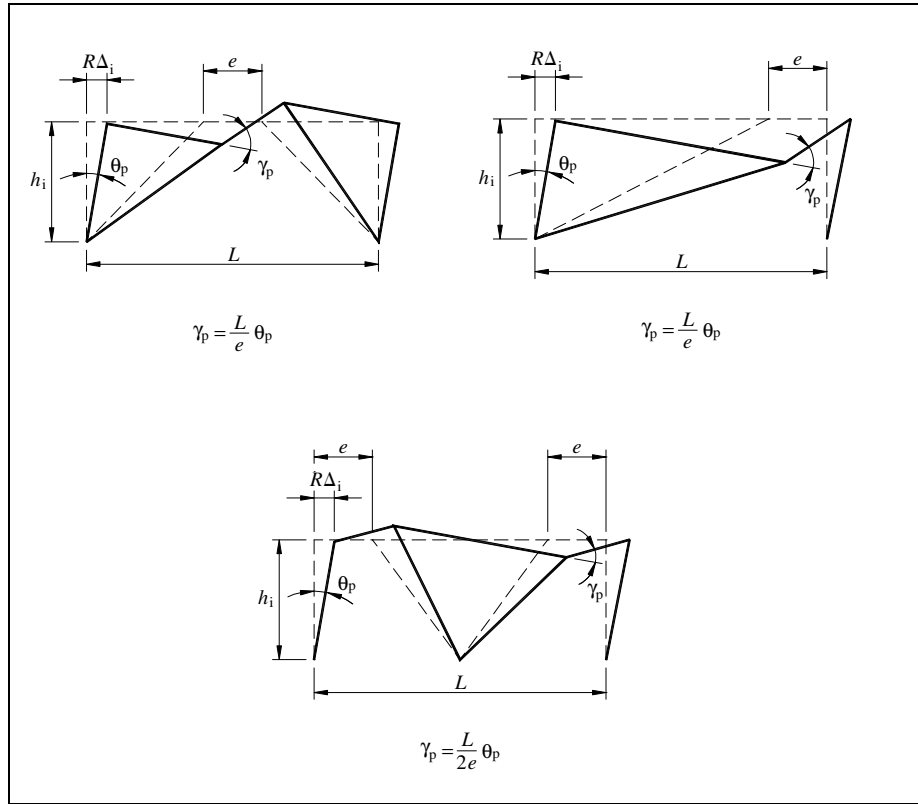
4.2.3.3. Betonarme döşemelerin çelik kirişler ile kompozit olarak çalıştığı çelik taşıyıcı sistemlerde yukarıdaki koşullara uyulması zorunlu değildir.

4.2.4. Bağ Kirişinin Dönme Açısı

Bağ kirişinin bulunduğu i ' inci katın **D.B.Y.B.H.Y. Bölüm 2'** de tanımlanan Δ_i görel kat ötelemesine bağlı olarak

$$\theta_p = R \frac{\Delta_i}{h_i} \quad (4.8)$$

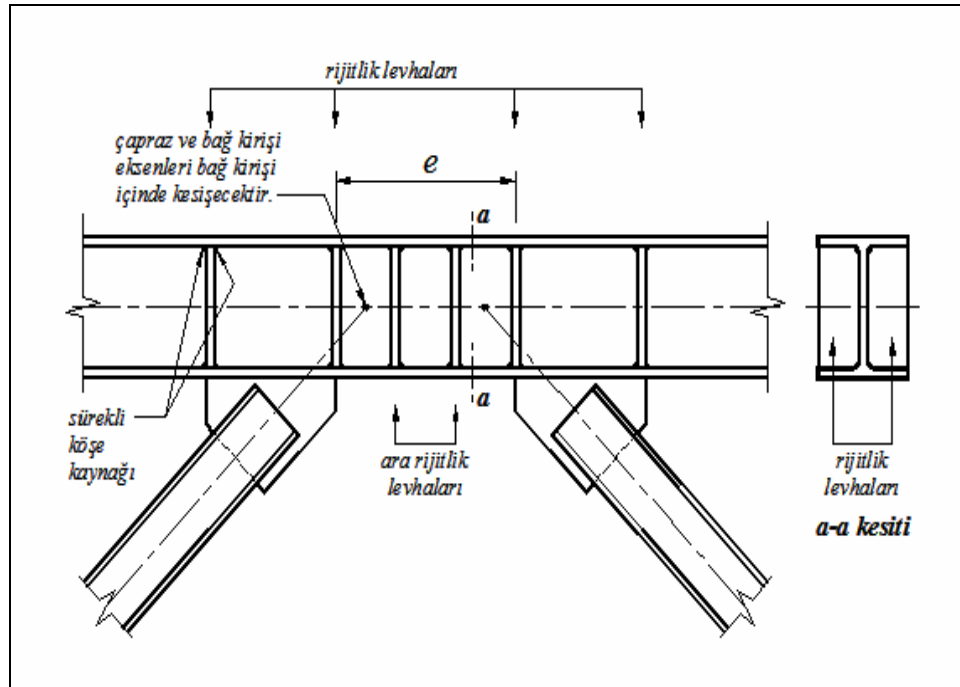
denklemleri ile bulunan görel kat ötelemesi açısından dolayı, bağ kirişi ile bu kirişin uzantısındaki kat kirişi arasında meydana gelen γ_p bağ kirişi dönme açısı **Şekil 4.3** ile verilen sınır değerleri aşmayacaktır.



Şekil 4.3: Bağ Kirişi Dönme Açıları

4.2.5. Rijitlik (Berkitme) Levhaları

4.2.5.1. Çapraz elemanların bağ kirişine ve uzantılarına doğrudan yük aktardığı uçlarında rijitlik levhaları düzenlenecektir. Rijitlik levhaları, aksi belirtilmedikçe, bağ kirişi gövde levhasının her iki tarafına konulacak, gövde levhası yüksekliğinde ve $(b_{bf} - t_w)/2$ genişliğinde olacaktır (Şekil 4.4). Rijitlik levhalarının kalınlığı, gövde levhası kalınlığının 0.75' inden ve 10 mm'den az olmayacaktır. Rijitlik levhalarını bağ kirişinin gövdesine bağlayan sürekli köşe kaynakları, rijitlik levhasının enkesit alanı ile malzeme akma gerilmesinin çarpımından oluşan kuvvetleri aktaracak kapasitede olacaktır.



Şekil 4.4: Berkitme Levhaları

4.2.5.2. Bağlantı kirişi uçlarındaki rijitlik levhalarına ek olarak, aşağıda tanımlanan ara rijitlik levhaları konulacaktır:

(a) Boyu $1.6M_p/V_p$ 'den daha kısa olan bağ kirişlerinde, ara rijitlik levhalarının ara uzaklıkları, bağ kirişi dönme açısının 0.10 radyan olması halinde $(30t_w - d_b/5)$ 'den, bağ kirişi dönme açısının 0.03 radyandan daha küçük olması halinde ise $(52t_w - d_b/5)$ 'den daha az olmayacaktır. Dönme açısının ara değerleri için doğrusal interpolasyon yapılacaktır.

(b) Boyu $2.6M_p/V_p$ 'den büyük ve $5M_p/V_p$ 'den küçük olan bağ kirişlerinde, bağ kirişi uçlarından $1.5b_{bf}$ uzaklıkta birer rijitlik levhaları konulacaktır.

(c) Boyu $1.6M_p/V_p$ ve $2.6M_p/V_p$ arasında olan bağ kirişlerinde, (a) ve (b)' de belirtilen ara rijitlik levhaları birlikte kullanılacaktır.

4.2.6. Çaprazlar, Kat Kirişleri ve Kolonlar

4.2.6.1. Bağ kirişinin plastikleşmesine neden olan yükleme, **D.B.Y.B.H.Y. Bölüm 2**'ye göre hesaplanan deprem etkilerinden oluşan iç kuvvetlerin, bağ kirişinde kesit seçimi sonucunda hesaplanan M_p/M_d ve V_p/V_d Tasarım Büyütme Katsayıları'nın büyüğü ile çarpımı suretiyle belirlenecektir.

4.2.6.2. Çaprazlar, bağ kirişinin plastikleşmesine neden olan yüklemenin $1.25D_a$ katından oluşan iç kuvvetlere göre boyutlandırılacaktır.

4.2.6.3. Kat kirişinin bağ kirişi dışında kalan bölümü, bağ kirişinin plastikleşmesine neden olan yüklemenin $1.1D_a$ katından oluşan iç kuvvetlere göre boyutlandırılacaktır.

4.2.6.4. Kolonlarda, düşey yükler ve depremin ortak etkisinden oluşan iç kuvvetler altında gerekli gerilme kontrolleri yapılacaktır. Ayrıca, kolonun taşıma kapasitesi aşağıda tanımlanan iç kuvvetlerden küçük olanlarını da sağlayacaktır:

(a) Bağ kirişinin plastikleşmesine neden olan yüklemenin $1.1D_a$ katından oluşan iç kuvvetler.

(b) **Denk.(4.9a)** ve **Denk.(4.9b)**'de verilen arttırılmış yüklemelerden meydana gelen iç kuvvetler.

$$1.0 G + 1.0 Q \pm \Omega_0 E \quad (4.9a)$$

$$0.9 G \pm \Omega_0 E \quad (4.9b)$$

4.2.6.5 – Çapraz, kat kirişi ve kolon enkesitlerinin iç kuvvet kapasiteleri **Denk.(4.2)**'de verilen bağıntılar ile hesaplanacaktır.

4.2.7. Çapraz – Bağ Kirişi Birleşimi

Çaprazların bağ kirişi ile birleşim detayı 4.2.6.2’de belirtilen şekilde hesaplanan arttırılmış iç kuvvetlere göre boyutlandırılacaktır.

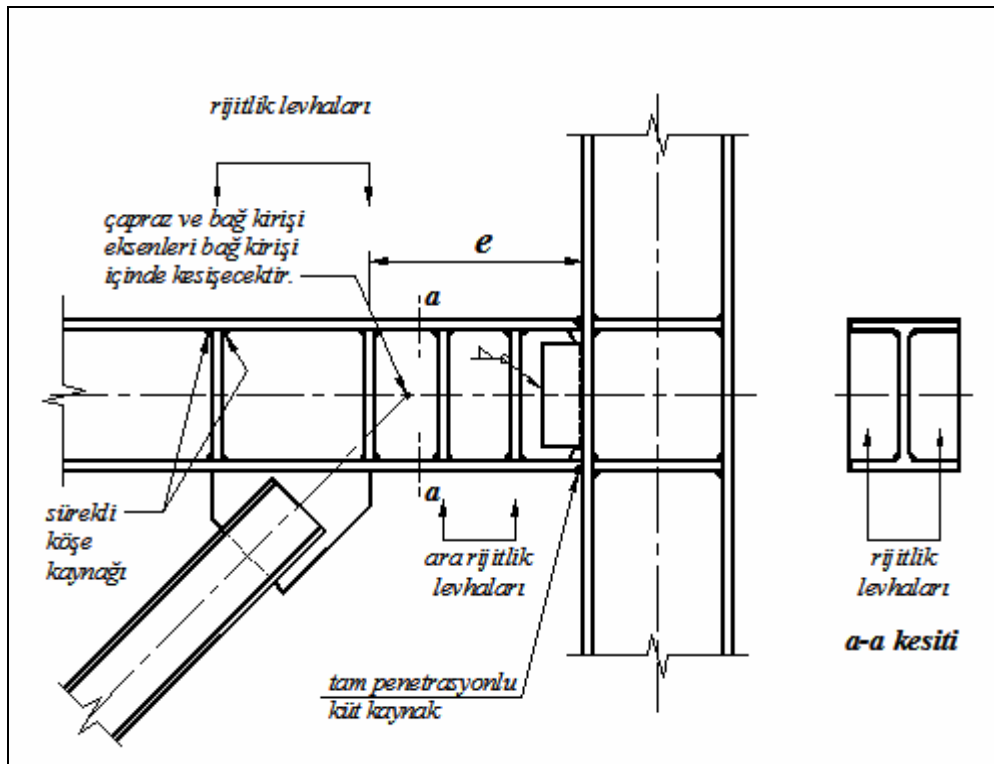
4.2.8. Bağ Kirişi – Kolon Birleşimi

4.2.8.1 – Kolona birleşen bağ kirişinin boyu

$$e \leq 1.6M_p / V_p \quad (4.20)$$

koşulunu sağlayacaktır.

4.2.8.2. Birleşimin kolon yüzündeki gerekli eğilme ve kesme dayanımları, sırasıyla bağ kirişinin M_p eğilme momenti kapasitesinden ve V_p kesme kuvveti kapasitesinden daha az olmayacaktır. Bağ kirişi başlıklarının kolona bağlantısı için tam penetrasyonlu küt kaynak uygulanacaktır. (Şekil 4.8)



Şekil 4.4: Bağ Kirişi Kolon Birleşimi

4.2.9. Kiriş – Kolon Birleşimi

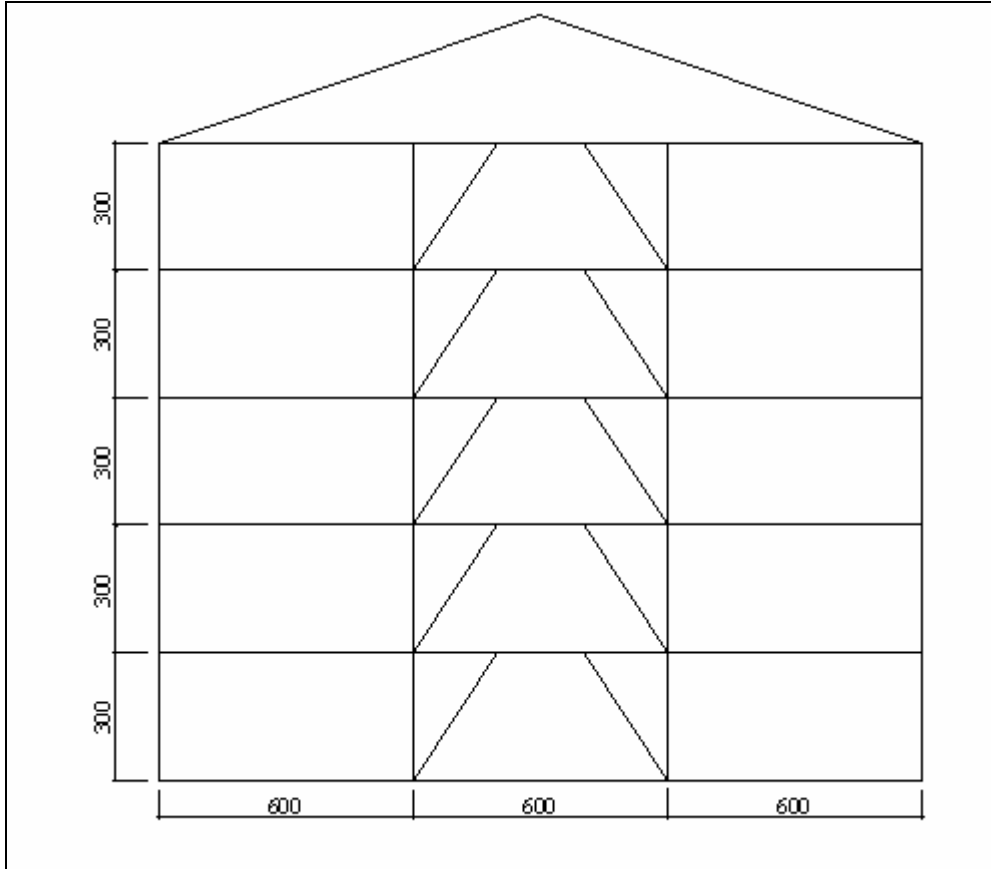
Kat kirişinin bağ kirişi dışında kalan bölümünün kolon ile birleşim detayı kiriş gövde düzlemi içinde mafsallı olarak yapılabilir. Ancak bu bağlantı, kiriş başlıklarının aksenal çekme kapasitesinin 0.01'ine eşit, enine doğrultuda ve ters yönlü kuvvetlerin oluşturduğu burulma momentine göre boyutlandırılacaktır.

5. ÖRNEK BİR YAPININ DIŞMERKEZ ÇAPRAZLI SİSTEMLERLE MODELLENMESİNE AİT SAYISAL İNCELEME

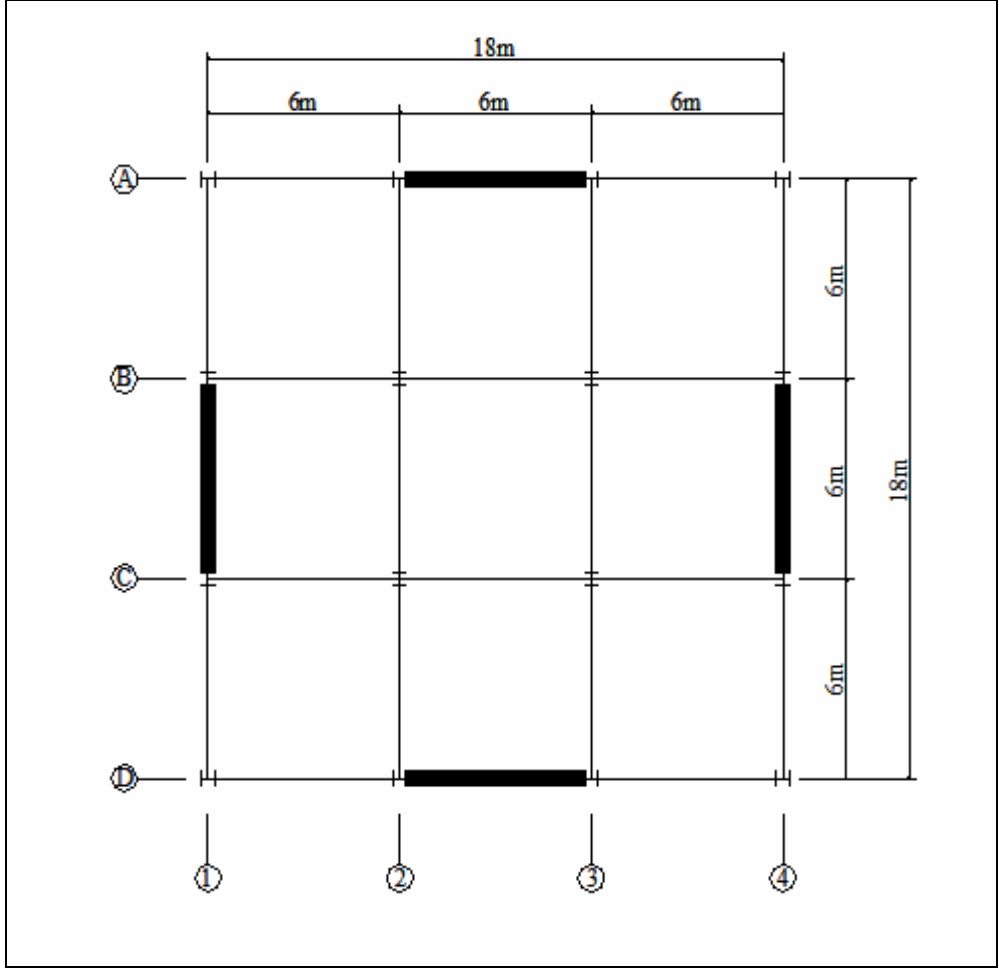
5.1. Giriş

5.1.1. Yapının tanıtılması

Yapı her iki doğrultuda da 18m uzunluğa sahip 5 katlı bir iç kattır. Yapının taban alanı $324m^2$ dir. Kat yüksekliği 3m olup, toplam bina yüksekliği 15m'dir. Yapı her iki doğrultuda simetriktir. Bu nedenle yapı tek yönde çözülecektir. Taşıyıcı sistemde çerçeve aralığı 6m olup, 3 açıklıktan oluşmaktadır. Yapının en kesit görünüşü **Şekil 5.1** 'de gösterilmektedir.



Şekil 5.1: Yapının Enkesit Görünüşü



Şekil 5.2: Sistemin Plan Görünüşü

5.1.2. Deprem Karakteristikleri

Zemin sınıfı	: Z2
Deprem bölgesi	: 1. derece deprem bölgesi
Binanın kullanım amacı	: İşyeri
Etkin yer ivme katsayısı	: $A_0 = 0.40$
Bina önem katsayısı	: $I = 1.00$
Spektrum karakteristik periyotları	: $T_A = 0.15 \text{ sn}$, $T_B = 0.40 \text{ sn}$
Deprem yükü azaltma katsayısı	: $R = 7$ (dışmerkez çelik çaprazlı sistem)
Hareketli yük katılım katsayısı	: $n = 0.30$

5.1.3. Yapıya etkiyen düşey yükler

Çatı katı:

Çatı kaplaması, izolasyon, döşeme, sıva, tesisat vb.	3,5 kN/m ²
Kar yükü [10]	0,75 kN/m
Hareketli yük [10].....	2,0 kN/m ²
Dış duvar yükü(parapet, h = 1,0 m).....	0,75 kN/m ²
Normal katlarda:	
Döşeme, kaplama, izolasyon, duvar, sıva, tesisat vb.	4,5 kN/m ²
Hareketli yük [10].....	5,0 kN/m ²
Dış duvar yükü(h = 3,0 m).....	2,25 kN/m ²

Yapıdaki kolon yerleşimleri neticesinde x yönünde deprem etkisinde, deprem kuvvetlerinin yarısı 1-1 aksına diğer yarısı da 4-4 aksına gelmektedir. 1-1 aksına gelen deprem yüklerinin belirlenmesinde kullanılacak toplam ağırlık:

$$g_1 = g_2 = g_3 = g_4 = 4,5 \times 18 \times 9 + 2,25 \times (18 + 18) = 810,0kN$$

$$q_1 = q_2 = q_3 = q_4 = 5 \times 18 \times 9 = 810kN$$

$$g_5 = (3,5 + 0,30 \times 0,75) \times 18 \times 9 + 0,75 \times (18 + 18) = 630,45kN$$

$$q_5 = (2 + 0,70 \times 0,75) \times 18 \times 9 = 409,05kN$$

5.1.4. D.B.Y.B.H.Y.'de Belirtilen Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi

5.1.4.1. Toplam Eşdeğer Deprem Yükünün Belirlenmesi

Deprem etkileri altında uygulanacak hesap yöntemine ilişkin olarak, Deprem Yönetmeliği **Madde 2.6.2'** ye göre bina yüksekliğinin $H_N = 15m < 40,0 m$ olması ve taşıyıcı sistemde burulma ve yumuşak kat düzensizliklerinin bulunmaması nedeniyle eşdeğer deprem yükü yöntemi uygulanacaktır.

Binanın tümüne, göz önüne alınan deprem doğrultusunda, etkiyen toplam eşdeğer deprem yükü (taban kesme kuvveti), V_t , **Denk.(5.1)**'deki gibi belirlenecektir.

$$V_t = WA(T_1) / R_a(T_1) \geq 0,10A_o IW \quad (5.1)$$

Binanın deprem yüklerinin hesaplanmasında kullanılacak toplam ağırlığı, W , **Denk.(5.2)** ve **Denk.(5.3)** ile belirlenecektir.

$$W = \sum_{i=1}^N w_i \quad (5.2)$$

Tablo 5.1 Hareketli Yük Katılım Katsayısı (n) [11]

Binanın Kullanım Amacı	n
Depo, antrepo, vb.	0,8
Okul, öğrenci yurdu, spor tesisi, sinema, tiyatro, konser salonu, garaj, lokanta, mağaza, vb.	0,6
Konut, işyeri, otel, hastane, vb	0,3

Denk.(5.3)'da yer alan hareketli yük artırım katsayısı, n, **Tablo 5.1**'de verilmiştir. Kar yüklerinin %30'u sabit yük olarak gözönüne alınacaktır. Yapıda kullanılacak olan hareketli yük katılım katsayısı, n, 0,30 alınacaktır.

$$w_i = g_i + nq_i \quad (5.3)$$

$$w_i = g_i + 0,30q_i$$

$$w_1 = w_2 = w_3 = w_4 = 810,0 + 0,30 \times 810 = 1053,0kN$$

$$w_5 = 630,45 + 0,30 \times 409,05 = 753,165kN$$

$$W = \sum_{i=1}^5 w_i = 4 \times 1053,0 + 753,165 = 4965,17kN$$

$$m_1 = m_2 = m_3 = m_4 = 1053,0 / 9,81 = 107,34kg$$

$$m_5 = 753,165 / 9,81 = 76,78kg$$

5.1.4.2. Binanın Birinci Doğal Titreşim Periyodunun Belirlenmesi

Doğal titreşim periyodunu bulunması için Sap 2000 kullanıldı. Bilgisayara kirişlere gelen yükler verildi. Bu yükler:

Çatı katı:

Üçgen yayılı yük:

$$g = 3,50 + 0,30 * 0,75 = 3,775kN / m^2$$

$$q = 2,0 + 0,70 * 0,75 = 2,525kN / m^2$$

Düzgün yayılı yük:

$$0,75kN / m$$

Normal katlar:

$$g = 4,50kN / m^2$$

$$q = 5,0kN / m^2$$

Düzgün yayılı yük:

$$2,25kN / m$$

m_1, m_2, m_3, m_4, m_5 kat ağırlıkları Sap 2000 programında aks ortasına kat kirişleri rijit diyafram yapılarak konulmaktadır. Sistem modal analiz ile çözülerek periyot elde edilmektedir.

5.1.4.3. Dışmerkezi Çelik Çaprazlı Sistemde Bağ Kirişi Uzunluğunun Tayini ve Kullanılacak Çaprazın Belirlenmesi

Eğilme momenti kapasitesi (IPE O 330 Kirişi)

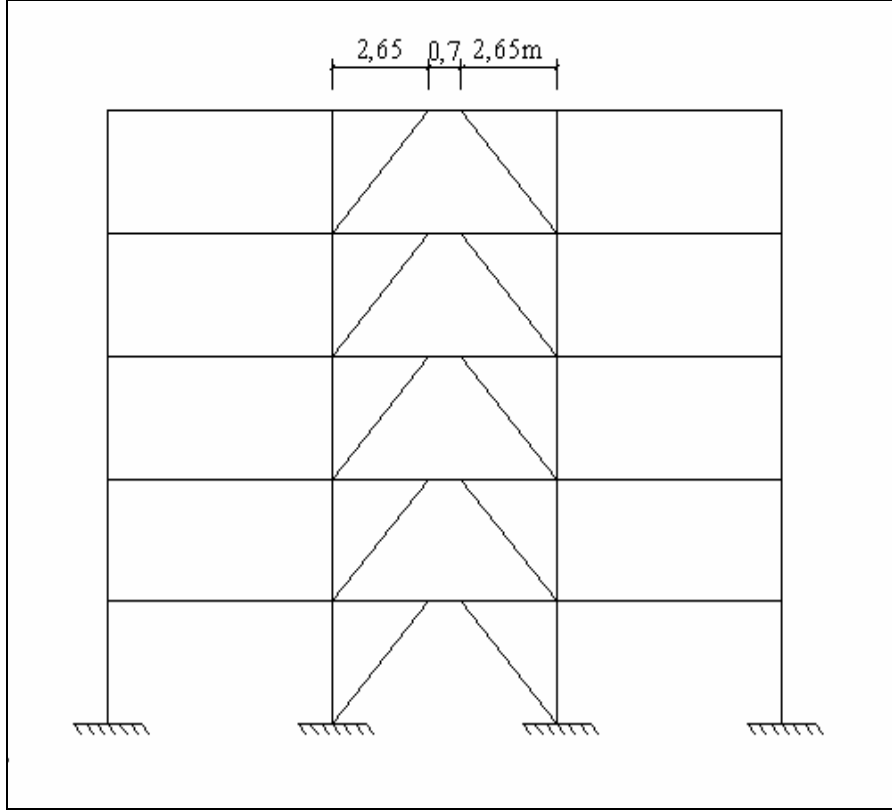
$$M_p = W_p \sigma_a = 942,80 \times 36 = 33940,8kNcm$$

Kesme kuvveti kapasitesi,

$$V_p = 0,60 \sigma_a A_k = 0,60 \times 36 \times (33,4 - 2 \times 1,35) \times 0,92 = 497,34kN$$

$$1,0 \frac{M_p}{V_p} \leq e \leq 5,0 \frac{M_p}{V_p} \Rightarrow 68,24cm \leq e \leq 341,22cm$$

Şekil 5.3'te gösterildiği gibi bağ kirişi uzunluğu 70 cm seçildi.



Şekil 5.3: Dış Merkezi Çapraz Sistemin Görünüşü (e = 70 cm)

5.1.4.4. Elastik Deprem Yüklerinin Tanımlanması

Denk.(5.1)'de verilen $A(T)$ spektral ivme katsayısı, Denk.(5.4)'daki gibi, $S(T)$ spektrum katsayısı Denk.(5.5)'deki gibi hesaplanacaktır.

$$A(T) = A_0 I S(T) \quad (5.4)$$

$$S(T) = 1 + 1,5T / T_A \quad (0 \leq T \leq T_A) \quad (5.5a)$$

$$S(T) = 2,5 \quad (T_A < T \leq T_B) \quad (5.5b)$$

$$S(T) = 2,5(T_B / T)^{0,8} \quad (T_B < T) \quad (5.5c)$$

Tablo 5.2: Etkin Yer İvmesi Katsayısı (A_0) [11]

Deprem Bölgesi	A_0
1	0,40
2	0,30
3	0,20
4	0,10

Tablo 5.3: Spektrum Karakteristik Periyotları (T_A , T_B) [11]

Yerel Zemin Sınıfı	T_A	T_B
	(saniye)	(saniye)
Z1	0,1	0,3
Z2	0,15	0,4
Z3	0,15	0,6
Z4	0,2	0,9

Tablo 5.4: Bina Önem Katsayısı (I) [11]

Binanın Kullanım Amacı ve Türü	(I)
<p>1. Deprem sonrası kullanımı gereken binalar ve tehlikeli maddeler içeren binalar,</p> <p>a) Deprem sonrasında hemen kullanılması gerekli binalar, (Hastaneler, dispanserler, sağlık ocakları, itfaiye bina ve tesisleri, PTT ve diğer haberleşme tesisleri, ulaşım istasyonları ve terminalleri enerji üretim ve dağıtım tesisleri; vilayet, kaymakamlık ve belediye Yönetim binaları, ilk yardım ve afet planlama istasyonları)</p> <p>b) Toksik, patlayıcı, parlayıcı, vb özellikleri olan maddelerin bulunduğu veya depolandığı binalar.</p>	1,5
<p>2. İnsanların uzun süreli ve yoğun olarak bulunduğu ve değerli Eşyanın saklandığı binalar,</p> <p>a) Okullar, diğer eğitim bina ve tesisleri, yurt ve yatakhaneler, askeri kışlalar, cezaevleri, vb.</p> <p>b) Müzeler.</p>	1,4
<p>3. İnsanların kısa süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar, Spor tesisleri, sinema, tiyatro ve konser salonları, vb.</p>	1,2
<p>4. Diğer binalar, Yukarıda tanımlara girmeyen diğer binalar (Konutlar, işyerleri, oteller,bina türü endüstri yapıları, vb.)</p>	1,0

$$T_x = 0,584 \text{ sn}$$

$$S(T) = 2,50 \times \left(\frac{0,40}{0584} \right)^{0,80} = 1,85$$

$$T_A = 0,15 \text{ san} < T_x = 0,584 \text{ san} \Rightarrow R_a(T_1) = R = 7$$

$$I = 1,0$$

$$A_o = 0,40$$

$$A(T) = 0,40 \times 1,0 \times 1,85 = 0,74$$

Tablo 5.5: Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı: (R) [11]

BİNA TAŞIYICI SİSTEMİ	Süneklik	Süneklik
	Düzeyi	Düzeyi
	Normal	Yüksek
	Sistemler	Sistemler
Çelik Binalar		
1) Deprem yüklerinin tamamının çerçevelerle taşındığı binalar	5	8
2) Deprem yüklerinin tamamının; kolonları temelde ankastre, üstte mafsallı tek katlı çerçevelerle taşındığı binalar	-	4
3) Deprem yüklerinin tamamının çaprazlı perdeler veya yerinde dökme betonarme perdeler tarafından taşındığı binalar		
(a) Çaprazların merkezi olması durumu	4	5
(b) Çaprazların dışmerkez olması durumu	-	7
(c) Betonarme perde durumu	4	6
4) Deprem yüklerinin çerçeveler ile birlikte çaprazlı çelik perdeler veya yerinde dökme betonarme perdeler ile birlikte taşındığı binalar		
(a) Çaprazların merkezi olması durumu	5	6
(b) Çaprazların dışmerkez olması durumu	-	8
(c) Betonarme perde durumu	4	7

5.1.4.5. Elastik Deprem Yüklerinin Azaltılması

Depremde taşıyıcı sistemin kendine özgü doğrusal elastik olmayan davranışını gözönüne almak üzere, **D.B.Y.B.H.Y. Tablo 2.4'**te verilen spektral ivme katsayısına göre bulunacak elastik deprem yükleri, aşağıda tanımlanan deprem yükü azaltma katsayısına bölünecektir. Deprem yükü azaltma katsayısı, çeşitli taşıyıcı sistemler için **D.B.Y.B.H.Y. Tablo 2.5'**te tanımlanan taşıyıcı sistem davranış katsayısı, R' ye ve doğal titreşim periyodu, T' ye bağlı olarak **Denk.(5.6)** ile belirlenecektir.

$$R_a(T) = 1,5 + (R - 1,5)T / T_A \quad (0 \leq T \leq T_A) \quad (5.6a)$$

$$R_a(T) = R \quad (T_A < T) \quad (5.6b)$$

5.1.4.6. Katlara Etkiyen Eşdeğer Deprem Yüklerinin Belirlenmesi

Denk. (5.1) ile hesaplanacak olan toplam eşdeğer deprem yükü, bina katlarına etkiyen eşdeğer deprem yüklerinin toplamı olarak **Denk.(5.7)** ile ifade edilir.

$$V_t = \Delta F_N + \sum_{i=1}^N F_i \quad (5.7)$$

Binanın N' inci katına (tepesine) etkiyen ek eşdeğer deprem yükü ΔF_N 'in değeri **Denk.(5.8)** ile belirlenecektir.

$$\Delta F_N = 0,0075NV_t \quad (5.8)$$

Toplam eşdeğer deprem yükünün ΔF_N dışında geri kalan kısmı, N' inci kat dâhil olmak üzere, bina katlarına **Denk.(6.5)** ile dağıtılır.

$$V_t = \frac{4965,17 \times 0,74}{7} = 524,9kN$$

$$\Delta F_N = 0,0075 \times 5 \times 524,9 = 19,68kN$$

Toplam eşdeğer deprem yükünün ΔF_n tepe kuvveti dışında geri kalan, N' inci kat dahil olmak üzere, binanın katlarına **Denklem (5.9)** ile dağıtılacaktır.

$$F_i = (V_t - \Delta F_n) \times \frac{w_i H_i}{\sum_{j=1}^N (w_j H_j)} \quad (5.9)$$

Sisteme Y yönünde deprem etkidiğinde sistem simetrik olduğunda periyot X yönüyle aynı çıkmaktadır. Neticesinde yapıya etkiyecek deprem kuvvetleri eşit çıkmaktadır.

Tablo 5.6: X Yönünde Dışmerkez Çaprazlı Sistemde Katlara Etkiyen Eşdeğer Deprem Yüğü

KAT	W_i (kN)	H_i (m)	$W_i H_i$ (kNm)	$W_i H_i / \sum W_i H_i$	F_i (kN)	V_i (kN)
5	753,17	15	11297,55	0,26	152,77	152,77
4	1053	12	12636	0,29	148,85	301,62
3	1053	9	9477	0,22	111,64	413,26
2	1053	6	6318	0,15	74,43	487,69
1	1053	3	3159	0,07	37,21	524,90
			42887,55	1	524,9	

5.1.5. Deprem Yüklemlerinin Etkime Noktaları

Sisteme Y yönünde deprem etkidiğinde sistem simetrik olduğunda periyot X yönüyle aynı çıkmaktadır. Neticesinde yapıya etkiyecek deprem kuvvetleri eşit çıkmaktadır.

Şekil 5.2 ile gösterilen yapıda burulma düzensizliği bulunmadığından yapıda katlara etkiyen eşdeğer deprem yüklemelerinin, ek dışmerkezlik etkilerinin hesaba katılabilmesi için amacı ile, göz önüne alınan deprem doğrultusuna dik doğrultudaki kat boyutunun $+5\%$ 'i ve -5% 'i kadar kaydırılması ile belirlenen noktalara ve ayrıca kat kütle merkezine uygulanması öngörülmektedir. Sistem simetrik olduğundan tek doğrultuda dışmerkezlik değeri belirlenecektir.

$$e_x = \pm 0,05 \times 18 = 0,90m$$

Tablo 5.7: X Yönünde Katlara Etkiyen Deprem ve Moment Kuvvetleri

KAT	F_x	M_x
5	152,77	137,49
4	148,85	133,97
3	111,64	100,48
2	74,43	66,98
1	37,21	33,49

Yük Bileşimleri:

(a) Düşey yük bileşimleri:	$G + Q$
(b) Düşey yük + deprem bileşimleri:	$G + Q \pm E_{x1} \pm 0,3E_Y$
	$G + Q \pm E_{x2} \pm 0,3E_Y$
	$G + Q \pm E_x \pm 0,3E_{Y1}$
	$G + Q \pm E_x \pm 0,3E_{Y2}$
	$0,9G \pm E_{x1} \pm 0,3E_Y$
	$0,9G \pm E_{x2} \pm 0,3E_Y$
	$0,9G \pm E_x \pm 0,3E_{Y1}$
	$0,9G \pm E_x \pm 0,3E_{Y2}$
(c) Arttırılmış deprem yüklemeleri:	$G + Q + 2,5 E_x$

5.2. Süneklik Düzeyi Yüksek Dışmerkezi Çaprazlı Çerçevenin Boyutlandırılması ($e=70$ cm)

5.2.1. Dışmerkezi Çaprazlı Çerçevenin Elastik Analizi

Şekil 5.3'te seçilen merkezi çaprazlı çerçeve ve Tablo 5.6'da çerçeveye etkiyecek eşdeğer deprem kuvvetleri görülmektedir. Çerçeve elemanlarına etkiyecek düşey yükler ise Bölüm 5.1.3'den alınmaktadır.

5.2.2. Sistemde Seçilen Profiller:

Süneklik düzeyi yüksek dış merkezi çaprazlı sistemde tüm kolonlar HE340B, bağ kirişler IPE O 330, diğer kirişler IPE 270 ve tüm çaprazlar 200x200x10 kare profil olarak seçildi.

5.2.3. Elastik Analiz Sonuçları

Seçilen merkezi çaprazlı çerçevenin elastik analiz sonuçları Sap 2000 programından alınmıştır.

5.2.4. Görelî Kat Ötelemelerinin Kontrolü

Herhangi bir kolon veya perde için, ardışık iki kat arasındaki yerdeğiştirme farkını ifade eden azaltılmış görelî kat ötelemesi, Δ_i , Denk.(5.10) ile ifade edilecektir.

$$\Delta_i = d_i - d_{i-1} \quad (5.10)$$

Denk.(5.10)'de d_i ve d_{i-1} , her bir deprem doğrultusu için binanın i ' inci ve $(i-1)$ 'inci katlarında herhangi bir kolon veya perdenin uçlarında azaltılmış deprem yüklerine göre hesaplanan yatay yer değiştirmeleri göstermektedir.

Her bir deprem doğrultusu için, binanın i ' inci katındaki kolon veya perdeler için etkin görelî kat ötelemesi, δ_i , **Denk.(5.11)** ile ifade edilecektir.

$$\delta_i = R \Delta_i \quad (5.11)$$

Her bir deprem doğrultusu için, binanın herhangi bir i 'inci katındaki kolon veya perdelerde **Denk.(5.13)** ile hesaplanan δ_i etkin görelî kat ötelemelerinin kat içindeki en büyük değeri $(\delta_i)_{\max}$, **Denk.(6.14)**'de verilen koşulu sağlayacaktır.

$$\frac{(\delta_i)_{\max}}{h_i} \leq 0,02 \quad (5.12)$$

Tablo 5.8 : Dış Merkezi Çaprazlı Çerçeve Kat Ötelemeleri

Kat	h_i (cm)	d_{ix} (cm)	Δ_{ix} (cm)	$\delta_{ix} = R\Delta_{ix}$ (cm)	δ_{ix}/h_i
5	300	1,8280	0,2490	1,7430	0,0058
4	300	1,5790	0,3540	2,4780	0,0083
3	300	1,2250	0,4150	2,9050	0,0097
2	300	0,8100	0,4264	2,9848	0,0099
1	300	0,3836	0,3836	2,6852	0,0090

5.2.5. İkinci Mertebe Etkiler

$$\theta_i = \frac{(\Delta_i)_{ort} \sum_{j=i}^N w_j}{V_i h_i} \leq 0,12$$

$$\theta_i = \frac{(0,810 - 0,3836) \times (4965,17 - 1053)}{(524,9 - 37;21) \times 300} \leq 0,12$$

$$\theta_i = 0,011 \leq 0,12$$

(koşulu sağladı)

Tablo 5.9 : Göreli Kat Ötelemelerinin Sınır Değerlere Göre Kontrolü

Kat No	δ_{ix}/ h_i	δ_{ix}/ h_i (max)
5	0,0058	0,02
4	0,0083	0,02
3	0,0097	0,02
2	0,0099	0,02
1	0,0090	0,02

Tablo 5.10: Sisteme Etki Eden Yüklemelerin Elverişsiz Olan Değerleri

ELEMAN	M (kNm)	N (kN)	V (kN)
KOLON	0	1470,44	0
		0,9G+2,5E	
	0	-1825,25	0
		G+Q-2,5E	
ÇAPRAZ	0	501,486	0
		0,9G+E1+0,3E	
	0	-540,77	0
		G+Q-E2-0,3E	
BAĞ KİRİŞİ	-124,728	24,187	345,292
	G+Q+E2+0,3E	G+Q+E2+0,3E	G+Q+E2+0,3E
ÇERÇEVE KİRİŞİ	40,422	0	0
	G+Q		

5.2.6. Bağ Kirişinin Boyutlandırılması

Seçilen kesit: **IPE O 330:**

$$\begin{array}{llll}
 h = 33,4 \text{ cm} & b = 16,2 \text{ cm} & A = 72,62 \text{ cm}^2 & S_x = 471,4 \text{ cm}^3 \\
 t_f = 1,35 \text{ cm} & t_w = 0,85 \text{ cm} & W_x = 833 \text{ cm}^3 & \\
 I_x = 13910 \text{ cm}^4 & i_x = 13,84 \text{ cm} & i_y = 3,64 \text{ cm} & \\
 W_p = 942,8 \text{ cm}^3 & h_i = 30,70 \text{ cm} & F_b = 16,2 * 1,35 = 21,87 \text{ cm}^2 &
 \end{array}$$

Şekil 5.4'te gösterildiği gibi bağ kirişi uzunluğu 70 cm seçildi.

5.2.6.1. Enkesit Koşulları

Süneklik düzeyi yüksek dış merkezi çelik çaprazlı perdelerin kiriş, kolon ve çaprazlarında, başlık genişliği/kalınlığı ve gövde derinliği/kalınlığı oranlarına ilişkin koşullar **Tablo 4.1'**de verilmiştir. Buna göre:

$$\frac{b/2}{t} = \frac{81}{13,5} = 6 \leq 0,30 \times \sqrt{\frac{E_s}{\sigma_a}} = 0,30 \times \sqrt{\frac{210000}{360}} = 7,25 \quad (\text{sınır şartı sağladı})$$

$$\frac{h}{t_w} = \frac{334}{8,5} = 39,3 \leq 3,20 \times \sqrt{\frac{E_s}{\sigma_a}} = 3,20 \times \sqrt{\frac{210000}{360}} = 77,3 \quad (\text{sınır şartı sağladı})$$

Bu koşulları sağlandığından dolayı kiriş enkesitinde yerel burkulmanın oluşmayacaktır.

Bağ kirişlerinin alt üst başlıkları kirişin iki ucunda yanal doğrultuda mesnetli ve yanal doğrultuda mesnetlerin gerekli dayanımı kiriş başlığının aksenal çekme kapasitesinin 0,01'sından az olmayacak şekilde tasarlanmıştır.

Ayrıca Deprem Yönetmeliği **Madde 4.8.3.2.**'ye göre, bağ kiriş dışında kalan kiriş bölümünde

$$0,45 \times b_{bf} \sqrt{\frac{E_s}{\sigma_a}} = 0,45 \times 16,2 \times 24,15 = 176,05 \text{ cm}$$

aralıklarla yanal doğrultuda mesnetlenecektir.

Bu koşulların sağlanabilmesi için, bağ kirişinin iki ucunda 70 cm aralıkla ve bağ kirişi dışında kalan kirişlerin ortalarında 132,5 cm aralıklarla, bağ kirişine dik doğrultuda kirişler oluşturulmuştur.

$$I_r = t_f \frac{b_f^3}{12} = 1,35 \frac{16,2^3}{12} = 478,3 \text{ cm}^4$$

$$F_r = b_f t_f + \left(\frac{d - 2t_f}{2} \times \frac{1}{5} \right) t_w = 16,2 \times 1,35 + \left(\frac{33,4 - 2 \times 1,35}{2} \times \frac{1}{5} \right) \times 0,85 = 24,47 \text{ cm}^2$$

$$r_y = \sqrt{I_y / F_y} = \sqrt{478,3 / 24,47} = 4,42 \text{ cm}$$

$$l_b \leq 0,086 \frac{r_y E_s}{\sigma_a} = 0,086 \times \frac{4,42 \times 2100000}{3600} = 221,73 \text{ cm}$$

$$132,5 \text{ cm} < 221,73 \text{ cm}$$

TS 648 Standardı Madde 3.3.4.2.'ye göre, basınç başlığının dolu ve enkesit alanının çekme başlığı enkesit alanından daha küçük olmaması halinde, basınç emniyet gerilmesi

$$\sigma_B = \frac{840000 \times C_b}{s \times d / F_b} \leq 0,60 \times \sigma_a \quad (5.13)$$

$$\sigma_B = \frac{840000 \times 1}{132,5 \times 360 / 21,87} = 385 \text{ N / mm}^2 \rightarrow \sigma_B = 216 \text{ N / mm}^2$$

elde edildi.

Normal kuvvet ve eğilme momenti için normal gerilme tahkiki yapılacaktır [12]. Betonarme döşeme sistemine sürekli olarak bağlanan kirişte burkulma tahkiki gereksiz olduğundan, normal gerilme, kayma gerilmesi ve asal gerilme

$$\sigma = \frac{M}{W} + \frac{N}{A} = \frac{124,728 \times 10^6}{833 \times 10^3} + \frac{24,187 \times 10^3}{72,62 \times 10^2} = 153,06 < 1,33 \times 216 = 287 = \sigma_{em}$$

$$\tau = \frac{T \times S_x}{I_x \times t_w} = \frac{345,292 \times 471,4 \times 10^6}{13910 \times 10^4 \times 8,5} = 137,6 \text{ N / mm}^2 < 1,33 \times 122 = 162,3 = \tau_{em}$$

$$\sigma_b = \sqrt{153,06^2 + 3 \times 137,6^2} = 283,25 \text{ N / mm}^2 < 0,80 \times 360 = 288 \text{ N / mm}^2 = \sigma_{b,em}$$

bağıntıları ile hesaplanır ve gerilme tahkiklerinin sağlandığı görülmektedir.

5.2.6.2. Bağ Kirişi Tasarım Kesme Kuvveti Kontrolü

IPE O 330 için

V_d bağlantı kirişi tasarım dayanımıdır. deprem Madde 4.8.4'e uygun olarak, bağ kirişinin tasarım kesme kuvveti

$$\frac{N_d}{\sigma_a A} = \frac{24,187 \times 10^3}{360 \times 72,62 \times 10^2} = 0,009 < 0,15$$

için

$$V_d = 345,292 kN \leq V_p = 664,12 kN$$

$$V_d = 345,292 kN \leq \frac{2M_p}{e} = \frac{2 \times 339,4}{0,70} = 969,7 kN$$

koşulunu sağlamaktadır.

5.2.6.3. Bağlantı Kirişi Dönme Açısı Kontrolü

Bağlantı kirişi dönme açısı γ_p , **Şekil 5.3**'te verildiği gibi hesaplanacaktır. Bu denklemde; L kolonlar arası mesafeyi, h kat yüksekliğini, δ kat ötelemesini, e bağ kirişi uzunluğunu göstermektedir.

$$\gamma_p = \frac{L}{e} \theta_p = \frac{L}{e} \frac{\delta}{h} = \frac{600}{70} \times 0,0099 = 0,085 \text{ radyan}$$

$$70 \text{ cm} < 1,6 \frac{M_p}{V_p} = 1,60 \frac{33941}{497,34} = 109 \text{ cm}$$

Bölüm 4.2.4.(a)'da belirtildiği üzere, uzunluğu $e \leq 1,60 M_p / V_p$ olan bağ kirişleri için kiriş dönme açısı $\gamma_p \leq 0,10$ radyan olmalıdır. Bu durumda;

$$\gamma_p = 0,085 \leq 0,10 \text{ radyan}$$

5.2.6.4. Bağlantı Kirişi Rijitleştiricilerinin Boyutlandırılması

Bölüm 4.3.5.' de belirtildiği üzere, tam derinlikli rijitleştiriciler, çapraz çubuklarla bağlantı kirişlerinin birleştiği yerlerde gövdenin her iki tarafında sağlanmalı. Rijitleştiricilerin, toplam genişliği $(b_f - t_w)$ ve gövde levhası yüksekliğinde olacaktır. Kalınlığı da gövde levhası kalınlığının 0,75'inden ve 10 mm' den az olmayacaktır. Burada b_s rijitleştirici genişliği, t_s rijitleştirici et kalınlığı ve h rijitleştirici yüksekliğidir.

$$h = h_{kiriş} - 2t_f$$

$$2b_s = b_f - t_w$$

$$t_s \geq \begin{bmatrix} 0,75t_w \\ 1cm \end{bmatrix}$$

Seçilen rijitleştirici boyutları

$$h = 33,4 - 2 \times 1,35 = 30,70 \text{ cm}$$

$$b_s = \frac{16,2 - 0,85}{2} = 7,67 \text{ cm}$$

$$t_s \geq \begin{bmatrix} 0,75 \times 0,85 \\ 1cm \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,64 \\ 1 \end{bmatrix} \quad t_s = 1 \text{ cm}$$

5.2.6.5. Bağlantı Kirişi Ara Rijitleştiricilerinin Boyutlandırılması

Bölüm 4.8.5.2.(a)' da gösterilen sınırlar arasındaki bağ kirişinde ara rijitlik levhalarının ara mesafeleri doğrusal interpolasyon ile belirlenmektedir. Dönme açısı 0,10 radyan olduğunda $(30t_w - d_b / 5)$, dönme açısı 0,03 radyandan küçük ise $(52t_w - d_b / 5)$ bu değer alınır.

$$a = 30 \times 0,85 - 33,4 / 5 = 18,82 \text{ cm}$$

Şekil 5.4' te görüldüğü gibi bağ kirişin 2 tarafına da birleşimden 18,82 cm uzaklıkta 30,70 cm yükseklikte, 7,67 cm genişlikte ve 1 cm kalınlıkta ara rijitleştiriciler konulacaktır.

5.2.6.6. Bağlantı Kirişi Rijitleştiricilerinin Kaynak Kontrolü

Birleşimde rijitleştiriciyi bağ kirişi gövdesine bağlayan köşe kaynakların $(A_{st} \sigma_y)$ değerindeki kuvveti, bağlantı kirişi başlıklarına bağlayan köşe kaynakların $(A_{st} \sigma_y / 4)$ değerindeki kuvveti aktarabilmelidir.

$$A_{st} = b_s t_s = 7,6 \times 1,0 = 7,60 \text{ cm}^2$$

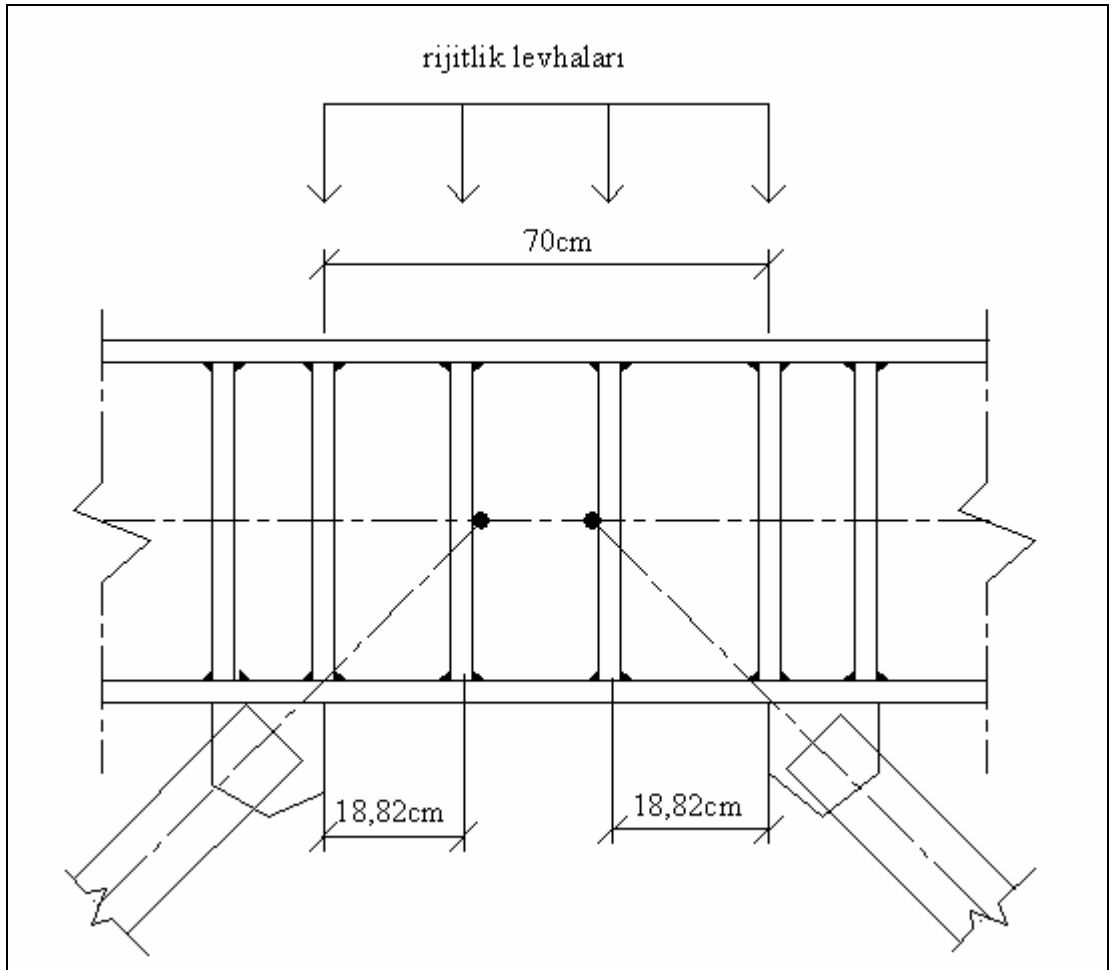
$$A_{st} \sigma_y = 7,60 \times 36 = 273,6 \text{ kN}$$

$$A_{st} \sigma_y / 4 = 273,60 / 4 = 68,4 \text{ kN}$$

$$k = r + t_f = 1,80 + 1,35 = 3,15 \text{ cm}$$

$$k_1 = r = 1,80 \text{ cm}$$

TS 3357 çizelge 5'te ST52 için $\sigma_k = \tau_k = 17,0 \text{ kN/cm}^2$ olarak verilmiştir. Aşağıdaki hesaplamalarda; l kaynak dikişinin hesap boyunu, A_k kaynak alanını göstermektedir.[13]



Şekil 5.4: Bağ kirişi ara rijitlik levhaları ($e = 70 \text{ cm}$)

Kiriş gövdesindeki kaynak:

Seçilen köşe kaynak kalınlığı: $a = 5 \text{ mm}$

$$a < 0,7t_{\min} \Rightarrow t_{\min} = \min(t_w = 0,85\text{cm}, t_s = 1,0\text{cm}) = 0,85\text{cm}$$

$$a = 0,50 \text{ cm} < 0,70 \times 0,85 = 0,60\text{cm}$$

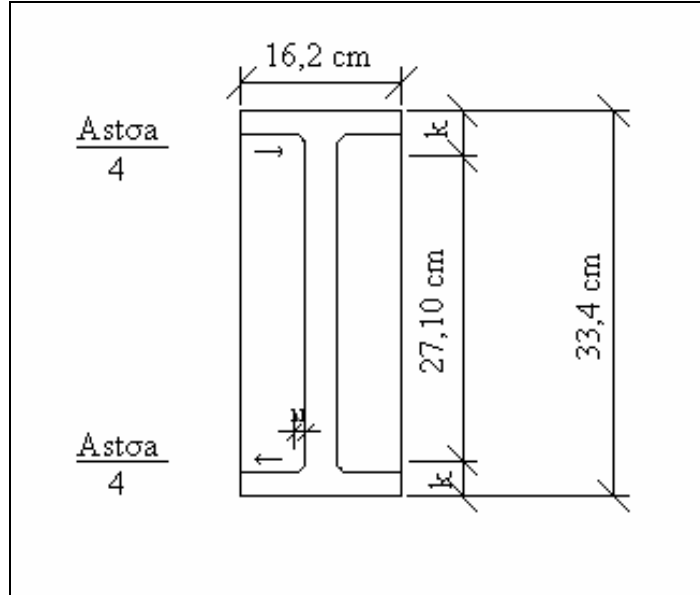
$$l' = d - 2k = 33,4 - 2 \times 3,15 = 27,10 \text{ cm}$$

$$A_k = 2al' = 2 \times 0,50 \times 27,10 = 27,10 \text{ cm}^2$$

$$\tau_k = \frac{A_{st} \sigma_y}{A_k} = \frac{273,6}{27,10} = 10,01 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau_k = 10,01 < 1,7\tau_{em} = 1,70 * 17 = 28,90 \text{ kN/cm}^2$$

(sınır şartı sağladı)



Şekil 5.5: Bağlantı Kirişi Ara Rijitleştiricilerinin Kaynak Kuvvetleri

Kiriş başlığında kaynak:

Seçilen köşe kaynak kalınlığı: $a = 5 \text{ mm}$

$$a < 0,7t_{\min} \Rightarrow t_{\min} = \min(t_f = 1,35\text{cm}, t_s = 1,0\text{cm}) = 1,0\text{cm}$$

$$a = 0,50 \text{ cm} < 0,70 * 1,0 = 0,70 \text{ cm}$$

$$l' = b_s - k_1 = 7,67 - 1,80 = 5,87 \text{ cm}$$

$$Ak = 2 \times a \times l' = 2 \times 0,50 \times 6,34 = 6,34 \text{ cm}$$

$$\tau_k = \frac{A_{st} \sigma_y / 4}{A_k} = \frac{68,4}{6,34} = 10,8 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau_k = 10,8 < 1,7 \tau_{em} = 1,70 * 17 = 28,90 \quad (\text{sınır şartı sağladı})$$

5.2.6.7. Kat Kirişinin Bağ Kirişi Dışında Kalan Bölümünün Kontrolü

Deprem yönetmeliği **Madde 4.8.6.3**, kat kirişin bağ kirişi dışında kalan kiriş bölümünün bağ kirişinin plastikleşmesine neden olan yüklemenin 1.1 Da katından oluşan iç kuvvetlere göre boyutlandırılması gereklidir.

Deprem yönetmeliği **Madde 4.8.6.1**'e göre, bağ kirişinin plastikleşmesine neden olan yüklem, deprem etkilerinden oluşan iç kuvvetlerin, bağ kirişinin kesit sonucu belirlenen

$$\frac{M_p}{M_d} = \frac{339,4}{124,728} = 2,72 \quad \text{ve} \quad \frac{V_p}{V_d} = \frac{497,34}{345,292} = 1,44$$

$$\overline{V_d} = 1,1 \times D_a \times V_p$$

$$\overline{V_d} = 1,1 \times 1,1 \times 1,44 \times 345,292 = 601,6 \text{ kN}$$

$$\overline{M_p} = \frac{601,6 - 4,107}{341,185} \times 120,01 + 4,58 = 214,75 \text{ kNm}$$

$$M_p = 339,4 > 214,75 \text{ kNm}$$

olduğundan kesit eğilme açısından yeterlidir.

5.2.7. Çapraz Elemanın Boyutlandırılması

Seçilen kesit: **200x200x10**

$h = 20 \text{ cm}$	$b = 20 \text{ cm}$	$A = 72,60 \text{ cm}^2$
$t_f = 1 \text{ cm}$	$t_w = 1 \text{ cm}$	$W_x = \text{ cm}^3$
$I_x = 4251 \text{ cm}^4$	$i_x = \text{ cm}$	$i_y = \text{ cm}$
$W_p = 425 \text{ cm}^3$	$h_i = 31,5 \text{ cm}$	$r = 7,65 \text{ cm}$

5.2.7.1. Enkesit Koşulları ve Kapasite Tahkiki

(a) Süneklik düzeyi yüksek dış merkezi çelik çaprazlı perdelerin kiriş, kolon ve çaprazlarında, başlık genişliği/kalınlığı ve gövde derinliği/kalınlığı oranlarına ilişkin koşullar **Tablo 4.1**'de verilmiştir. Çapraz elemanın enkesitinde yerel burkulmasını önlenmesini sağlayan sınır şartlar

$$\frac{b}{t} \leq 0,70\sqrt{E_s/\sigma_a} \Rightarrow \frac{20-2 \times 1}{1} = 18 < 0,70\sqrt{2100000/2400} = 20,7$$

(b) Çaprazların narinlik oranı (çubuk burkulma boyu/atalet yarıçapı) $4,0\sqrt{E_s/\sigma_a}$ sınır değerini aşmayacaktır:

$$L = \sqrt{\left(\frac{L-e}{2}\right)^2 + h^2} = \sqrt{\left(\frac{6-0,70}{2}\right)^2 + 3^2} = 4,003m$$

$$\lambda = \frac{K \times L}{r} = \frac{1 \times 400,3}{7,65} = 52,3 < 4,0 \times 29,58 = 118,32 \quad (\text{sınır şartı sağladı})$$

Narinliğin $\lambda = 52,3$ değeri için TS648 çizelge 8'den bulunan basınç emniyet gerilmesi $\sigma_{bem} = 111,9N/mm^2$ dir. Buna göre, çapraz elemanlarda gerilme kontrolü:

$$\frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{bem}} = \frac{540,77 \times 10^3}{7260 \times 111,9} = 0,665 < 1,33 \quad (\text{sınır şartı sağladı})$$

Çaprazlar ayrıca bağ kirişinin plastikleşmesine neden olan yüklemenin 1,25 Da katından oluşan iç kuvvetlere göre kontrolü yapılmalıdır. Buna göre:

$$\frac{V_p}{V_d} = \frac{497,34}{345,292} = 1,44 < \frac{M_p}{M_d} = 2,72$$

değerinde plastikleşmektedir. Buna göre çapraz elemanların tasarımında dikkate alınacak eksenel basınç kuvveti

$$\overline{N}_p = 1,25 \times 1,2 \times 1,44 \times 515,356 + 25,414 = 1138,6kN$$

Kapasite kontrolü:

$$\frac{\sigma_{eb}}{1,70\sigma_{bem}} = \frac{1138,6 \times 10^3}{1,7 \times 7260 \times 111,9} = 0,82 < 1,0 \quad (\text{sınır şartı sağladı})$$

5.2.8. Kolonun Boyutlandırılması

Seçilen kesit: **HE 340 B:**

$$\begin{array}{lll} h = 34 \text{ cm} & b = 30 \text{ cm} & A = 170,90 \text{ cm}^2 \\ t_f = 21,50 \text{ cm} & t_w = 1,2 \text{ cm} & W_x = 2156 \text{ cm}^3 \\ I_x = 43190 \text{ cm}^4 & i_x = 14,65 \text{ cm} & i_y = 7,53 \text{ cm} \\ W_p = 2408 \text{ cm}^3 & h_i = 29,7 \text{ cm} & r = 27 \text{ mm} \end{array}$$

5.2.8.1. Enkesit Koşulları

Süneklik düzeyi yüksek dış merkezi çelik çaprazlı perdelerin kiriş, kolon ve çaprazlarında, başlık genişliği/kalınlığı ve gövde derinliği/kalınlığı oranlarına ilişkin koşullar **Tablo 6.1**'de verilmiştir. Buna göre:

$$\frac{b/2}{t} \leq 0,3\sqrt{E_s / \sigma_a} \leq 0,3\sqrt{2100000 / 3600} = 7,25$$

$$\frac{b/2}{t} = \frac{15}{2,15} = 6,97 < 7,25 \quad (\text{sınır şartı sağladı})$$

$$\frac{h}{t_w} \leq 3,2\sqrt{E_s / \sigma_a} \leq 3,2\sqrt{2100000 / 3600} = 77,3$$

$$\frac{h}{t_w} = \frac{30}{1,2} = 25 < 77,3 \quad (\text{sınır şartı sağladı})$$

5.2.8.2. Gerilme Kontrolleri

Dış merkezi çaprazlı çerçeve sistemden aktarılan büyük aksenal kuvvetlerin etkisinde olan, buna karşılık eğilme momentleri çok küçük değerler alan bu kolonda, Deprem yönetmeliği **Madde 4.3.1.2** uyarınca

$$1,0 G + 1,0 Q \pm \Omega_0 E$$

$$0,9G \pm \Omega_0 E$$

yüklemeleri için elde edilen aksenal basınç ve çekme kuvvetleri için kesit hesabı daha elverişsiz sonuç vermektedir.

Bu şekilde hesaplanan aksenal basınç ve çekme kuvvetleri

$$N_{G+Q-2E} = -1825,25kN$$

$$N_{G+Q-2E} = 1470,44kN$$

değerlerini almaktadır. Kolon enkesinin aksenal basınç ve çekme kapasiteleri ise

$$N_{bp} = 1.7\sigma_{bem}A$$

$$N_{cp} = \sigma_a A_{net}$$

bağıntıları ile hesaplanacaktır.

$$\lambda_{max} = \frac{Kl}{r} = \frac{300 \times 1}{7,53} = 40$$

$\lambda = 40$ için St 52 çeliğine ait basınç emniyet gerilmesi değeri, TS 648 çizelge-8'de

$\sigma_{bem} = 17,30kN/cm^2$ olarak verilmiştir.

$$N_{bp} = 1.7\sigma_{bem}A = 1,7 \times 17,3 \times 170,9 = 5026,169kN > 1825,25kN$$

$$N_{cp} = \sigma_a A = 36 \times 170,9 = 6152,4kN > 1470,44kN$$

5.2.9. Kiriş-Çapraz, Kolon Çapraz Birleşim Tahkikleri

5.2.9.1. Kiriş Çapraz Birleşim Detayının Tasarlanması

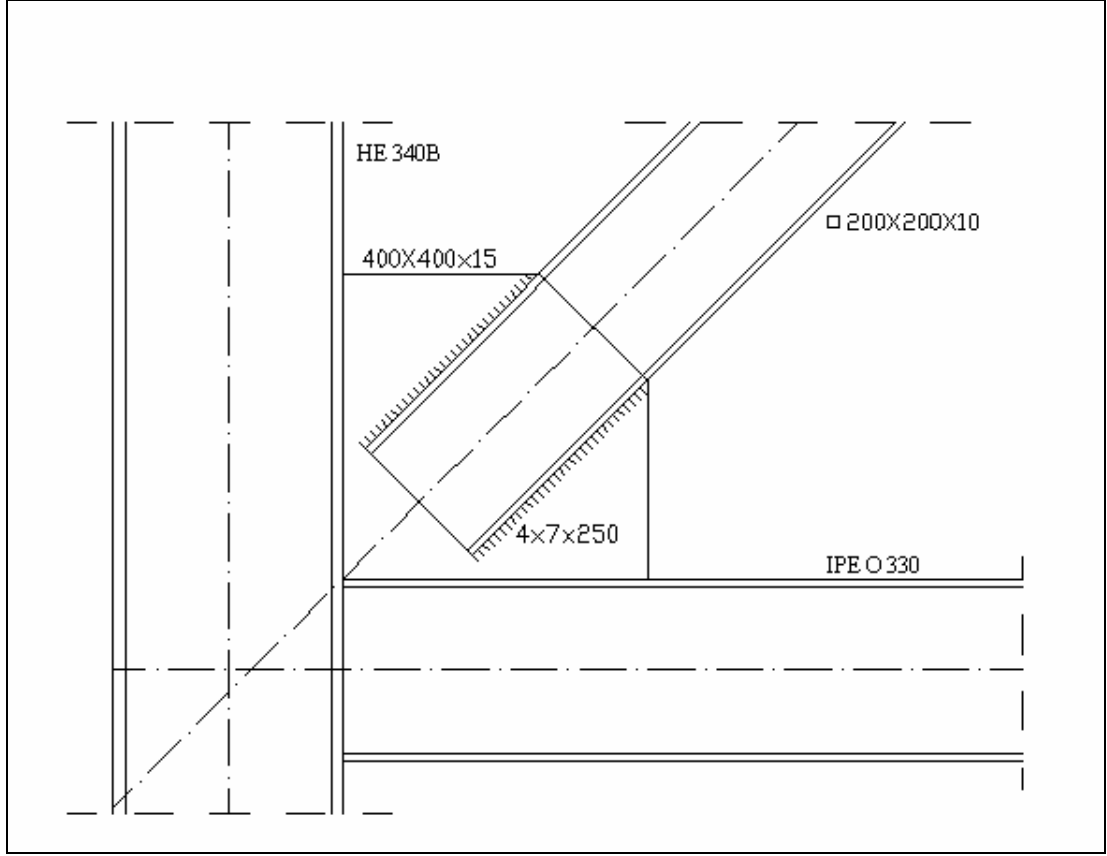
Seçilen düğüm levhası boyutları : $b \times t = 400 \times 15$ mm

Çapraz elemanın düğüm levhasına bağlantısı 4x7-250 köşe kaynağı ile sağlanacaktır.

Artırılmış yükleme sonucu gelen kuvvet: $1,25 \times 1,20 \times 540,772 = 811,16$ kN

5.2.9.1.1. Kaynak Kontrolü

$$\tau = \frac{811,16}{4 \times 0,7 \times (25 - 2 \times 0,7)} = 12,27kN/cm^2 < 1,15 \times 11 = 12,65kN/cm^2$$



Şekil 5.6: Çapraz Kolon Kiriş Birleşim Detayı

5.2.9.1.2. Gerilme Kontrolleri

Çaprazların birleşim detaylarında, düşey yükler ve depremin ortak etkisinden oluşan iç kuvvetler altında gerekli gerilme kontrolleri yapılacaktır. Ayrıca, birleşimin taşıma kapasitesi aşağıda tanımlanan iç kuvvetlerden küçük olanını da sağlayacaktır:

(a) Çaprazın aksenal kuvvet (çekme veya basınç) kapasitesi.

$$N_{cp} = \sigma_a A_{net} = 23,5 \times 72,6 = 1706,1kN$$

$$N_{bp} = 1,7 \sigma_{bem} A = 1,7 \times 11,19 \times 72,6 = 1381,07kN$$

(b) Düğüm noktasına birleşen diğer elemanların kapasitelerine bağlı olarak, söz konusu çaprazı kiriş tarafından aktarılabilecek en büyük aksenal kuvvet. ($\alpha=50^\circ$)

$$N = \frac{23,5 \times 72,62}{0,643} = 2654,1kN$$

(c) Denk.(4.1) ve Denk.(4.2)'de verilen arttırılmış yükleme durumlarından meydana gelen çapraz aksenal kuvveti.

$$N = 881,16kN$$

Bu durumda; kirişle çapraz eleman birleşiminde, çapraz elemanda oluşan $N = 811,16kN$ aksenal kuvvetini aktarabilecek bir boyutlama yapılacaktır.

$$\tau = \frac{811,16 \times 10^3}{4 \times 7 \times (250 - 2 \times 7)} = 122,72N / mm^2 = 1,7 \times 110 = 187kN / cm^2$$

Deprem Yönetmeliği **Madde 4.6.3.3.** 'e uygun olarak, çapraz elemanları düğüm noktalarına birleştiren levhaların düzlemi içindeki eğilme kapasitesi, düğüm noktasına birleşen çubuğun eğilme kapasitesinden daha az olmayacak ve düğüm levhasının düzlem dışına burkulmasını engelleyecek önlemler alınacaktır.

Çapraz elemanın eğilme kapasitesi:

$$M_p = \sigma_a W_p = 24 \times 508 \times 10^{-2} = 121,92kNm$$

Düğüm levhasının eğilme kapasitesi:

$$M_p = \frac{1}{4} \times 1,5 \times 40^2 \times 23,5 \times 10^{-2} = 141kNm > 121,92kNm$$

5.2.9.2. Kiriş Kolon Birleşim Detayının Tasarlanması

$$T = 69,37kN$$

Birleşim detayı 12×250 mm boyutundaki kayma levhası ve 3 adet M 16 bulon kullanılmaktadır.

Bulonlara etki eden kesme kuvveti

$$V = \frac{69,37}{3} = 23,12kN$$

$$N_s = 1,15 \times 1 \times \frac{3,14 \times 1,6^2}{4} \times 14 = 32,35kN$$

$$23,12 < 32,35$$

Kayma levhasının kolona bağlanan kesitinde meydana gelen normal gerilme ve kayma gerilmesi

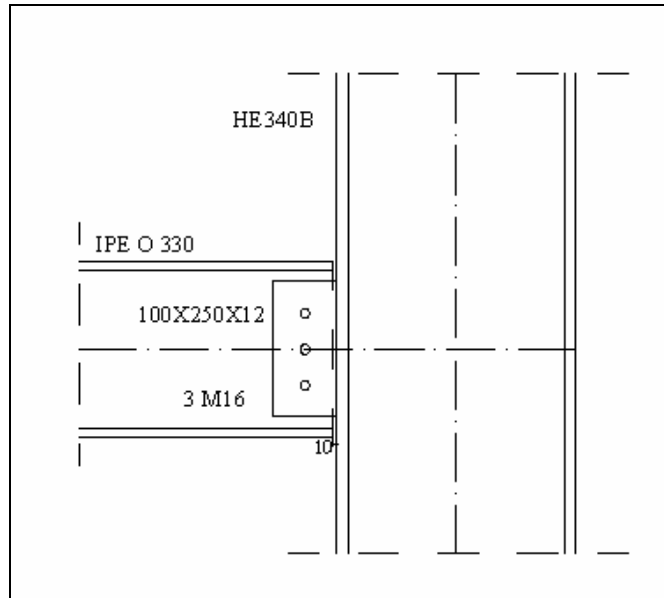
$$M = 69,37 \times 0,05 = 3,47 \text{ kNm}$$

$$\sigma = \frac{M}{W_k} = \frac{3,47 \times 10^6}{\frac{1}{6} \times 12 \times 250^2} = 27,76 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau = \frac{3}{2} \times \frac{69,37 \times 10^3}{12 \times 250} = 34,68 \text{ N/mm}^2$$

Asal gerilme

$$\sigma_b = \sqrt{27,76^2 + 3 \times 34,68^2} = 66,17 \text{ N/mm}^2 < 0,75 \times 235 = 176,3 \text{ N/mm}^2$$



Şekil 5.7: Kiriş Kolon Birleşim Detayı

5.3. Süneklik Düzeyi Yüksek Dışmerkezi Çaprazlı Çerçevenin Boyutlandırılması (e=150 cm)

Bu sistem karşılaştırmak için bağ kirişi mesafesi e = 150 cm olarak seçilerek yeniden çözüldü.

Eğilme momenti kapasitesi (IPE 450 kirişi)

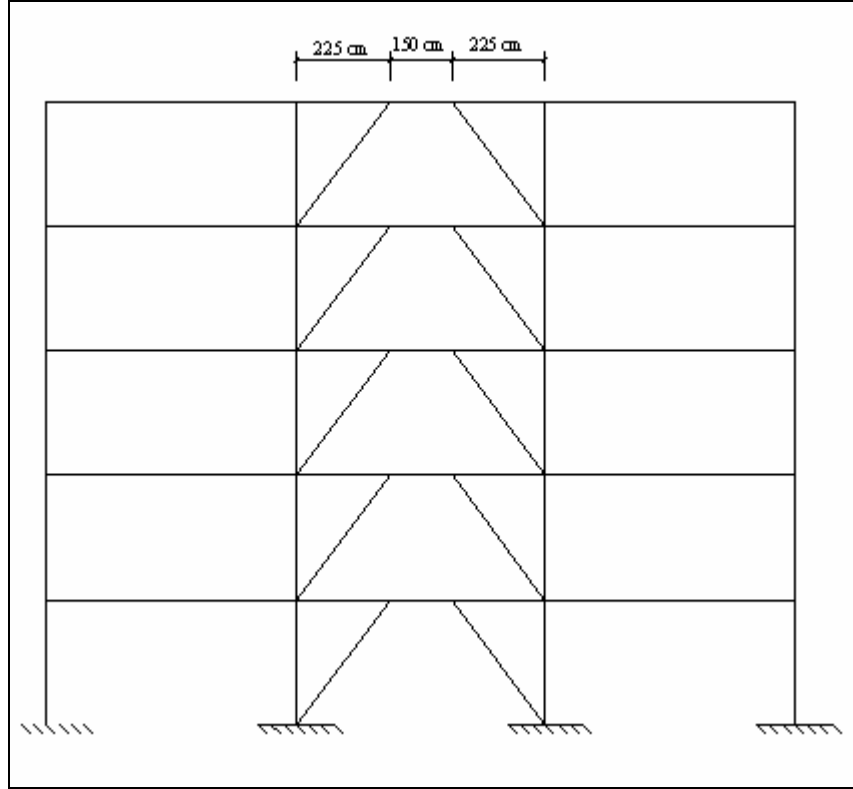
$$M_p = W_p \sigma_a = 1702 \times 36 = 61272 \text{ kNcm}$$

Kesme kuvveti kapasitesi

$$V_p = 0,60\sigma_a A_k = 0,60 \times 36 \times (45 - 2 \times 1,46) \times 0,94 = 854,4 \text{ kN}$$

$$1,0 \frac{M_p}{V_p} \leq e \leq 5,0 \frac{M_p}{V_p} \Rightarrow 71,7 \text{ cm} \leq e = 150 \text{ cm} \leq 358,5 \text{ cm}$$

Şekil 5.8'de gösterildiği gibi bağ kirişi uzunluğu 150 cm seçildi



Şekil 5.8: Dış merkezi çapraz sistemin görünüşü (e = 150 cm)

5.3.1. Eşdeğer Deprem Kuvvetinin Bulunması

$$T_x = 0,64 \text{ sn}$$

$$S(T) = 2,50 \times \left(\frac{0,40}{0,648} \right)^{0,80} = 1,70$$

$$T_A = 0,15 \text{ san} < T_x = 0,648 \text{ san} \Rightarrow R_a(T_1) = R = 7$$

$$I = 1,0$$

$$A_o = 0,40$$

$$A(T) = 0,40 \times 1,0 \times 1,70 = 0,68$$

$$V_t = \frac{4965,17 \times 0,68}{7} = 482,3 \text{ kN}$$

$$\Delta F_N = 0,0075 \times 5 \times 482,3 = 18,08 \text{ kN}$$

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

Tablo 5.11: X Yönünde Dışmerkez Çaprazlı Sistemde Katlara Etkiyen Eşdeğer Deprem Kuvveti

KAT	W _i (kN)	H _i (m)	W _i H _i (kNm)	W _i H _i /ΣW _i H _i	F _i (kN)	V _i (kN)
5	753,17	15	11297,55	0,26	140,37	140,37
4	1053	12	12636	0,29	136,77	277,14
3	1053	9	9477	0,22	102,58	379,72
2	1053	6	6318	0,15	68,39	448,11
1	1053	3	3159	0,07	34,19	482,30
			42887,55	1	482,3	

Sisteme Y yönünde deprem etkidiğinde sistem simetrik olduğunda periyot X yönüyle aynı çıkmaktadır. Neticesinde yapıya etkiyecek deprem kuvvetleri eşit çıkmaktadır.

5.3.2. Deprem Yüklemelerinin Etkime Noktaları:

Şekil 5.2 ile gösterilen yapıda burulma düzensizliği bulunmadığından yapıda katlara etkiyen eşdeğer deprem yüklemelerinin, ek dışmerkezlik etkilerinin hesaba katılabilmesi için amacı ile, göz önüne alınan deprem doğrultusuna dik doğrultudaki kat boyutunun +%5'i ve -%5'i kadar kaydırılması ile belirlenen noktalara ve ayrıca kat kütle merkezine uygulanması öngörülmektedir. Sistem simetrik olduğundan tek doğrultuda dışmerkezlik değeri belirlenecektir.

$$e_x = \pm 0,05 \times 18 = 0,90m$$

Tablo 5.12: X Yönünde Katlara Etkiyen Deprem ve Moment Kuvvetleri

KAT	F _x	M _x
5	140,37	126,33
4	136,77	123,10
3	102,58	92,32
2	68,39	61,55
1	34,19	30,77

Yük Bileşimleri:

- (a) Düşey yük bileşimleri: $G + Q$
- (b) Düşey yük + deprem bileşimleri:
- $$G + Q \pm E_{x1} \pm 0,3E_Y$$
- $$G + Q \pm E_{x2} \pm 0,3E_Y$$
- $$G + Q \pm E_x \pm 0,3E_{Y1}$$
- $$G + Q \pm E_x \pm 0,3E_{Y2}$$
- $$0,9G \pm E_{x1} \pm 0,3E_Y$$
- $$0,9G \pm E_{x2} \pm 0,3E_Y$$
- $$0,9G \pm E_x \pm 0,3E_{Y1}$$
- $$0,9G \pm E_x \pm 0,3E_{Y2}$$
- (c) Arttırılmış deprem yüklemeleri: $G + Q + 2,5 E_x$

5.3.3. Dışmerkezi Çaprazlı Çerçevelerin Elastik Analiz Sonuçları

Şekil 5.6'da seçilen merkezi çaprazlı çerçeve ve Tablo 5.11'de çerçeveye etkiyecek eşdeğer deprem kuvvetleri görülmektedir. Çerçeve elemanlarına etkiyecek düşey yükler ise Bölüm 5.1.3'den alınmaktadır.

5.3.4. Sistemde Seçilen Profiller

Süneklik düzeyi yüksek dış merkezi çaprazlı sistemde tüm kolonlar HE340B, bağ kirişler IPE 450, diğer kirişler IPE 270 ve tüm çaprazlar 250x250x12 kare profil olarak seçildi.

5.3.5. Elastik Analiz Sonuçları

Seçilen merkezi çaprazlı çerçevenin elastik analiz sonuçları Sap 2000 programından alınmıştır.

5.3.6. Göreli Kat Ötelemelerinin Kontrolü

Tablo 5.13 : Dış Merkezi Çaprazlı Çerçeve Kat Ötelemeleri

Kat	h_i (cm)	d_{ix} (cm)	Δ_{ix} (cm)	$\delta_{ix} = R\Delta_{ix}$ (cm)	δ_{ix}/ h_i
5	300	2,2935	0,2794	1,9558	0,0065
4	300	2,0141	0,4272	2,9904	0,0100
3	300	1,5869	0,5197	3,6379	0,0121
2	300	1,0672	0,5516	3,8612	0,0129
1	300	0,5156	0,5156	3,6092	0,0120

Tablo 5.14 : Göreli Kat Ötelemelerinin Sınır Değerlere Göre Kontrolü

Kat No	δ_{ix}/ h_i	δ_{ix}/ h_i (max)
5	0,0065	0,02
4	0,010	0,02
3	0,0121	0,02
2	0,0129	0,02
1	0,0120	0,02

5.3.7. İkinci Mertebe Etkiler:

$$\theta_i = \frac{(\Delta_i)_{ort} \sum_{j=i}^N w_j}{V_i h_i} \leq 0,12$$

$$\theta_i = \frac{(1,0672 - 0,5156) \times (4965,17 - 1053)}{(482,3 - 34,19) \times 300} = 0,016$$

$$\theta_i = 0,016 \leq 0,12$$

(koşulu sağladı)

Tablo 5.15: Sisteme etki eden yüklemelerin elverişsiz olan değerleri

ELEMAN	M (kNm)	N (kN)	V (kN)
KOLON	0	1214,08	0
		0,9G+2,5E	
	0	-1573,878	0
		G+Q-2,5E	
ÇAPRAZ	0	507,417	0
		0,9G+1,3E	
	0	-550,402	0
		G+Q-E2-0,3E	
BAĞ KİRİŞİ	-240,62	-22,223	321,971
	G+Q+E2+0,3E	G+Q+E2+0,3E	G+Q+E2+0,3E
ÇERÇEVE KİRİŞİ	40,422	0	0
	G+Q		

5.3.8. Bağ Kirişinin Boyutlandırılması

Seçilen kesit: **IPE 450:**

$$h = 45,0 \text{ cm} \quad b = 19,0 \text{ cm} \quad A = 98,82 \text{ cm}^2 \quad S_x = 851 \text{ cm}^3$$

$$t_f = 1,46 \text{ cm} \quad t_w = 0,94 \text{ cm} \quad W_x = 1500 \text{ cm}^3$$

$$I_x = 33740 \text{ cm}^4 \quad i_x = 18,48 \text{ cm} \quad i_y = 4,12 \text{ cm}$$

$$W_p = 1702 \text{ cm}^3 \quad h_i = 42,08 \text{ cm} \quad F_b = 19 \times 1,46 = 27,74 \text{ cm}^2$$

Şekil 5.4'te gösterildiği gibi bağ kirişi uzunluğu 150 cm seçildi.

5.3.8.1. Enkesit Koşulları

Süneklik düzeyi yüksek dış merkezi çelik çaprazlı perdelerin kiriş, kolon ve çaprazlarında, başlık genişliği/kalınlığı ve gövde derinliği/kalınlığı oranlarına ilişkin koşullar **Tablo 4.1'**de verilmiştir. Buna göre:

$$\frac{b/2}{t} = \frac{95}{14,6} = 6,5 \leq 0,30 * \sqrt{\frac{E_s}{\sigma_a}} = 0,30 * \sqrt{\frac{210000}{360}} = 7,25 \quad (\text{sınır şartı sağladı})$$

$$\frac{h}{t_w} = \frac{450}{9,4} = 47,8 \leq 3,20 * \sqrt{\frac{E_s}{\sigma_a}} = 3,20 * \sqrt{\frac{210000}{360}} = 77,3 \quad (\text{sınır şartı sağladı})$$

Bu koşulları sağlandığından dolayı kiriş enkesitinde yerel burkulmanın oluşmayacaktır.

Bağ kirişlerinin alt üst başlıkları kirişin iki ucunda yanal doğrultuda mesnetli ve yanal doğrultuda mesnetlerin gerekli dayanımı kiriş başlığının aksenal çekme kapasitesinin 0,01'sından az olmayacak şekilde tasarlanmıştır.

Ayrıca Deprem Yönetmeliği **Madde 4.8.3.2.**'ye göre, bağ kiriş dışında kalan kiriş bölümünde

$$0,45 \times b_{bf} \sqrt{\frac{E_s}{\sigma_a}} = 0,45 \times 19 \times 24,15 = 206,5 \text{ cm}$$

aralıklarla yanal doğrultuda mesnetlenecektir.

Bu koşulların sağlanabilmesi için, bağ kirişinin iki ucunda 150 cm aralıkla ve bağ kirişi dışında kalan kirişlerin ortalarında 112,5 cm aralıklarla, bağ kirişine dik doğrultuda kirişler yerleştirilmiştir..

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

$$F_r = b_f t_f + \left(\frac{d - 2t_f}{2} \times \frac{1}{5} \right) t_w = 19 \times 1,47 + \left(\frac{45 - 2 \times 1,47}{2} \times \frac{1}{5} \right) \times 0,94 = 31,9 \text{ cm}^2$$

$$r_y = \sqrt{I_y / F_y} = \sqrt{834,5 / 31,9} = 5,11 \text{ cm}$$

$$l_b \leq 0,086 \frac{r_y E_s}{\sigma_a} = 0,086 \times \frac{5,11 * 2100000}{3600} = 298,35 \text{ cm}$$

$$112,5 \text{ cm} < 298,35 \text{ cm}$$

TS648 Standardı Madde 3.3.4.2.'ye göre, basınç başlığının dolu ve enkesit alanının çekme başlığı enkesit alanından daha küçük olmaması halinde, basınç emniyet gerilmesi

$$\sigma_B = \frac{840000 \times C_b}{s \times d / F_b} \leq 0,60 \times \sigma_a \quad (5.13)$$

$$\sigma_B = \frac{840000 \times 1}{112,5 \times 360 / 27,74} = 575 \text{ N / mm}^2 \rightarrow \sigma_B = 216 \text{ N / mm}^2$$

elde edildi.

Normal kuvvet ve eğilme momenti için normal gerilme tahkiki yapılacaktır [12]. Betonarme döşeme sistemine sürekli olarak bağlanan kirişte burkulma tahkiki gereksiz olduğundan, normal gerilme, kayma gerilmesi ve asal gerilme

$$\sigma = \frac{M}{W} + \frac{N}{A} = \frac{240,62 \times 10^6}{1500 \times 10^3} + \frac{22,223 \times 10^3}{98,82 \times 10^2} = 162,66 < 1,33 \times 216 = 287 = \sigma_{em}$$

$$\tau = \frac{T \times S_x}{I_x \times t_w} = \frac{321,971 \times 851 \times 10^6}{33740 \times 10^4 \times 9,4} = 86,39 \text{ N / mm}^2 < 1,33 \times 122 = 162,3 = \tau_{em}$$

$$\sigma_b = \sqrt{95,3^2 + 3 \times 57,67^2} = 138,1 \text{ N / mm}^2 < 0,80 \times 360 = 288 \text{ N / mm}^2 = \sigma_{b,em}$$

bağıntıları ile hesaplanır ve gerilme tahkiklerinin sağlandığı görülür.

5.3.8.2. Bağ Kirişi Tasarım Kesme Kuvveti Kontrolü

IPE 450 için

V_d bağlantı kirişi tasarım dayanımıdır. deprem Madde 4.8.4'e uygun olarak, bağ kirişinin tasarım kesme kuvveti

$$\frac{N_d}{\sigma_a A} = \frac{22,223 \times 10^3}{360 \times 98,82 \times 10^2} = 0,006 < 0,15$$

için

$$V_d = 321,971 \text{ kN} \leq V_p = 854,4 \text{ kN}$$

$$V_d = 321,971 \text{ kN} \leq \frac{2M_p}{e} = \frac{2 \times 61272}{150} = 816,96 \text{ kN}$$

koşulunu sağlamaktadır.

5.3.8.3. Bağlantı Kirişi Dönme Açısı Kontrolü

Bağlantı kirişi dönme açısı γ_p , Şekil 5.3'te verildiği gibi hesaplanacaktır. Bu denklemde; L kolonlar arası mesafeyi, h kat yüksekliğini, δ kat ötelemesini, e bağ kirişi uzunluğunu göstermektedir.

$$\gamma_p = \frac{L}{e} \theta_p = \frac{L}{e} \frac{\delta}{h} = \frac{600}{150} \times 0,0129 = 0,0516 \text{ radyan}$$

$$1,6 \frac{M_p}{V_p} = 114,72 \text{ cm} < e = 150 \text{ cm} < 2,6 \frac{M_p}{V_p} = 186,4 \text{ cm}$$

Bölüm 4.2.4.(b)'de belirtildiği üzere, uzunluğu iki sınır değer arasında olduğundan 0,10 ile 0,03 radyan arasında interpolasyon yapılarak $\gamma_p = 0,0655$ radyan olarak belirlendi.

$$\gamma_p = 0,0516 \leq 0,0655 \text{ radyan}$$

5.3.8.4. Bağlantı Kirişi Rijitleştiricilerinin Boyutlandırılması

Bölüm 4.3.5.' de belirtildiği üzere, tam derinlikli rijitleştiriciler, çapraz çubuklarla bağlantı kirişlerinin birleştiği yerlerde gövdenin her iki tarafında sağlanmalı. Rijitleştiricilerin, toplam genişliği $(b_f - t_w)/2$ ve gövde levhası yüksekliğinde olacaktır. Kalınlığı da gövde levhası kalınlığının 0,75'inden ve 10 mm' den az olmayacaktır. Burada b_s rijitleştirici genişliği, t_s rijitleştirici et kalınlığı ve h rijitleştirici yüksekliğidir.

$$h = h_{kiriş} - 2t_f$$

$$b_s = (b_f - t_w)/2$$

$$t_s \geq \begin{bmatrix} 0,75t_w \\ 1 \text{ cm} \end{bmatrix}$$

Seçilen rijitleştirici boyutları

$$h = 45 - 2 \times 1,46 = 42,08 \text{ cm}$$

$$b_s = \frac{19 - 0,94}{2} = 9,03 \text{ cm}$$

$$t_s \geq \begin{bmatrix} 0,75 \times 0,94 \\ 1 \text{ cm} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,705 \\ 1 \end{bmatrix} \quad t_s = 1 \text{ cm}$$

5.3.8.5. Bağlantı Kirişi Ara Rijitleştiricilerinin Boyutlandırılması

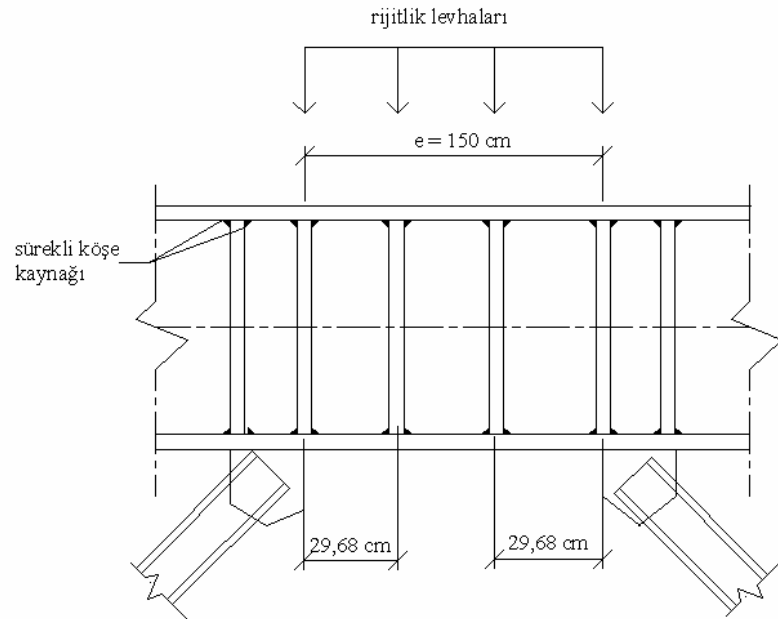
Bölüm 4.8.5.2.(a)' da gösterilen sınırlar arasındaki bağ kirişinde ara rijitlik levhalarının ara mesafeleri doğrusal interpolasyon ile belirlenmektedir. Dönme açısı 0,10 radyan olduğunda ($30t_w - d_b/5$), dönme açısı 0,03 radyandan küçük ise ($52t_w - d_b/5$) bu değer alınır.

$$a_1 = 30 \times 0,94 - 45/5 = 19,2 \text{ cm}$$

$$a_2 = 52 \times 0,94 - 45/5 = 39,88 \text{ cm}$$

$$a = 39,88 - \frac{39,88 - 19,2}{7} \times 3,45 = 29,68 \text{ cm}$$

Bağ kirişin 2 tarafına da birleşimden 29,68 cm uzaklıkta 42,08 cm yükseklikte, 9,03 cm genişlikte ve 1 cm kalınlıkta ara rijitleştiriciler konulacaktır.



Şekil 5.9: Bağ Kirişi Ara Rijitlik Levhaları (e = 150 cm)

Seçilen köşe kaynak kalınlığı: $a = 5 \text{ mm}$

$$a < 0,7t_{\min} \Rightarrow t_{\min} = \min(t_w = 0,94\text{cm}, t_s = 1,0\text{cm}) = 0,94\text{cm}$$

$$a = 0,50 \text{ cm} < 0,70 \times 0,94 = 0,658\text{cm}$$

$$l' = d - 2k = 45,0 - 2 \times 3,56 = 37,88 \text{ cm}$$

$$A_k = 2al' = 2 \times 0,50 \times 37,88 = 37,88 \text{ cm}$$

$$\tau_k = \frac{A_{st} \sigma_y}{A_k} = \frac{325,08}{37,88} = 8,61 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau_k = 8,61 < 1,7\tau_{em} = 1,70 \times 17 = 28,90 \text{ kN/cm}^2 \quad (\text{sınır şartı sağladı})$$

Kiriş başlığında kaynak:

Seçilen köşe kaynak kalınlığı: $a = 5 \text{ mm}$

$$a < 0,7t_{\min} \Rightarrow t_{\min} = \min(t_f = 1,46\text{cm}, t_s = 1,0\text{cm}) = 1,0\text{cm}$$

$$a = 0,50 \text{ cm} < 0,70 * 1,0 = 0,70 \text{ cm}$$

$$l' = b_s - k_1 = 9,03 - 2,1 = 6,93 \text{ cm}$$

$$A_k = 2 \times a \times l' = 2 \times 0,50 \times 6,93 = 6,93 \text{ cm}$$

$$\tau_k = \frac{A_{st} \sigma_y / 4}{A_k} = \frac{81,27}{6,93} = 11,73 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau_k = 11,73 < 1,7\tau_{em} = 1,70 \times 17 = 28,90 \quad (\text{sınır şartı sağladı})$$

5.3.8.7. Kat kirişinin bağ kirişi dışında kalan bölümünün kontrolü

Deprem yönetmeliği **Madde 4.8.6.3**, kat kirişin bağ kirişi dışında kalan kiriş bölümünün bağ kirişinin plastikleşmesine neden olan yüklemenin 1.1 Da katından oluşan iç kuvvetlere göre boyutlandırılması gereklidir.

Deprem yönetmeliği **Madde 4.8.6.1**'e göre, bağ kirişinin plastikleşmesine neden olan yükleme, deprem etkilerinden oluşan iç kuvvetlerin, bağ kirişinin kesit sonucu belirlenen

$$\frac{M_p}{M_d} = \frac{612,72}{240,62} = 2,55 \quad \text{ve} \quad \frac{V_p}{V_d} = \frac{854,4}{321,971} = 2,65$$

$$\overline{V_d} = 1,1 \times D_a \times V_p$$

$$\overline{V_d} = 1,1 \times 1,1 \times 2,55 \times 321,971 = 993,44 \text{ kN}$$

$$\overline{M_p} = \frac{993,44 - 8,5}{313,47} \times 235,12 + 5,5 = 744,3 \text{ kNm}$$

$$M_p = 612,72 > 744,3 \text{ kNm}$$

olduğundan kesit eğilme açısından yetersizdir. Bu nedenle bağ kirişi dışındaki kirişlerin başlıklarına ek takviye levhaları ile güçlendirilmesi gerekmektedir.

5.3.9. Çapraz Elemanın Boyutlandırılması

Seçilen kesit: **250x250x12,5**

$$\begin{aligned} h &= 25 \text{ cm} & b &= 25 \text{ cm} & A &= 112,0 \text{ cm}^2 \\ s &= 1,25 \text{ cm} & W_x &= 813 \text{ cm}^3 & W_p &= 1058 \text{ cm}^3 \\ I_x &= 10161 \text{ cm}^4 & i_x &= 9,52 \text{ cm} \end{aligned}$$

5.3.9.1. Enkesit Koşulları

(a) Süneklik düzeyi yüksek dış merkezi çelik çaprazlı perdelerin kiriş, kolon ve çaprazlarında, başlık genişliği/kalınlığı ve gövde derinliği/kalınlığı oranlarına ilişkin koşullar **Tablo 4.1**'de verilmiştir. Çapraz elemanın enkesitinde yerel burkulmasını önlenmesini sağlayan sınır şartlar

$$\frac{b}{t} \leq 0,70 \sqrt{E_s / \sigma_a} \Rightarrow \frac{25 - 2 \times 1,25}{1,25} = 18 < 0,70 \sqrt{2100000 / 2400} = 20,7$$

(b) Çaprazların narinlik oranı (çubuk burkulma boyu/atalet yarıçapı) $4,0 \sqrt{E_s / \sigma_a}$ sınır değerini aşmayacaktır:

$$L = \sqrt{\left(\frac{L-e}{2}\right)^2 + h^2} = \sqrt{\left(\frac{6-1,50}{2}\right)^2 + 3^2} = 3,75m$$

$$\lambda = \frac{K \times L}{r} = \frac{1 \times 375}{9,52} = 39,4 < 4, \times 29,58 = 118,32 \quad (\text{sınır şartı sağladı})$$

Narinliğin $\lambda = 39,4$ değeri için TS648 çizelge 8'den bulunan basınç emniyet gerilmesi $\sigma_{bem} = 123,1N / mm^2$ dir. Buna göre, çapraz elemanlarda gerilme kontrolü:

$$\frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{bem}} = \frac{550,402 \times 10^3}{11200 \times 123} = 0,399 < 1,33 \quad (\text{sınır şartı sağladı})$$

Çaprazlar ayrıca bağ kirişinin plastikleşmesine neden olan yüklemenin 1,25 Da katından oluşan iç kuvvetlere göre kontrolü yapılmalıdır. Buna göre:

$$\frac{V_p}{V_d} = \frac{854,4}{321,971} = 2,65 > \frac{M_p}{M_d} = \frac{61272}{240,62} = 2,55$$

değerinde plastikleşmektedir. Buna göre çapraz elemanların tasarımında dikkate alınacak eksenel basınç kuvveti

$$\overline{N}_p = 1,25 \times 1,2 \times 2,55 \times 525,13 + 25,27 = 2033,89kN$$

Kapasite kontrolü:

$$\frac{\sigma_{eb}}{1,70\sigma_{bem}} = \frac{2033,89 \times 10^3}{1,7 \times 11200 \times 123} = 0,86 < 1,0 \quad (\text{sınır şartı sağladı})$$

5.3.10. Kolonun Boyutlandırılması

Seçilen kesit: **HE 340 B:**

$h = 34 \text{ cm}$	$b = 30 \text{ cm}$	$A = 170,90 \text{ cm}^2$
$t_f = 21,50 \text{ cm}$	$t_w = 1,2 \text{ cm}$	$W_x = 2156 \text{ cm}^3$
$I_x = 43190 \text{ cm}^4$	$i_x = 14,65 \text{ cm}$	$i_y = 7,53 \text{ cm}$
$W_p = 2408 \text{ cm}^3$	$h_i = 29,7 \text{ cm}$	$r = 27 \text{ mm}$

5.3.10.1. Enkesit Koşulları

Süneklik düzeyi yüksek dış merkezi çelik çaprazlı perdelerin kiriş, kolon ve çaprazlarında, başlık genişliği/kalınlığı ve gövde derinliği/kalınlığı oranlarına ilişkin koşullar **Tablo 6.1**'de verilmiştir. Buna göre:

$$\frac{b/2}{t} \leq 0,3\sqrt{E_s / \sigma_a} \leq 0,3\sqrt{2100000/3600} = 7,25$$

$$\frac{b/2}{t} = \frac{15}{2,2} = 6,81 < 7,25 \quad (\text{sınır şartı sağladı})$$

$$\frac{h}{t_w} \leq 3,2\sqrt{E_s / \sigma_a} \leq 3,2\sqrt{2100000/3600} = 77,3$$

$$\frac{h}{t_w} = \frac{34}{1,2} = 28,3 < 77,3 \quad (\text{sınır şartı sağladı})$$

5.3.10.2. Gerilme Kontrolleri

Dış merkezi çaprazlı çerçeve sistemden aktarılan büyük eksenel kuvvetlerin etkisinde olan, buna karşılık eğilme momentleri çok küçük değerler alan bu kolonda, Deprem yönetmeliği **Madde 4.3.1.2** uyarınca

$$1,0 G + 1,0 Q \pm \Omega_0 E$$

$$0,9G \pm \Omega_0 E$$

yüklemeleri için elde edilen eksenel basınç ve çekme kuvvetleri için kesit hesabı daha elverişsiz sonuç vermektedir.

Bu şekilde hesaplanan eksenel basınç ve çekme kuvvetleri

$$N_{G+Q-2E} = -1573,878kN$$

$$N_{0,9G+2,5E} = 1214,08kN$$

değerlerini almaktadır. Kolon enkesitinin eksenel basınç ve çekme kapasiteleri ise

$$N_{bp} = 1.7\sigma_{bem}A$$

$$N_{cp} = \sigma_a A_{net}$$

bağıntıları ile hesaplanacaktır.

$$\lambda_{max} = \frac{Kl}{r} = \frac{1 \times 300}{7,53} = 40$$

$\lambda = 40$ için St 52 çeliğine ait basınç emniyet gerilmesi değeri, TS 648 çizelge-8'de $\sigma_{bem} = 17,30kN/cm^2$ olarak verilmiştir.

$$N_{bp} = 1.7\sigma_{bem}A = 1,7 \times 17,3 \times 170,90 = 5026,169kN > 1573,878kN$$

$$N_{cp} = \sigma_a A_{net} = 36 * 170,9 = 6152,4kN > 1214,08kN$$

5.3.11. Kiriş-Çapraz, Kolon Çapraz Birleşim Tahkikleri

5.3.11.1. Kiriş Çapraz Birleşim Detayının Tasarlanması

Seçilen düğüm levhası boyutları : $b \times t = 500 \times 18$ mm

Çapraz elemanın düğüm levhasına bağlantısı 4x7-250 köşe kaynağı ile sağlanacaktır.

Artırılmış yükleme sonucu gelen kuvvet: $1,25 \times 1.20 \times 550,4 = 825,6$ kN

5.3.11.1.1. Kaynak Kontrolü

$$\tau = \frac{825,6}{4 \times 0,7 \times (25 - 2 \times 0,7)} = 12,49kN/cm^2 < 1,15 \times 11 = 12,65kN/cm^2$$

5.3.11.1.2. Gerilme Kontrolü

Düğüm noktasına birleşen diğer elemanların kapasitelerine bağlı olarak, söz konusu çapraza kiriş tarafından aktarılabilecek en büyük eksenel kuvvet. ($\alpha=53^\circ$)

$$N = \frac{23,5 \times 180,6}{0,60} = 7073,5kN$$

Denk.(4.1) ve **Denk.(4.2)**'de verilen artırılmış yükleme durumlarından meydana gelen çapraz eksenel kuvveti.

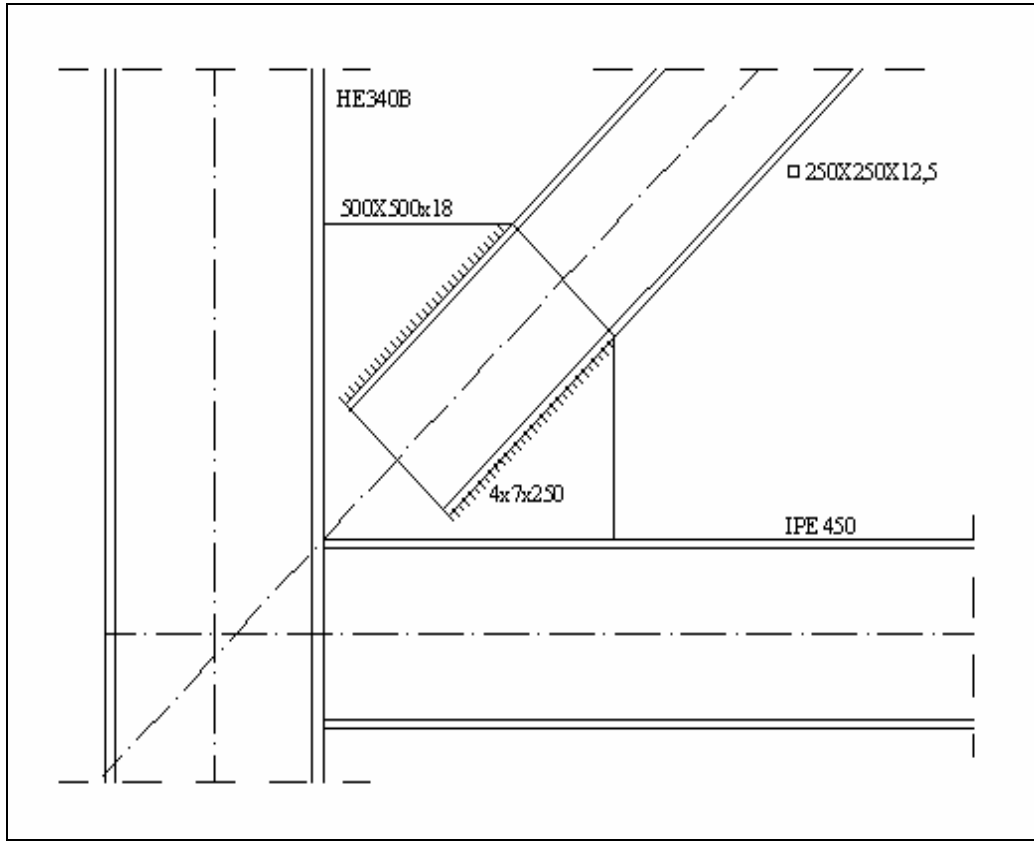
$$N = 825,6kN$$

Bu durumda; kirişle çapraz eleman birleşiminde, çapraz elemanda oluşan $N = 825,6kN$ aksenal kuvvetini aktarabilecek bir boyutlama yapılacaktır.

Bu kuvvetten oluşan bulon kesme kuvveti ve kaynak gerilmesi

$$V = 82,6 < 1,7 \times 280 \times 15 \times 27 \times 10^{-3} = 192,78kN$$

$$\tau = \frac{825,6 \times 10^3}{4 \times 7 \times (250 - 2 \times 7)} = 125N/mm^2 < 1,7 \times 110 = 187kN/cm^2$$



Şekil 5.11: Çapraz Kolon Birleşim Detayı ($e = 150$ cm)

Deprem Yönetmeliği **Madde 4.6.3.3.** 'e uygun olarak, çapraz elemanları düğüm noktalarına birleştiren levhaların düzlemi içindeki eğilme kapasitesi, düğüm noktasına birleşen çubuğun eğilme kapasitesinden daha az olmayacak ve düğüm levhasının düzlem dışına burkulmasını engelleyecek önlemler alınacaktır.

Çapraz elemanın eğilme kapasitesi:

$$M_p = \sigma_a W_p = 24 \times 1058 \times 10^{-2} = 253,9 kNm$$

Düğüm levhasının eğilme kapasitesi:

$$M_p = \frac{1}{4} \times 1,8 \times 50^2 \times 23,5 \times 10^{-2} = 264,4 kNm > 253,9 kNm$$

5.3.11.2. Kiriş Kolon Birleşim Detayının Tasarlanması

$$T_{G+Q+E2+0,3E} = 130,8 kN$$

Birleşim detayı 12×250 mm boyutundaki kayma levhası ve 4 adet M 16 bulon kullanılmaktadır.

Bulonlara etki eden kesme kuvveti

$$V = \frac{130,8}{4} = 32,3 kN$$

$$P_{em} = 1,15 \times 1 \times \frac{3,14 \times 1,6^2}{4} \times 14 = 32,5 kN$$

$$32,3 < 32,5$$

Kayma levhasının kolona bağlanan kesitinde meydana gelen normal gerilme ve kayma gerilmesi

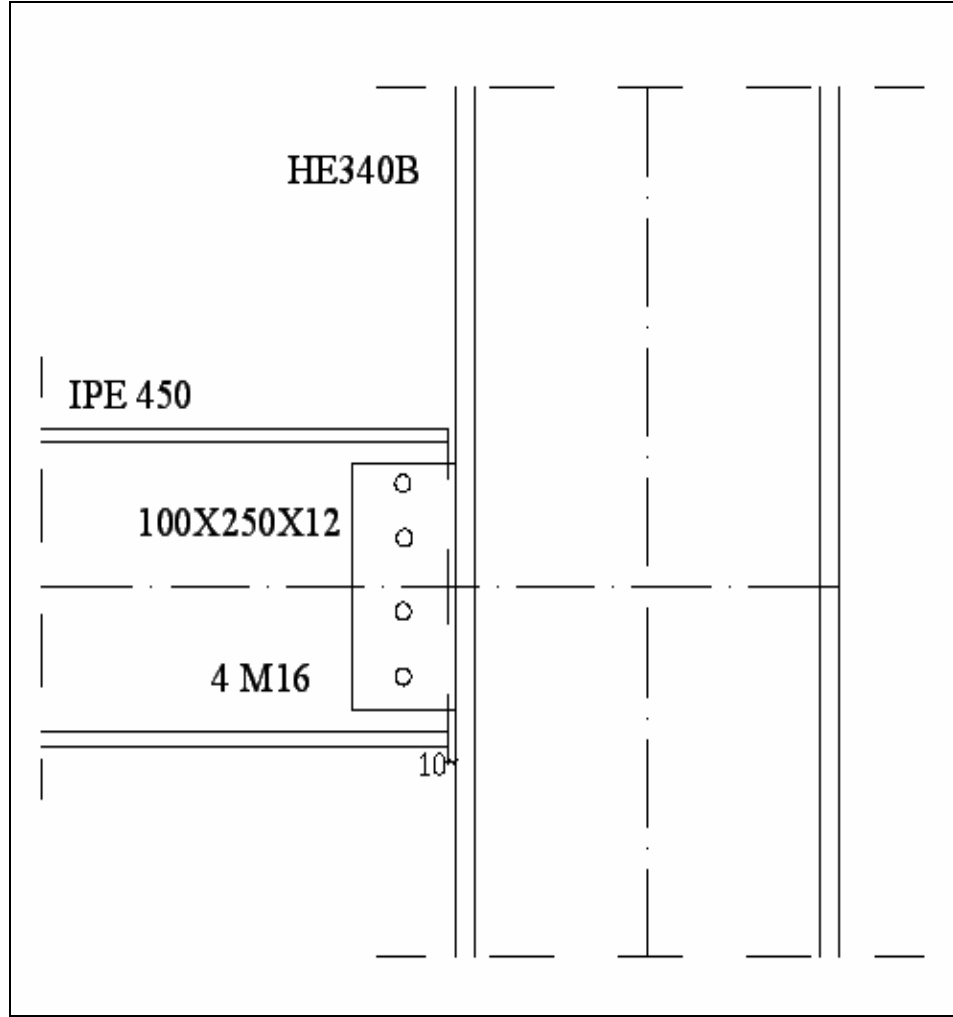
$$M = 130,8 \times 0,05 = 6,54 kNm$$

$$\sigma = \frac{M}{W_k} = \frac{6,54 \times 10^6}{\frac{1}{6} \times 12 \times 250^2} = 52,32 N / mm^2$$

$$\tau = \frac{3}{2} \times \frac{130,8 \times 10^3}{12 \times 250} = 65,4 N / mm^2$$

Asal gerilme

$$\sigma_b = \sqrt{52,32^2 + 3 \times 65,4^2} = 124,8 N / mm^2 < 0,75 \times 235 = 176,3 N / mm^2$$



Şekil 5.12: Kiriş Kolon Birleşim Detayı (e = 150 cm)

6. SONUÇ

Süneklik düzey yüksek dışmerkezi çelik çerçevelerde ilk olarak modelleme için bağ kirişi mesafesinin belirlenmesi gerekmektedir. Bunun için bağ kirişinde kullanılacak profil seçilmelidir. Çünkü bağ kirişi mesafesi, kullanılacak elemanın eğilme moment kapasitesi ve kesme kuvveti kapasitesine bağlı olarak belli bir aralıkta olması gerekir. Ayrıca bu mesafenin büyüklüğü sistemin göçme modunu değiştirmektedir. Sistemde bağ kirişi dışındaki profiller deprem etkisi altında elastik sınırdan kalacağından ekonomik olacak olan küçük kesitler atanır. Bu kesitler, deprem yönetmeliği gereğince belli kontroller yapılarak belirlenir.

Bu parametrelerin bazıları

1. Bağ kirişi boyu
2. Sistemde oluşan görece kat ötelemeleri
3. Profillerin yerel burkulma sınır değerlerini aşmaması
4. Bağ kirişinin dönme açısı kontrolü
5. Bağ kirişinin eğilme momenti kapasitesi
6. Çapraz elemanında kapasite kontrolü

Tablo 5.16 : İki farklı sistemde seçilen profiller

ELEMAN	e = 70cm	e = 150 cm
Bağ Kirişi	IPE O 330	IPE 450
Kiriş	IPE 270	IPE 270
Çapraz	200-200-10	250-250-12,5
Kolon	HE 340B	HE 340B

Bu kontroller sırasında sistemde kullanılan elemanların kesitleri arttırılmıştır. Örneğin bağ kirişi $e \leq 1,6M_p / V_p$ dönme açısı $\gamma_p \leq 0,10$ radyan koşulunu sağlamak için eleman kesitleri IPE330'dan IPEO330'a arttırılmıştır. Ayrıca çaprazlardaki kapasite kontrolünde 150-150-10 kutu profil kapasite kontrolünü sağlamadığından

profil 200-200-10 olarak büyütüldü. 200-200-8 profili yerel burkulma sınır değerinden küçük olduğundan 200-200-10 kutu profili seçildi.

Tablo 5.17: İki farklı sistemde oluşan maksimum tesir değerleri

ELEMEN	e = 70 cm		e = 150 cm	
	Bağ Kirişi	N (kN)	24,187	N (kN)
V (kN)		345,292	V (kN)	321,971
M (kNm)		-124,728	M (kNm)	-240,62
Kiriş	N (kN)	0	N (kN)	0
	V (kN)	0	V (kN)	0
	M (kNm)	40,422	M (kNm)	40,422
Çapraz	N (kN)	-540,77	N (kN)	-550,402
	V (kN)	0	V (kN)	0
	M (kNm)	0	M (kNm)	0
Kolon	N (kN)	-1825,25	N (kN)	-1573,878
	V (kN)	0	V (kN)	0
	M (kNm)	0	M (kNm)	0

Bağ kirişinin plastikleşmesini etkileyen faktör bağ kirişin uzunluğudur. Bağ kirişi uzunluğu akma mekanizmasını ve kırılma modunu kontrol eder. Bağ kirişi uzunluğu kısa olan sistemlerde uç momentler plastik momente ulaşmadan önce bağ kirişi kesme kuvveti kapasitesine ulaşır. Bağ kirişi uzunluğu büyük olan sistemlerde göçme eğilmeden burkulma sonucunda meydana gelir. Görüldüğü üzere sistemde burkulma sadece bağ kirişinde olacaktır. Diğer elemanlar elastik sınırdaki şekil değiştirme yaparak herhangi bir elemanda hasar oluşmayacaktır.

Bağ kirişi uzunluğu 150 cm seçildiğinde, istenilen bağ kirişinin kesmeden değil eğilmeden burkulma oluşmasını sağlamaktır. Sistemi çözerken ilk olarak aynı elemanlar ile boyutlandırma yapıldı. Ancak sistemde $e \geq 2,6M_p/V_p$ dönme açısı $\gamma_p \leq 0,03$ radyan koşulunu sağlamadığından dolayı bağ kirişi elemanı büyütülmüştür. Ancak kesit büyütülürken ister istemez aynı bağ kirişi uzunluğunda dönme açısı sınır değeri seçilen profillerin plastik mukavemet momenti ve kesme kuvvetine bağlı olarak dönme açısı 0,10 radyan ile 0,03 radyan arasında doğrusal interpolasyon ile belirlenmiştir. Ayrıca sistemin eğilmeden göçmesi için de kiriş

boyutu değiştirilmiştir. Bu çalışmalar sonucunda seçilen profil IPE 450'dir. Bu profilin plastik moment ve kesme kuvvetine bağlı olarak sistem $1,6M_p/V_p < e < 2,6M_p/V_p$ arasında kalarak bağ kirişindeki dönme açısı 0,065 radyan ile sınırlandırılmıştır.

Ayrıca çaprazlardaki kapasite kontrolünde 200-200-10 kutu profil kapasite kontrolünü sağlamadığından profil 250-250-12,5 olarak büyütüldü.

İki sistemde de seçilen elemanlardan kolon ile çerçeve kirişler enkesit koşullarına bağlı olarak seçilmiştir. Ancak bağ kirişi ve çapraz elemanlar yukarıda da belirtildiği gibi kapasite kontrollerine bağlı olarak seçilmiştir.

Çalışmaya ek olarak belirtilmesi gereken DBYBHY- 2007 ile AISC-2005 [14] yönetmeliklerinde dışmerkezi çaprazlı çerçeveler hakkındaki kurallar birbirleriyle örtüşmektedir. Bağ kirişi mesafeleri sınır koşulları, davranış modellemelerindeki sınır şartlar ve profil enkesit koşulları aynıdır.

KAYNAKLAR

- [1] **Bruneu, M., Uang C.M. and Whittaker, A.** 1998. Ductile Design of Steel Structures, New York.
- [2] **Celep, Z. ve Kumbasar, N.,** 2004. Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı, Beta Dağıtım, İstanbul.
- [3] **ICBO,** 1994. Uniform Building Code, *International Conference of Building Officials*, California.
- [4] **Engelhardt, M.D. and Popov, E.P.** 1989. On Design of Eccentrically Braced Frames, California.
- [5] **AISC,** 1995. Seismic provisions for structural steel buildings, *American Institute of Steel Construction Inc.*, Chicago.
- [6] **Deren, H., Piroğlu, F. ve Uzgider, E.** 2003. Çelik Yapılar, İstanbul.
- [7] **Kasai, K. and Popov, E. P.** 1986. General behavior of wf steel shear link beams, *Journal of the Structural Division. Vol. 112. ASCE*, February.
- [8] **Whittaker, A., Uang C.M. and Bertero V.V.** 1987. Earthquake simulation tests and associated studies of a six-story eccentrically braced steel structure, *Earthquake Engineering Research Center*, California.
- [9] **LRFD,** 1999. Load and resistance factor design specification for structural steel buildings, *American Institute of Steel Construction Inc.*, Chicago.
- [10] **TS-498,** 1987. Yapı elemanlarının boyutlandırılmasında alınacak yüklerin hesap değerleri, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [11] **DBYBHY,** 2007. Deprem bölgelerinde yapılacak binalar hakkında yönetmelik, *İnşaat Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi*, İstanbul.
- [12] **TS-648,** 1980. Çelik yapıların hesap ve yapım kuralları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [13] **TS-3357,** 1979. Çelik yapılarda kaynaklı birleşimlerin hesap ve yapım kuralları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara
- [14] **AISC,** 2005. Seismic provisions for structural steel buildings, *American Institute of Steel Construction Inc.*, Chicago.

ÖZGEÇMİŞ

Tezi hazırlayan İbrahim SİMUR, 25 Kasım 1980 tarihinde Tunceli’de doğmuştur. İlkokulu Lütfü Banat İlkokulunda, ortaokul ve liseyi Özel Darüşşafaka Lisesinde tamamlamıştır. 1999 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümüne girmeye hak kazanmıştır. 2002 yılında yatay geçiş ile İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümünde devam etmiştir. 2004 yılından sonra özel bir şirkette çalışmaya başlamış ve aynı zamanda İnşaat Mühendisliği Bölümü bünyesindeki Yapı Mühendisliği yüksek lisans programına girmeye hak kazanmıştır.