

**MERKEZİ ÇAPRAZLI ÇELİK ÇERÇEVE
SİSTEMLERİN DBYBH 2007 YÖNETMELİĞİNE
GÖRE TASARIMI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Umut TUNÇEL
(501041115)**

**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 (Yapı Analiz ve Boyutlandırma) yüksek lisans programı bünyesinde gerçekleştirilen bu yüksek lisans tezinde, süreklilik düzeyi yüksek ve normal merkezi çelik çaprazlı çerçeve sistemlerin DBYBHY'e göre tasarımı ve bu yeni deprem yönetmeliğinin AISC 2005'e ile karşılaştırılması yapılmıştır.

Yüksek lisans eğitimi ve tez çalışmalarım esnasında bilgi ve tecrübelerini esirgemeyen, her türlü kaynak ve psikolojik desteği sağlayan danışmanım Doç. Dr. Cavidan YORGUN'a, ilgi ve yardımlarından dolayı tüm Çelik Yapılar Çalışma Grubu öğretim üyelerine teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez çalışmasını, yazım aşamasında her türlü kolaylığı ve desteği sağlayan 1990 İ.T.Ü. İnşaat Mühendisliği Bölümü mezunu sevgili patronum Mehmet Salih SATICI'ya ithaf ederim.

Mayıs 2007

Umut TUNÇEL

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	vii
TABLO LİSTESİ	viii
ŞEKİL LİSTESİ	ix
SEMBOL LİSTESİ	x
ÖZET	xi
SUMMARY	xii
1. GİRİŞ	1
2. SÜNEK MERKEZİ ÇAPRAZLI ÇERÇEVELERİN TASARIMI	3
2.1. Genel	3
2.2. Merkezi Çaprazlı Çerçevelerin Gelişimi	4
2.3. Çevrimsel Eksenel Yük Davranışı	5
2.4. Merkezi Çaprazlı Çerçevelerin Lineer Olmayan Davranışı	8
2.4.1. Genel	8
2.4.2. Çapraz Eleman Narinliği	8
2.4.2.1. Narin Çapraz Elemanlar	9
2.4.2.2. Narin Olmayan Çaprazlar	12
2.4.2.3. Orta Narinlikteki Çaprazlar	12
2.4.3. Çaprazın Uç (sınır) Şartları	12
2.4.4. Kesit Şekli	12
2.4.4.1. Kesit Şekli Verimi	12
2.4.4.2. Tüp Kesitler	13
2.4.4.3. Betonla Doldurulmuş Tüp Kesitli Çaprazlar	14
2.5. Merkezi Çaprazlı Çerçeve Tasarım Felsefesi	14
2.5.1. Merkezi Çaprazlı Çerçevelerin Yanal Rijitliği	16
2.5.2. Merkezi Çaprazlı Çerçevelerin Göçme Mekanizmaları	19
2.5.2.1. Esnek Kiriş Göçme Mekanizması	20
2.5.2.1. Rijit Kiriş Göçme Mekanizması	20
2.5.3. Çaprazlar	22
2.5.4. Bağlantı Elemanları	24
2.5.5. Kolonlar ve Kirişler	25

2.5.5.1. Kolonlar	25
2.5.5.2. Kirişler	25
2.5.6. Geliştirilmiş Ters V-Çaprazlı Konfigürasyonlar	25
3. ÇAPRAZLI ÇERÇEVELER İÇİN AISC TASARIM KURALLARI	27
3.1. Tanım	27
3.2. Elemanlar	27
3.2.1. Narinlik	27
3.2.2. Gerekli Dayanım	27
3.2.3. Yatay Yüklerin Dağılımı	27
3.2.4. Genişlik-Kalınlık Sınırlamaları	28
3.3. Çapraz Birleşimlerinin Gerekli Dayanımı	30
3.3.1. Gerekli Çekme Dayanımı	30
3.3.2. Gerekli Eğilme Dayanımı	30
3.3.3. Gerekli Basınç Dayanımı	31
3.4. Özel Çapraz Düzenleri İçin Ek Koşullar	31
3.4.1. V-Tipi veya Ters V-Tipi Çaprazlar	31
3.4.2. K-Tipi Çaprazlar	31
3.4.3. Kolon Ekleri	31
3.5. Sünelik Düzeyi Normal Merkezi Çaprazlı Çerçeveler	31
3.5.1. Tanım	31
3.5.2. Çapraz Elemanlar	32
3.5.3. Özel Çapraz Düzenleri İçin Ek Koşullar	32
3.5.4. Çapraz Birleşimleri	32
4. MERKEZİ ÇAPRAZLI ÇERÇEVELER İÇİN DBYBHY TASARIM KURALLARI	34
4.1. Merkezi Çelik Çaprazlı Perdeler	34
4.2. Sünelik Düzeyi Yüksek Merkezi Çelik Çaprazlı Perdeler	34
4.2.1. Enkesit Koşulları	35
4.2.2. Yatay Yüklerin Dağılımı	35
4.2.3. Çaprazların Birleşimleri	35
4.2.4. Özel Çapraz Düzenleri İçin Ek Koşullar	37
4.2.5. Kolon Ekleri	38
4.3. Sünelik Düzeyi Normal Merkezi Çelik Çaprazlı Perdeler	38
4.3.1. Enkesit Koşulları	38
4.3.2. Çaprazların Birleşimleri	39

4.3.3. Özel Çapraz Düzenleri İçin Ek Koşullar	40
5. ÖRNEK BİR YAPININ MERKEZİ ÇAPRAZLI ÇERÇEVE SİSTEMLERLE MODELLENMESİNE AİT SAYISAL İNCELEME	41
5.1. Giriş	41
5.1.1. Yapının Tanıtılması	41
5.1.2. Yapıya Etkiyen Düşey Yükler	42
5.1.3. Deprem Karakteristikleri	42
5.1.4. Düzensizliklerin Kontrolü	43
5.1.5. D.B.Y.B.H.Y.'De Belirtilen Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi	43
5.1.5.1. Binanın Birinci Doğal Titreşim Periyodunun Belirlenmesi	43
5.1.5.2. Toplam Eşdeğer Deprem Yükünün Belirlenmesi	45
5.1.5.2.1. Elastik Deprem Yüklerinin Tanıtılması	46
5.1.5.2.2. Elastik Deprem Yüklerinin Azaltılması	47
5.1.5.3. Katlara Etkiyen Eşdeğer Deprem Yüklerinin Belirlenmesi	49
5.1.6. Deprem Yüklerin Etkime Noktası	50
5.1.7. Yük Bileşimleri	51
5.2. Süneklik Düzeyi Yüksek Merkezi Çaprazlı Çerçevenin Boyutlandırılması	51
5.2.1. Merkezi Çaprazlı Çerçevenin Elastik Analizi	51
5.2.2. Sistemde seçilen profiller	52
5.2.3. Elastik analiz sonuçları	52
5.2.4. Göreli kat ötelemelerinin kontrolü	52
5.2.5. İkinci mertebe etkiler	53
5.2.6. Çapraz Elemanın Boyutlandırılması	55
5.2.6.1. Enkesit koşulları	55
5.2.6.2. Çapraz İçin Gereken Gerilme Kontrolleri	56
5.2.7. Kirişin Boyutlandırılması	56
5.2.7.1. Enkesit koşulları	57
5.2.7.2. Kiriş İçin Gereken Gerilme Kontrolleri	57
5.2.8. Kolonun Boyutlandırılması	59
5.2.8.1. Enkesit koşulları	60
5.2.8.2. Kolon İçin Gereken Gerilme Kontrolleri	60
5.2.9. Çapraz – Kiriş, Kolon Birleşim Tahkikleri	61
5.2.10. Kiriş-Kolon Birleşimi	63

5.3. Süneklik Düzeyi Normal Merkezi Çaprazlı Çerçevenin Boyutlandırılması	64
5.3.1. Merkezi Çaprazlı Çerçevenin Elastik Analizi	64
5.3.2. Sistemde seçilen profiller	64
5.3.3. Elastik analiz sonuçları	65
5.3.4. Göreli kat ötelemelerinin kontrolü	65
5.3.5. İkinci mertebe etkiler	66
5.3.6. Çapraz Elemanın Boyutlandırılması	67
5.3.6.1. Enkesit koşulları	68
5.3.6.2. Çapraz İçin Gereken Gerilme Kontrolleri	68
5.3.7. Kirişin Boyutlandırılması	69
5.3.7.1. Enkesit koşulları	69
5.3.7.2. Kiriş İçin Gereken Gerilme Kontrolleri	69
5.3.8. Kolonun Boyutlandırılması	72
5.3.8.1. Enkesit koşulları	72
5.3.8.2. Kolon İçin Gereken Gerilme Kontrolleri	73
5.3.9. Çapraz – Kiriş, Kolon Birleşim Tahkikleri	74
5.3.10. Kiriş-Kolon Birleşimi	75
6. SONUÇLAR	77
KAYNAKLAR	81
ÖZGEÇMİŞ	83

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 İçin Genişlik-Kalınlık Oranları Sınır Değerleri.....	28
Tablo 3.1b. Rijitleştirilmiş Basınç Elemanları İçin Genişlik-Kalınlık Oranları Sınır Değerleri.....	29
Tablo 4.1. Enkesit Koşulları.....	36
Tablo 4.2. Büyütme Katsayıları.....	39
Tablo 5.1. Hareketli Yük Katılım Katsayısı (n).....	43
Tablo 5.2. Etkin Yer İvmesi Katsayısı (A_0).....	46
Tablo 5.3. Bina Önem Katsayısı (I).....	47
Tablo 5.4. Spektrum Karakteristik Periyotları (T_A, T_B).....	47
Tablo 5.5. Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı (R).....	48
Tablo 5.6. Süneklik Düzeyi Yüksek Merkezi Çaprazlı Sistem Deprem Kuvvetleri	50
Tablo 5.7. Süneklik Düzeyi Normal Merkezi Çaprazlı Sistem Deprem Kuvvetleri	51
Tablo 5.8. Süneklik Düzeyi Yüksek Sistem İçin Maksimum Yükler ve Yük Kombinasyonları.....	53
Tablo 5.9. Süneklik Düzeyi Yüksek Merkezi Çaprazlı Çerçeve Sistem İçin Kat Ötelemeleri.....	54
Tablo 5.10. Süneklik Düzeyi Yüksek Sistem İçin Göreli Kat Ötelemelerinin Sınır Değerlere Göre Kontrolü.....	54
Tablo 5.11. Süneklik Düzeyi Normal Sistem İçin Maksimum Yükler ve Yük Kombinasyonları.....	65
Tablo 5.12. Süneklik Düzeyi Normal Merkezi Çaprazlı Çerçeve Sistem İçin Kat Ötelemeleri.....	66
Tablo 5.13. Süneklik Düzeyi Normal Sistem İçin Göreli Kat Ötelemelerinin Sınır Değerlere Göre Kontrolü	66
Tablo 5.14. Merkezi Çaprazlı Çerçeve Sistem Eleman Profilleri.....	78
Tablo 5.15. Merkezi Çaprazlı Çerçeve Sistem Eleman Kesit Tesirleri.....	79

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1	: Merkezi Çaprazlı Çerçeve Türleri..... 3
Şekil 2.2	: Narin X – Çaprazlı Çerçeve Histerisi..... 5
Şekil 2.3	: Çevrimsel Eksenel Yükleme Altındaki Bir Çaprazın Örnek Histerisi..... 6
Şekil 2.4	: Farklı Narinliğe Sahip Çapraz Histerileri..... 10
Şekil 2.5	: Narin Bir Çaprazın Histerik Davranışı..... 10
Şekil 2.6	: Narin Çaprazda Kuvvet-Yerdeğiştirme İlişkisi..... 11
Şekil 2.7	: Orta Narinlikteki Bir Çaprazın Histerik Davranışı..... 13
Şekil 2.8	: Tüp Kesitli Çelik Çaprazların Plastik Mafsal Bölgesindeki Burkulma Kesitleri..... 15
Şekil 2.9	: Çaprazlarda İdeal Histerik Davranış..... 16
Şekil 2.10	: Merkezi Ters-V Çaprazlı Çerçeve Geometrisi ve Kinematığı..... 17
Şekil 2.11	: İdealleştirilmiş Eksenel Kuvvet-Eksenel Yerdeğiştirme..... 19
Şekil 2.12	: Esnek Kirişli Merkezi Ters-V Çaprazlı Çerçevelerde Kuvvet - Yerdeğiştirme İlişkisi 21
Şekil 2.13	: Rijit Kirişli Merkezi Ters-V Çaprazlı Çerçevelerde Kuvvet – Yerdeğiştirme İlişkisi..... 23
Şekil 4.1	: Merkezi Çelik Çaprazlı Perdeler..... 34
Şekil 5.1	: Yapının Plan Görünüşü..... 41
Şekil 5.2	: Yapının Enkesit Görünüşü..... 42
Şekil 5.3	: Katlardaki Fiktif Yatay Kuvvetler..... 47
Şekil 5.4	: Merkezi Çaprazlı Çerçevenin Görünüşü..... 52
Şekil 5.5	: Süneklik Düzeyi Yüksek Sistem İçin Çapraz – Kiriş, Kolon Birleşim Detayı..... 61
Şekil 5.6	: Süneklik Düzeyi Yüksek Sistem İçin Kolon – Kiriş Birleşim Detayı..... 63
Şekil 5.7	: Süneklik Düzeyi Normal Sistem İçin Çapraz – Kiriş, Kolon Birleşim Detayı..... 74
Şekil 5.8	: Süneklik Düzeyi Normal Sistem İçin Kolon – Kiriş Birleşim Detayı..... 76

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_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 ($E = 2,1 \cdot 10^6 \text{ kg/cm}^2$)
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)
Pa	: Gerekli basınç dayanımı (ASD)
Pu	: 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
Ω_0	: 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 sunulan bu çalışmada, merkezi çaprazlı çerçeve sistemler tanımlanmış, bu çerçeve sistemlerin AISC (American Institute of Steel Construction) ve DBYBHY'e (Deprem Bölgelerinde Yapılan Binalar Hakkında Yönetmelik) göre süneklik düzeyini belirleyen tasarım kurallarından bahsedilmiş ve DBYBHY'deki tasarım kurallarına bağlı olarak örnek bir yapının süneklik düzeyi yüksek ve süneklik düzeyi normal olarak boyutlandırılması yapılmıştır.

Altı bölümden oluşan çalışmanın ilk bölümü merkezi çaprazlı çerçeve sistemlere genel bir bakış, merkezi çaprazlı çerçeve sistemlerin gelişimi ve tezin sunulmasında izlenecek yolu kapsar.

İkinci bölümde; merkezi çaprazlı çerçevelerin tanımları, merkezi çaprazlı çerçeve türleri, çevrimsel yükleme altındaki davranışları ve süneklik düzeyleri tanımlanmıştır.

Üçüncü bölümde; AISC'ye (American Institute of Steel Construction – 2005) göre merkezi çaprazlı çerçevelerin süneklik düzeyini belirleyen tasarım kuralları verilmiştir.

Dördüncü bölümde; DBYBHY'e (Deprem Bölgelerinde Yapılan Binalar Hakkında Yönetmelik – 2007) göre merkezi çaprazlı çerçevelerin süneklik düzeyi yüksek ve süneklik düzeyi normal olarak boyutlandırılmasına ilişkin tasarım kuralları verilmiştir.

Beşinci bölümde; beş katlı örnek bir yapının tasarımı, süneklik düzeyi yüksek ve normal olarak yapılmıştır. Yapısal analiz SAP 2000 bilgisayar programı kullanılarak yapılmıştır. Süneklik düzeyi yüksek ve süneklik düzeyi normal olarak tasarlanan her iki sistem için de çapraz elemanlar V ve ters V çaprazlı konfigürasyonlar olarak seçilmiştir.

Son bölümde; çalışmanın ana özellikleri, deprem yönetmeliğinin irdelenmesi ve sayısal incelemeden elde edilen sonuçlar açıklanmıştır.

SUMMARY

In this study, which is presented as a Master of Science Thesis, concentrically braced steel frames are defined, design rules for determining the ductility level of concentrically braced steel frame structures are given with regard to AISC (American Institute of Steel Construction) – seismic provisions for structural steel buildings and DBYBHY (Specification for Structures to be Built in Earthquake Region) and The design of specially and ordinary concentrically braced frames for a sample building are examined by the rules of DBYBHY.

The first chapter of the study, which is composed of six chapters, cover a general knowledge about concentrically braced steel frames.

In the second chapter, concentrically braced steel frames are defined and bracing types, cyclic behaviours and ductility levels are described.

In the third chapter, design rules for determining the ductility level of concentrically braced steel frames are given for AISC 2005 (American Institute of Steel Construction).

In the fourth chapter, design rules for determining the ductility level of concentrically braced steel frames are given for DBYBHY 2007 (Specification for Structures to be Built in Earthquake Region).

In the fifth chapter, a sample steel building with 5 stories are designed with concentrically braced steel frames. The structural analysis of the building is performed by using SAP 2000 computer program.

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

1. GİRİŞ

Çelik çaprazlı çerçeveler yapılarda ilk olarak rüzgar yüküne karşı dayanım sağlamak amacıyla kullanılmaya başlanmıştır. İlk uygulamalar 19. yüzyılda köprüler ve endüstriyel yapılarda gerçekleştirildi.

Çaprazlar esas olarak çerçeve sistemdeki her bir çubuk elemanın üzerinde oluşan büyük eksenel kuvvetin meydana getirdiği yanal kuvvetlere karşı dayanım sağlarlar. Moment dayanımlı birleşimlerde çapraz eleman üzerine empoze edilen yanal yükün sadece küçük bir kısmı eğilme tarafından karşılanır. Çaprazlı çerçeveler ilk uygulamalarda X-çaprazlı ve sadece çekme kuvvetine çalışan çapraz elemanlardan oluşan çerçeve konfigürasyonları olarak kullanıldılar. Ayrıca bu çapraz elemanlar yangına karşı dayanım sağlamak amacıyla beton ile kaplanmışlardır.

1960’larda ve 1970’lerde bu çaprazlı çerçeveler detaylı sismik düzenlemelerle birlikte geliştirildiler. Bu tarz çerçeve sistemler özellikle depremin sıkça görüldüğü bölgelerde deprem esnasındaki şiddetli atalet kuvvetleri yüzünden oluşan çubuk eleman uç dönmelerini kontrol ettiği için kısa zamanda büyük bir popülerite kazanmıştır. Çaprazlı çerçeve sistemlerin diğer bir avantajı da Amerika’daki 1970 San Fernando depreminde farkedilmiştir.

Bu tez çalışmasının amacı; merkezi çelik çaprazlı çerçevelerin süneklik düzeyi yüksek ve normal olarak DBYBHY’e göre boyutlandırılmasıdır. Bu amaç doğrultusunda, DBYBHY ile AISC 2005 arasındaki benzerliklerden ve farklardan bahsedilecek ve DBYBHY’e göre tasarım kurallarının süneklik düzeyi yüksek ve normal merkezi çelik çaprazlı çerçevelerde nasıl uygulanacağı gösterilecektir.

Bu tezin sunuluşunda izlenecek yol aşağıdaki gibi olacaktır:

- (a) Merkezi çaprazlı çerçevelere ait genel bilgilerin verilmesi çevrimsel yükleme altındaki davranışlarının incelenmesi.
- (b) AISC 2005 ve DBYBHY’de merkezi çaprazlı çerçevelere ait tasarım kurallarının anlatılması.

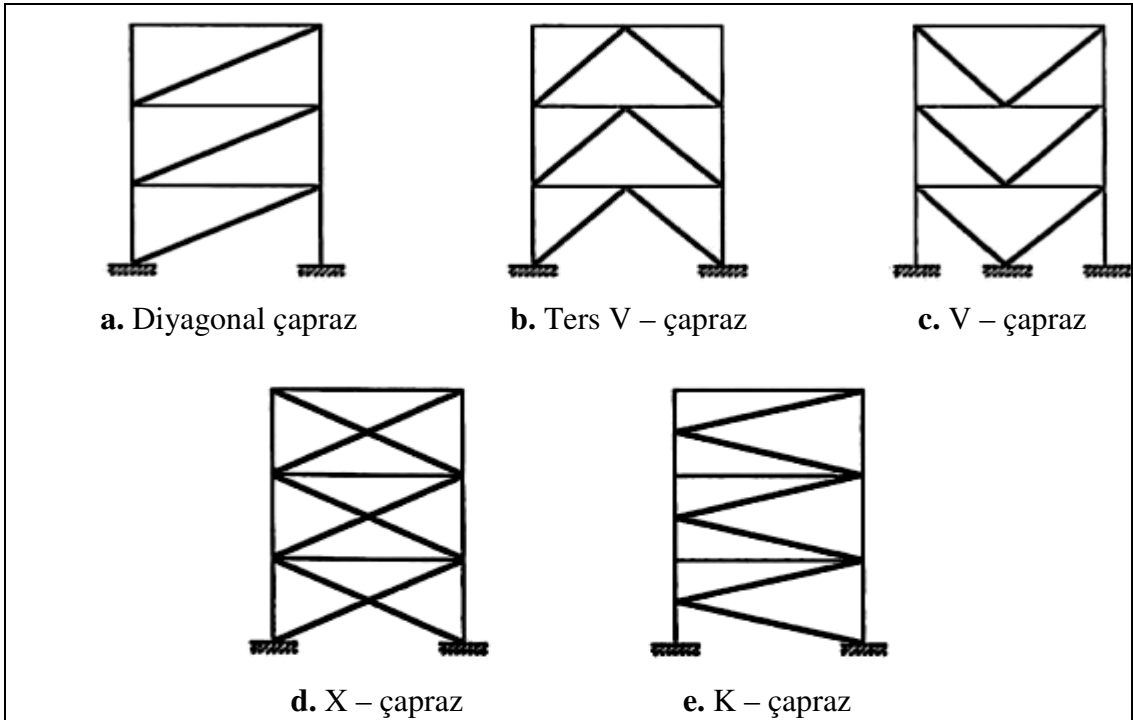
- (c) DBYBHY’de belirtilen tasarım kurallarına göre örnek bir yapının merkezi çelik çaprazlı seçilip süneklik düzeyi yüksek ve normal olarak analizi
- (d) Emniyet gerilmeleri yöntemine göre gerilme tahkiklerinin yapılması
- (e) Birleşim detaylarına ait sayısal çözümler ve sonuçların değerlendirilmesi

2. SÜNEK MERKEZİ ÇAPRAZLI ÇERÇEVELERİN TASARIMI

2.1. Genel:

Merkezi çaprazlı çerçeveler moment dayanımlı çerçevelerden farklı olarak yüksek elastik rijitliğe sahip, yanal kuvvet dayanımlı sistemlerdir. Bu sistemlerde rijitliği sağlayan yanal kuvvet dayanımlı diyagonal çapraz elemanlardır. Diyagonal çapraz elemanlar ve çerçeve sistem bağlantı elemanları bir merkezi çaprazlı çerçevenin temel birimlerini oluşturmaktadır [1]. Çaprazlar I, dikdörtgen veya dairesel tüp, T vb. kesitli formlarda olabilirler ve çerçeve sisteme genellikle bulonlu veya kaynaklı olarak teşkil edilen guse levhaları ile birleştirilirler. **Şekil 2.1'**de yaygın olarak kullanılan merkezi çaprazlı çerçeve konfigürasyonları yer almaktadır.

1960'larda ve 1970'lerde dışmerkezi çaprazlı çerçeve sistemler geliştirilmeden önce merkezi çaprazlı çerçeveler yaygın olarak deprem kuvvetlerine karşı dayanım sağlamak amacı ile kullanılmaktaydı.



Şekil 2.1: Merkezi Çaprazlı Çerçeve Türleri [2]

1970’lerde ve 1980’lerde çapraz elemanların lineer olmayan davranışı hakkında önemli çalışmalar yapıldı. Bu çaprazlı çerçevelerin sismik davranışı üzerinde yapılan bir çok çalışmada çelik tüp kesitli çapraz elemanların inelastik çevrimsel davranışındaki karakteristikler incelendi.

2.2. Merkezi Çaprazlı Çerçevelerin Gelişimi:

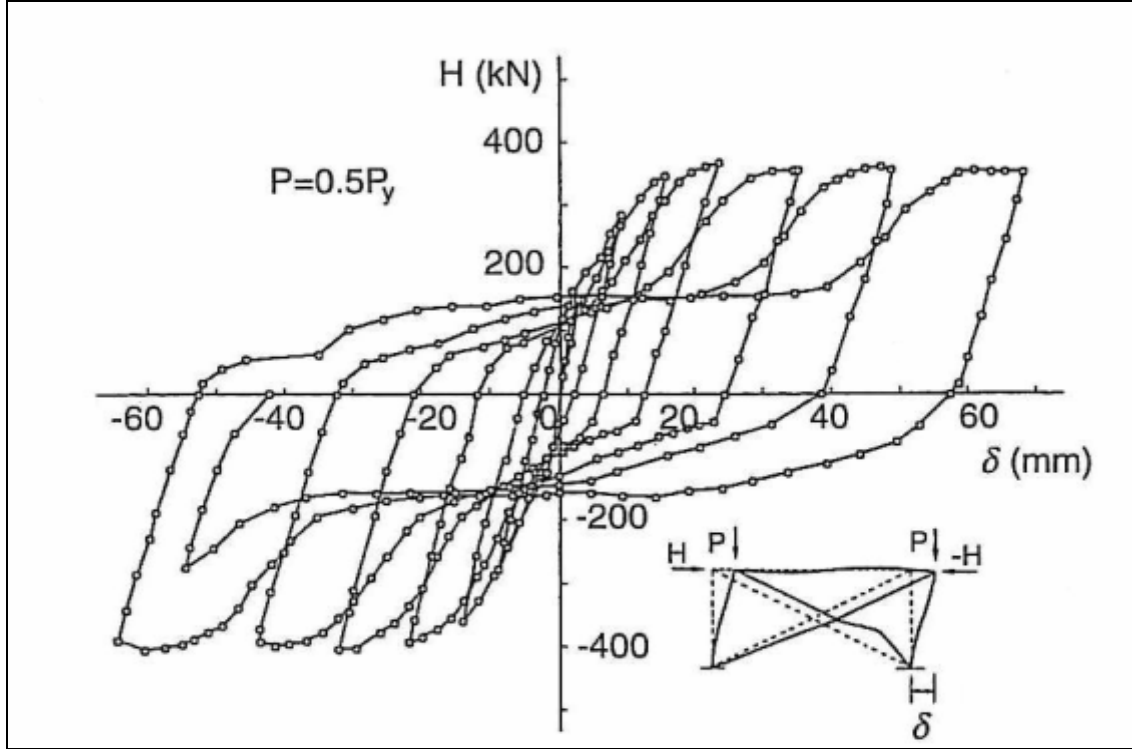
Şekil 2.1’deki merkezi çaprazlı çerçeve konfigürasyonları rüzgar yüklerini lineer elastik kısımda kalarak taşıyabilmeleri amacıyla geliştirilmişlerdir. Bu konfigürasyonlardan bazıları sismik dayanım için kullanılamazlar. Çünkü hem diğer yapı bileşenlerinde istenmeyen bir tepki ile karşılaşılabilir, hem de yapı kötü bir çevrimsel inelastik davranış sergileyebilir.

Örneğin **Şekil 2.1e**’deki K-çaprazlı çerçeve sismik uygulamalar için kullanılamaz. Eğer diyagonal çaprazlardan biri burkulursa diğer çaprazdaki çekme kuvveti burkulan çaprazdaki kuvvetten daha büyük olabilir. Bu iki çapraz kuvveti kolonun orta yüksekliğinde daha büyük bir yatay kuvvet oluşturabilir ve çaprazlar ile kolonun birleştiği bu bölgede bir plastik mafsall oluşumuna yol açabilir, buda kolonun göçmesine yol açar. Kolonda plastik mafsall oluşumu istenmeyen bir durum olduğundan K-çaprazlı çerçeveler yüksek sismik özelliğe sahip bölgelerde diğer konfigürasyonlar elverişsiz (uygulanamaz) değilse kullanılamazlar.

Merkezi çaprazlı çerçeve sistemlerde diyagonal çaprazlar daima çekme kuvveti altında çalışacak şekilde tasarlanırlar. Sadece çekmeye çalışan bu çaprazlı çerçeveler yaygın olarak rüzgar yükü dayanımı için kullanılırlar. Bu tarz çerçeveler genelde X-çaprazlı çerçeveler olarak tasarlanırlar (**Şekil 2.1d**). Buradaki çapraz elemanlar yüksek narinlik özelliği gösterirler. ($kL/r > 300$) Yalnızca çekmeye çalışan çerçevelerdeki çaprazlar yanal deprem kuvvetlerine karşı dayanım sağlamak amacıyla kullanılmalarına rağmen, bu çerçevelerin inelastik çevrimsel davranışı genelde zayıftır. Bu tür çerçevelerin histerik eğrileri **Şekil 2.2**’deki gibidir.

Yalnızca çekmeye çalışan çaprazlı çerçevelerin çevrimsel inelastik davranışı çekmeye çalışan elemanların akma ve uzaması ile kontrol edilir. Bu çaprazların sahip oldukları yüksek narinlik düşük eksenel yükte dahi basınç çaprazlarının burkulması ile sonuçlanır. Tekrarlı çevrimsel yüklemde her bir çapraz eleman ortak olan eksenel yerdeğiştirmeleri toplar ve X-çaprazlı çerçeve yatay rijitliğini kaybeder.

Güney Amerika'daki bir çok deprem şartnamesinde bu tarz çaprazlı çerçeveler genelde yasaklanmıştır ve sınır değerler çaprazların çekme ve basınç dayanımlarına göre düzenlenmiştir. Yalnızca çekmeye çalışan çaprazlı çerçeveler düktil olarak düşünülemezler (CISC, 1995) [3].



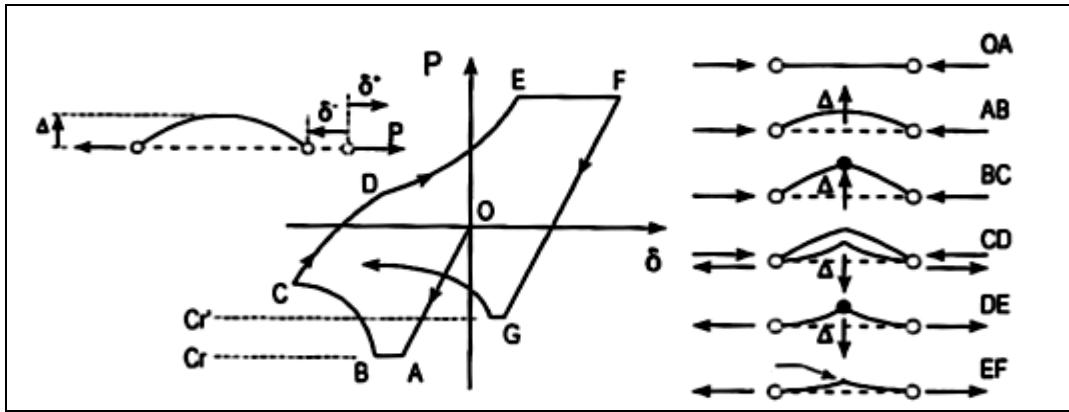
Şekil 2.2: Narin X – Çaprazlı Çerçeve Histerisi [4]

2.3. Çevrimsel Eksenel Yük Davranışı:

Eksenel olarak yüklenmiş elemanların davranışı; eksenel kuvvet (P), eksenel deformasyon (δ) ve orta uzunluktaki yerdeğiştirme (Δ) olarak ifade edilir. Geleneksel olarak çekme kuvvetleri ve deformasyonları pozitif (+), basınç kuvvetleri ve deformasyonları negatiftir (-). Şekil 2.3'de çevrimsel yükleme altındaki çapraz bir elemanın histerik eğrisi gösterilmektedir.

Geri yükleme (boşaltma) başladığında çapraz elemana lineer elastik kısımda basınç uygulanır. Burkulmanın A noktasında meydana geldiği varsayılır. Eğer çapraz eleman yeterli narinliğe sahipse, elastik olarak burkulur ($P = C_r$). Bu durumda uygulanan eksenel yük çapraz eleman yatay olarak yerdeğiştirirken devam ettirilebilir. Bu noktaya kadar çaprazın davranışı elastiktir. Tam bu noktada eksenel basınç kuvveti kaldırılırsa BAO boyunca boşaltma meydana gelir.

Burkulma esnasında çapraz eleman enine doğrultuda bir yerdeğiştirme yapar ve orta uzunlukta bir plastik mafsal oluşur. Çaprazın plastik mafsala kadar olan kısmının serbest cisim diyagramı bu kısmın uzunluğu boyunca sabit eksenel yüke ilaveten farklı momentler ihtiva eder. Çaprazdaki momentin en büyük değeri maksimum yerdeğiştirme noktasında meydana gelir. Çaprazın yerdeğiştirmesinin kritik değerinde çaprazdaki moment plastik momente eşit olacaktır ve bu noktada bir plastik mafsal oluşacaktır (Şekil 2.3 B noktası). Bükülgen bir plastik mafsal deformasyonuna karşılık olan Δ yerdeğiştirme değeri çaprazdaki eksenel yük etkileşim derecesine bağlıdır. BC çubuğundaki plastik mafsal dönmeleri sebebiyle Δ 'daki artışa karşılık olarak eksenel yerdeğiştirmeler de artar. Çaprazın (BC) eksenel dayanımı ise azalır. Çünkü orta noktadaki moment ($M = P * \Delta$) plastik mafsaldan sonra artamaz, Δ 'daki bir artış P'deki bir düşüşü beraberinde getirir. Eksenel yükteki düşüş moment kapasitesindeki artışla sonuçlanır.



Şekil 2.3: Çevrimsel Eksenel Yükleme Altındaki Bir Çaprazın Örnek Histerisi [2]

Geri yüklemeye kadar ($P = 0$) (Şekil 2.3'deki C noktasından) çapraz eleman artakalan eksenel yerdeğiştirme (δ) ve enine yerdeğiştirmeye (Δ) devam eder.

Çapraz eleman $P = 0$ 'dan Δ noktasına kadar çekme kuvveti ile yüklendiğinde davranış elastiktir. Δ noktasında eksenel yük ve enine yerdeğiştirmenin meydana getirdiği moment çaprazın plastik momentine eşittir ve çaprazın orta noktasında bir plastik mafsal oluşur. Ancak DE çubuğu boyunca plastik mafsal dönmeleri BC 'dekinin aksi yönde hareket eder ve enine yerdeğiştirmenin (Δ) büyüklüğü etkili bir oranda azalır. Sonuç olarak, eksenel kuvvetler D noktasındakinden ($= P_D$) daha büyüktür (Michel Bruneau, Chia-Ming Uang ve Andrew Whittaker, 1998) [2].

Enine yerdeğiştirmeyi tamamen ortadan kaldırmak mümkün değildir. Teorik eksenel kuvvet, enine yerdeğiştirme sıfıra yaklaştığında sonsuza yaklaşan ilave plastik mafsallık d6nmeleri 6retmeyi gerektirir, fakat çapraz elemandaki eksenel kuvvet çekmedeki akma dayanımını ($=A \cdot F_y$) aşamaz ve artakalan enine yerdeğiştirmeler kaçınılamaz bir sonuçtur. Basınçta yeniden y6klemeye çapraz eleman bir başlangıç orta nokta yerdeğiştirmesine sahip eleman olarak davranır ve burkulma kapasitesi (C'_r) ilk burkulma y6k6nden (C_r , A noktasındaki) daha d6ř6kt6r. C'_r / C_r oranı esas olarak narinlik oranına (kL/r) bağlıdır ve aşağıdaki gibi form6lize edilir:

$$(SEAOC,1990) \quad : C'_r = \frac{C_r}{1 + 0,5 \left(\frac{kL}{r\pi} \sqrt{\frac{0,5F_y}{E}} \right)} = \frac{C_r}{1 + 0,5 \left(\frac{kL/r}{C_c} \right)} \quad (2.1a)$$

$$(CSA,1994) \quad : C'_r = \frac{C_r}{1 + 0,35 \left(\frac{kL}{r\pi} \sqrt{\frac{F_y}{E}} \right)} = \frac{C_r}{1 + 0,35\lambda^*} \quad (2.1b)$$

Buradaki λ^* narinlik katsayısıdır. Narinlik oranı sıfır olan A36 eliği kullanılmış bir çapraz eleman için $C'_r = C_r$ 'dir. Eğer narinlik oranı 130'a çıkarılırsa; $C'_r = 0,67 \cdot C_r$ olur (Michel Bruneau, Chia-Ming Uang ve Andrew Whittaker, 1998) [2].

Ayrıca elastik burkulma boyu sonraki her inelastik çevrimde artakalan başlangıç yerdeğiştirmesinin sonucu olarak azalır. Sonraki inelastik çevrimlerde histerik eğrilerin (OABCDEF) şekli, yukarıda tanımlanan iki değişime maruz kalır. Çapraz elemanın histerik enerji s6n6mleme kapasitesinin nicel değeri tekrarlı çevrimsel inelastik y6kleme testlerinden elde edilebilir.

T6m bu incelemelerden narinlik oranının histerik eğri şekilleri 6zerinde 6nemli bir etkiye sahip olduğu anlaşılmaktadır. Narin bir çaprazın (kL/r oranı b6y6k) (OA) kısmı kısa, (AB) kısmı ise buna karşın uzundur, buda enerji s6n6mleme kapasitesinin d6ř6k olduğu anlamına gelir. Narin olmayan bir çaprazın ise (kL/r oranı k66k) (OA) kısmı uzundur ve (AB) kısmı oluşmayabilir.

2.4. Merkezi Çaprazlı Çerçeveslerin Lineer Olmayan Davranışı:

2.4.1. Genel:

Güney Amerika'daki konut binalarının sismik tasarımı deprem hareketleri esnasında tam elastik bir binada beklenilenden daha küçük kuvvetlerin kullanımı temel alınmaktadır. Kuvvetlerdeki azalma, düktil çerçeve sistemlerin sismik davranışı ile doğrulanmaktadır. Merkezi çaprazlı bir çerçeve sistemin düktil davranışının kanıtlanması için, çapraz elemanlar önemli ölçüde rijitlik ve dayanım kaybı olmaksızın büyük inelastik deplasmanlar yapabilmelidirler (Michel Bruneau, Chia-Ming Uang ve Andrew Whittaker, 1998) [2].

Eksenel yüke maruz kalan çapraz elemanların inelastik davranışı son 20 yılda bir çok araştırmacı tarafından incelenmiştir. Bu araştırmalar analitik ve deneysel çalışmalar içermektedir. Bu çalışmalar çapraz elemanın histerik davranışını etkileyen üç temel parametre ile tanımlanmaktadır:

- Narinlik oranı
- Uç (sınır) şartları
- Kesit tipi (şekli)

2.4.2. Çapraz Eleman Narinliği:

Eksenel basınç kuvveti ile yüklü olan bir çapraz elemanın çevrimsel davranışı esas olarak narinliğe bağlıdır. Narinlik oranı (λ) çapraz eleman uç koşullarının (k) bir fonksiyonudur. Çapraz eleman uzunluğu veya çapraz eleman temiz açıklığı (L), i - i eksenine etrafındaki atalet momenti (I_{ii}) ve kesit alanı (A) ise:

$$\lambda_{iii} = kL \sqrt{\frac{A}{I_{ii}}} = \frac{kL}{r_{ii}} \quad (2.2)$$

Burada $\sqrt{I_{ii} / A}$ atalet yarıçapı olarak bilinmektedir. Tasarımda, verilen kesit için narinlik oranının en büyük değeri seçilir (AISC, 1995) [5].

Merkezi çaprazlar genellikle narin (λ büyük), orta narinlikte ve narin olmayan (λ küçük) olarak tanımlanırlar. Histerik eğriler farklı narinlik oranlarında birbirinden önemli ölçüde farklı olurlar. Histerik eğrinin çevrelediği alan çapraz elemanın enerji sönmleme kapasitesinin bir ölçütüdür. Narin olmayan çapraz elemanlardaki döngü

alanları narin olanlarınkinden daha büyüktür. λ 'nın küçük değerleri için, döngü şekli malzemenin kendi özelliğine benzemektedir.

Çaprazların çekmedeki kapasitesinin basınçtaki kapasitesine oranı narinlik oranına bağlıdır. Daha narin bir çapraz için bu oran daha büyüktür. Normalleştirilmiş eksenel yüke karşı normalleştirilmiş eksenel yerdeğiştirme ilişkisi **Şekil 2.4** 'de gösterilmektedir. Bu eğri zarfları farklı eksenel yerdeğiştirme seviyesinde çapraz elemanın eksenel çekme-basınç yerdeğiştirme döngüsünden oluşturulur. Not olarak; çekme kapasitesi ile basınç kapasitesi arasındaki oran artan çevrimsel eksenel yerdeğiştirme ile birlikte artar.

2.4.2.1. Narin Çapraz Elemanlar:

Narin çaprazlar elastik burkulma gerilmesi akma gerilmesinin yarısına eşit veya daha küçük olan çapraz elemanlar olarak tanımlanırlar. Eğer eksenel yük altındaki elemanın kesitinin tümü elastik kısımda kalmalıysa, sadece $0,5F_y$ 'nin maksimum eksenel gerilmesi artık şartlarına bağlı olarak uygulanabilir. Başlangıçtaki iç kusurlar ihmal edilirse, elastik burkulma gerilmesi (σ_{cr}) Euler burkulma denklemi ile hesaplanabilir:

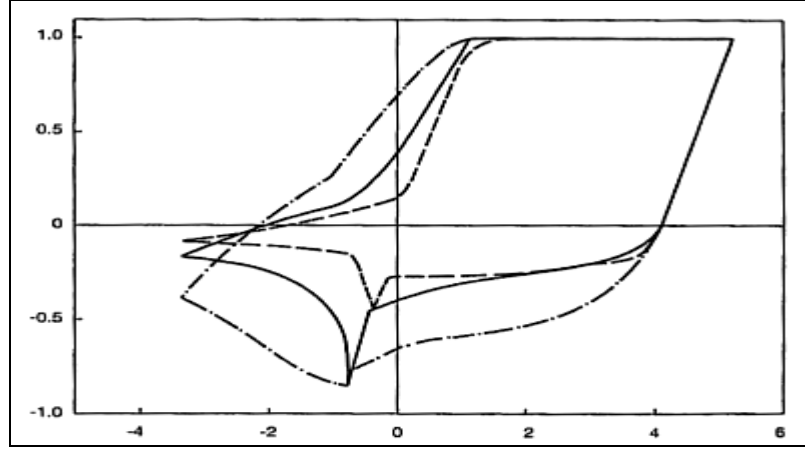
$$\sigma_{cr} = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{kL}{r}\right)^2} = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2} \quad (2.3)$$

Burada “E” Young modülüdür. Narin bir çapraz için narinlik sınır değeri:

$$\lambda_{narin} \geq \frac{770}{\sqrt{F_y}} \quad (\text{ksi}) \quad (2.4a)$$

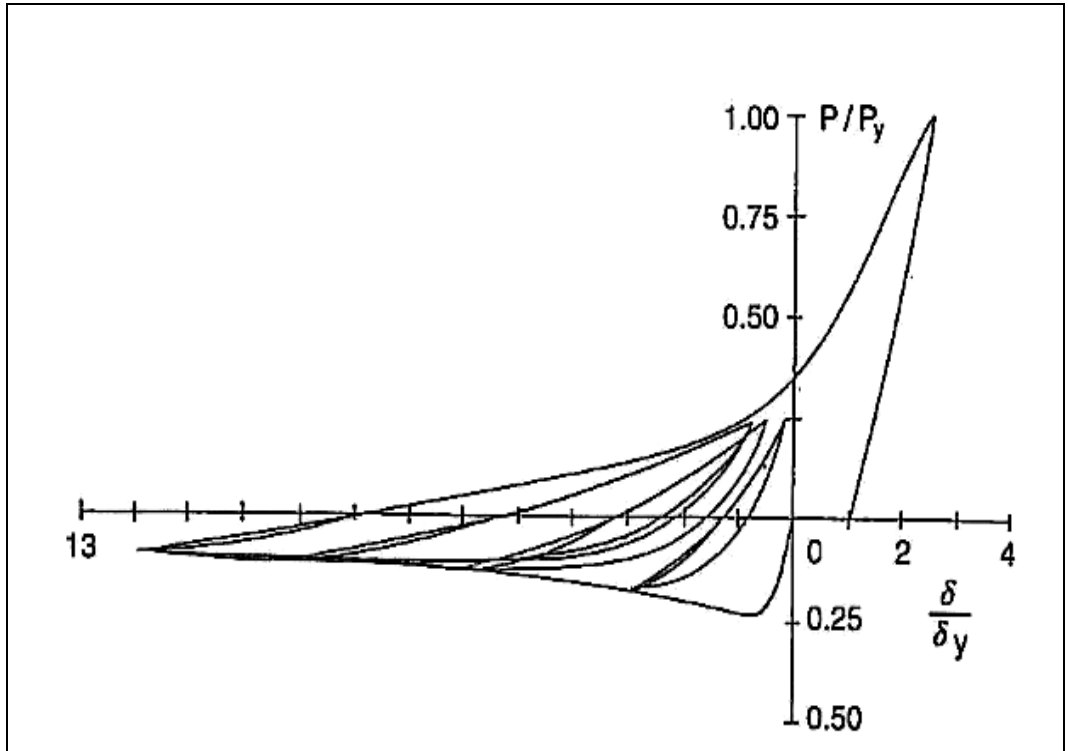
$$\lambda_{narin} \geq \frac{2200}{\sqrt{F_y}} \quad (\text{Mpa}) \quad (2.4b)$$

Çok narin çaprazlar burkulmuş bir konfigürasyonda düşük bir rijitliğe sahiptir. Bundan dolayı, basınca maruz kalan narin merkezi çaprazlı bir çerçevenin yanal rijitliği çaprazın burkulması ile birlikte büyük ölçüde düşecektir. Rijitlikteki bu hızlı düşüş hem çaprazın zarar görmesine hem de birleşimin kırılmasına neden olur (AISC, 1995) [5].



Şekil 2.4: Farklı Narinliğe Sahip Çapraz Histerileri [6]

Eksenel yüklü eleman tekrarlı inelastik yükleme çevrimleri ile birlikte hızlı bir şekilde dayanım kaybeder ve yükün kaldırılması halinde bile orijinal gerilme çizgisi pozisyonuna geri dönemez. Bu, narinlik oranı 120 olan bir I-kesit için **Şekil 2.6'**da görülebilir. Eğer çapraz gerilme çizgisi pozisyonuna geri dönerse, yanal deplasman (Δ) sıfırken uygulanan yük (P) de sıfır olur. **Şekil 2.5** ve **Şekil 2.6'**daki narin çaprazlar için (P - δ) arasındaki ilişki farklıdır. Bu farklar, farklı test protokolleri ve farklı çapraz kesiti kullanımından kaynaklanmaktadır.

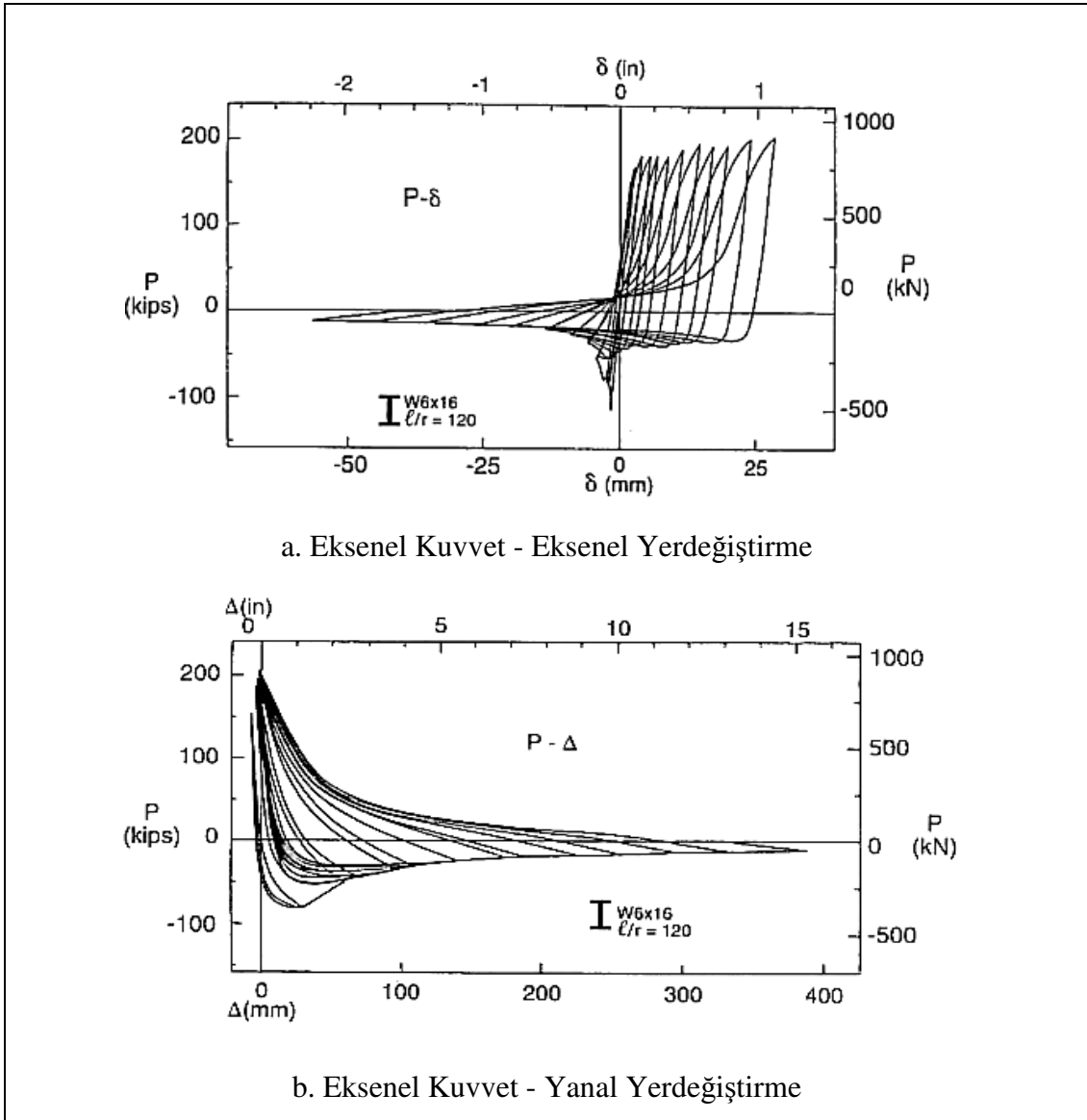


Şekil 2.5: Narin Bir Çaprazın Histeritik Davranışı [7]

Şekil 2.6'da narin bir çaprazın çevrimsel inelastik davranışının temel karakteristikleri gösterilmektedir:

- Eksenel basınç rijitliği kaybı (P / δ)
- Eksenel kısalma (uygulanan yük sıfırken verilen eksenel yerdeğiştirme δ)
- Uygulanan yük sıfırken teğet rijitliği kaybı ($=\Delta P / \Delta \delta$)

Çaprazdaki eksenel kısalma yük-dayanım sisteminde önemli ölçüde bir kayıpla sonuçlanır. Eğer **Şekil 2.1b**'deki ters-V merkezi çaprazlı çerçeve konfigürasyonundaki gibi bir oluşum varsa, yanal deplasmanı sıfıra yakın olan çaprazlı bir çerçevenin yanal rijitliği çerçevenin elastik rijitliğinin %5'inden az olabilir.



Şekil 2.6: Narin Çaprazda Kuvvet-Yerdeğiştirme İlişkisi [6]

2.4.2.2. Narin Olmayan Çaprazlar:

Narin olmayan çaprazlar, davranışta akma ve yerel burkulmanın etkin olduğu çapraz elemanlar olarak tanımlanırlar. Yerel burkulma plastik mafsallık bölgesinde moment kapasitesindeki düşüşle sonuçlanır; buda elemanın eksenel dayanımında ve çaprazın enerji sönümlenme kapasitesinde azalmaya neden olur. λ için sınır değeri gerilme şekil değiştirme ilişkisinin, çaprazın genişlik-kalınlık oranının ve artık gerilmelerinin fonksiyonudur (Michel Bruneau, Chia-Ming Uang ve Andrew Whittaker, 1998) [2].

2.4.2.3. Orta Narinlikteki Çaprazlar:

Orta narinlikteki çaprazlar yerel burkulması plastik burkulmasından daha az kritik olan çaprazlar olarak tanımlanırlar. Khatib'e göre orta narinlikteki çaprazlar ile narin olmayan çaprazlar arasındaki en önemli fark; narin olmayan çaprazlarda bir başlık veya levhanın yerel burkulması nedeniyle oluşan büyük yanal yer değiştirmeler muhtemelen çaprazın genel burkulmasına yol açacaktır. Oysaki orta narinlikteki çaprazlardaki genel burkulmada etkili olan burkulma gerilmesi üretimden kaynaklanan hatalar nedeniyle oluşan artık gerilmeler yüzünden teorik değerden daha düşüktür (Khatib, I.F., Mahin, S.A. ve Pister, K.S., 1988) [8].

2.4.3. Çaprazın Uç (Sınır) Şartları:

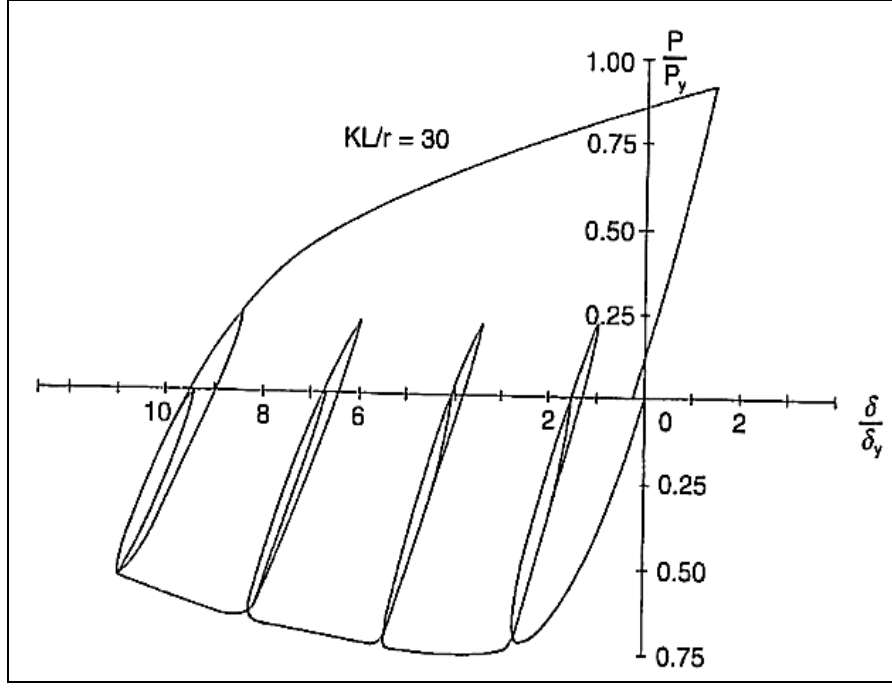
Önceki çalışmalarda lineer elastik kısımda çaprazın burkulma şekline sınır koşullarının etkisi incelenmişti. Black ve Popov efektif boyu (kL) belirlemek için bu çalışmanın alanını genişletmişlerdir.

Farklı narinlik oranı ve sınır koşullarına sahip iki çapraz için **Şekil 2.7'**de normalleştirilmiş datalar gösterilmektedir. Bu datalardan inelastik şeklin elastik şekille benzer olduğu sonucuna varılmaktadır. Şekilden de görüldüğü gibi inelastik çevrim sayısı 5'ten 8'e artarken eğriler plastik mafsallık bölgesinde bir merkezileşme eğilimindedirler (Black, R.G., Wenger, W.A. ve Popov, E.P., 1981) [6].

2.4.4. Kesit Şekli:

2.4.4.1. Kesit Şekli Verimi:

Yapılan incelemelerden en verimli çapraz kesitinin kL/r oranı düşük olan tüp kesitler olduğu ortaya çıkmaktadır ve b/t (dikdörtgen tüp kesitli) , d/t (dairesel tüp kesitli) ve $b_f / 2t_f$ (I-kesitli) oranları düşüktükçe verim artmaktadır.



Şekil 2.7: Orta Narinlikteki Bir Çaprazın Histeritik Davranışı [7]

Verilen bir narinlik oranı için kesitlerin verimlilik sırası aşağıdaki gibidir:

- 1) Dairesel tüp kesitli çapraz
- 2) Dikdörtgen tüp kesitli çapraz
- 3) I-kesitli çapraz
- 4) T-kesitli çapraz
- 5) L kesitli çapraz

2.4.4.2. Tüp Kesitler:

Dikdörtgen kesitler yüksek verimliliğe sahip olduklarından genelde sismik çaprazlar olarak adlandırılırlar. Çünkü aynı kesit alanına sahip L ve T kesitlere göre yerel burkulma dayanımları ve dönmeleri daha büyüktür. Tüp kesitli bir çaprazda basınç elemanlarının yerel burkulması çaprazın plastik moment kapasitesini ve eksenel basınç dayanımını azaltır. Plastik mafsallardaki yerel burkulma derecesi çaprazın kırılmasında büyük bir etkiye sahiptir. Yerel burkulmaların engellenmesi erken malzeme kırılmasını imkansız kılar (Michel Bruneau, Chia-Ming Uang ve Andrew Whittaker, 1998) [2].

Tüp kesitli çaprazlarda yerel burkulmayı engellemenin bir yolu da çaprazın genişlik-kalınlık oranının azaltılmasıdır.

2.4.4.3. Betonla Doldurulmuş Tüp Kesitli Çaprazlar:

Çaprazın yerel burkulmasını geciktirmenin diğer bir yolu da tüp kesitin içinin betonla doldurulmasıdır. 1987’de Liu ve Goel dikdörtgen kesitli çaprazların betonla doldurulmasının yerel burkulma üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Bu araştırmada: (1) b/t oranı yüksek (yaklaşık 30), (2) b/t oranı düşük (yaklaşık 14) ve (3) b/t oranı düşük ama içi betonla dolu üç sistem kullanmışlardır. Varılan sonuçlar: Yerel burkulma ve plastik mafsallı deformasyonundan önce üç numunenin burkulma modunda önemli ölçüde bir fark görülmemiş, fakat plastik mafsallı oluşumundan sonra b/t oranı küçük ve içi betonla dolu olan numunenin performansının daha iyi olduğu gözlenmiştir. Çünkü yerel burkulma geciktirilmiş ve çapraz tekrarlı çevrimsel yüklemelerde dayanımını korumuştur (Liu, Z. ve Goel, S.C., 1988) [9].

Şekil 2.8’de içi boş tüp kesitli çaprazlar ve içi betonla doldurulmuş tüp kesitli çaprazların burkulma öncesi ve sonrasındaki kesit şekilleri ve plastik mafsallı oluşum bölgeleri yer almaktadır. Varılan sonuçlar: Betonla doldurulmuş çaprazlarda yerel burkulma farklı bir yol izlemektedir. Belirli bir şekilde, betonla doldurulmuş tüp kesitlerin flanşı dıştan içtekinden daha çok burkulmuştur. Çünkü beton içten basınç flanşının yerel burkulmasını engellemiştir (Şekil 2.8.b). Böylece yerel burkulma geciktirilmiş ve bunun sonucu olarak da malzemenin çatlaması engellenmiştir. Bu sayede çaprazın kırılma ömrü artmış ve moment kapasitesindeki kayıp minimize edilmiştir (Liu, Z. ve Goel, S.C., 1988) [9].

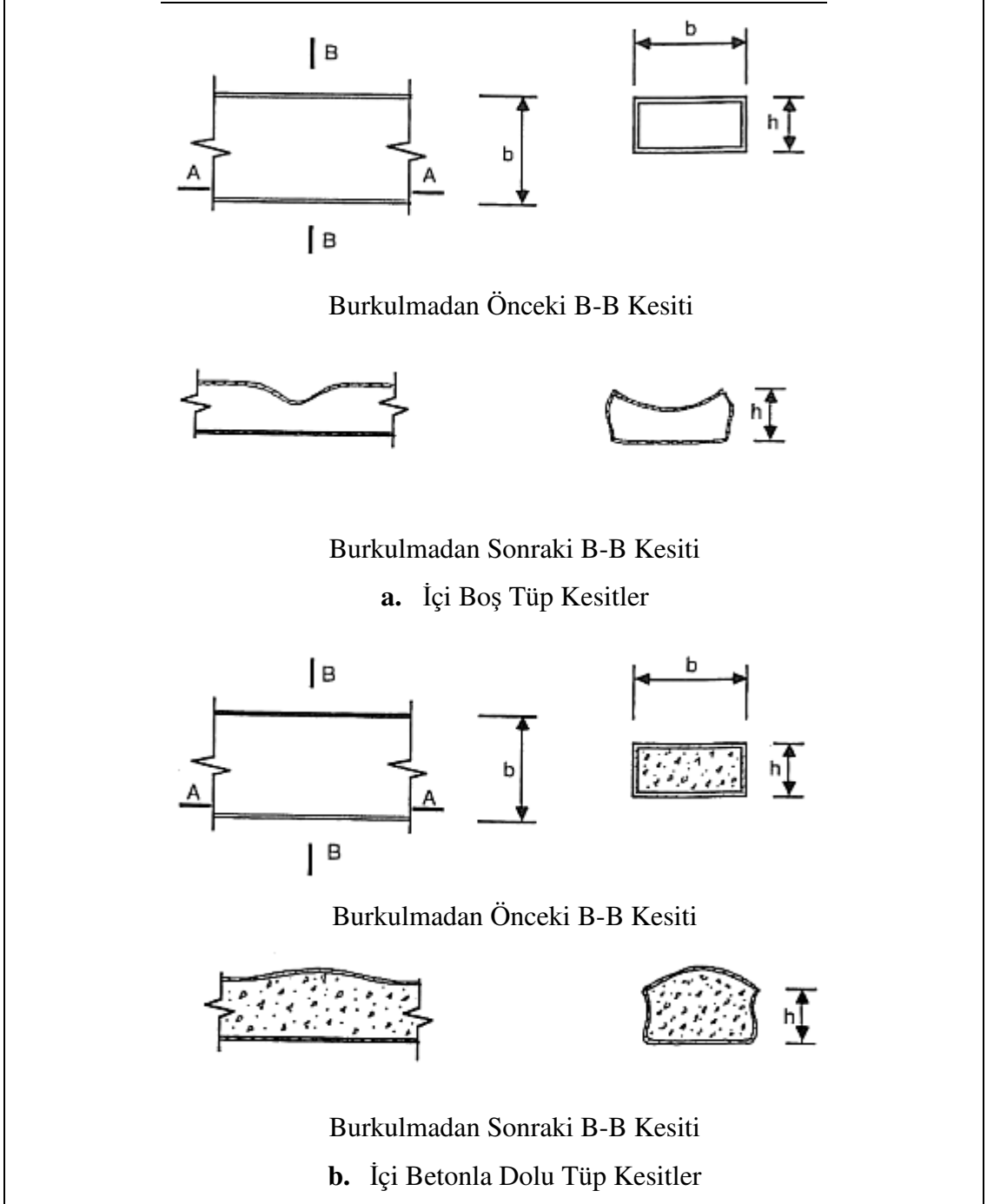
2.5. Merkezi Çaprazlı Çerçeve Tasarım Felsefesi:

En yaygın merkezi çaprazlı çerçeve konfigürasyonu **Şekil 2.1b**’deki ters V-çaprazlı sistemlerdir. Bu sistemler kapı, pencere ve diğer mekanik sistemlerin yerleştirilmesi için de uygundur. Bu tür konfigürasyonlar çapraz açıklığının ortasına etkiyebilecek büyük balanssız düşey kuvvetleri ertelemek için veya bu tür kuvvetlerden kaçınmak için sıkça kullanılırlar. Bu sistemlerin inelastik çevrimsel davranışı aşağıdaki faktörleri içermektedir:

- Çapraz elemanın narinliği ve kompaktlığı
- Çekme ve basınçta çaprazın aksel dayanımı
- Çaprazın kiriş ve kolonlarla olan bağlantılarının dayanımı
- Çapraz-kiriş birleşiminin gerekli yanal kuvvet dayanımını sağlaması

- Çaprazlı çerçevelerin kirişlerinin rijitliği, dayanımı ve kompaklığı

Bu çapraz sistemlerin beklenen davranışı sergileyebilmesi için; bağlantı elemanlarının yeterli dayanıma sahip olması ve çapraz-kiriş bağlantılarının yanıl burkulmalara karşı tam olarak mesnetlenmesi gerekmektedir.

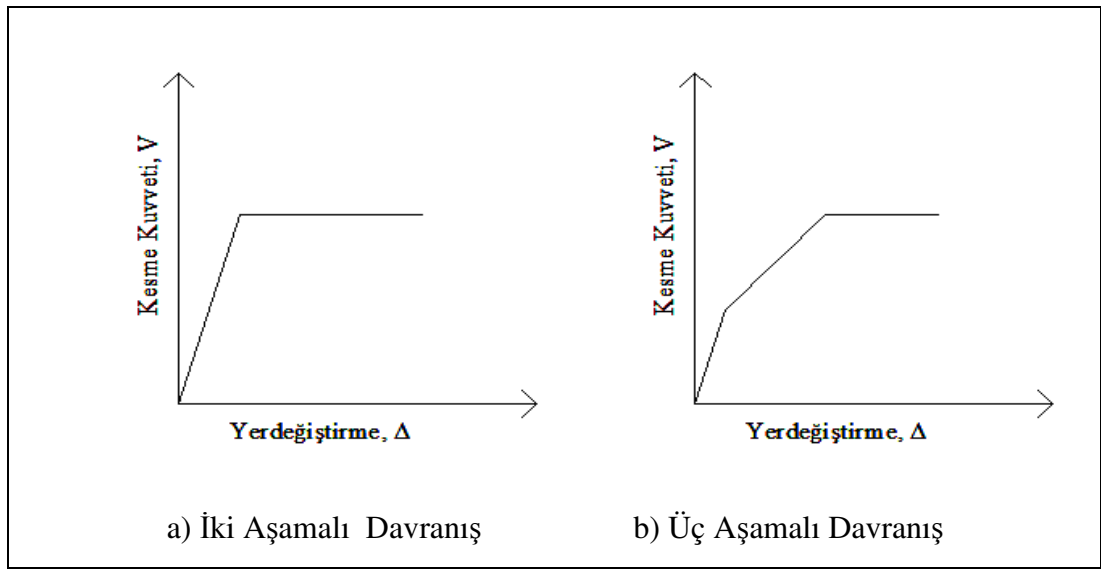


Şekil 2.8 : Tüp Kesitli Çelik Çaprazların Plastik Mafsal Bölgesindeki Burkulma Kesitleri [9]

2.5.1. Merkezi Çaprazlı Çerçevelerin Yanal Rijitliği:

Yapıların sismik tasarımında tipik olarak iki varsayım geçerlidir: (1) İki aşamalı sismik davranış, (2) üç aşamalı sismik davranış (Şekil 2.9). Çaprazlı bir sistemden böyle bir davranış elde etmek için negatif rijitlikten kaçınılmalıdır.

1988’de Khatib ters V-çaprazlı çerçeve sistemlerin burkulma sonrası karakteristikleri üzerinde kapsamlı bir çalışma yürütmüştür. Bu çalışmaya göre: Çaprazlar kolonlara mafsallı bir birleşim yapmakta, düşey yükler ihmal edilebilir, kiriş ve kolonlar eksenel olarak uzayamaz (Şekil 2.10). Çaprazlar B1 ve B2 olarak adlandırılmış, çaprazların yatayla yaptığı açı θ olarak gösterilmiştir ve ana sonuçlar:



Şekil 2.9: Çaprazlarda İdeal Histeritik Davranış [3]

B1 çaprazındaki çekme kuvvetleri, B1 çaprazının eksenel uzaması, B2 çaprazındaki basınç kuvveti ve B2 çaprazının eksenel kısılması durumlarının hepsinin pozitif olduğu kabul edilmiştir. Çapraz-kiriş birleşim noktasındaki momentler kirişin düşey rijitliği tarafından karşılanır (Khatib, I.F., Mahin, S.A. ve Pister, K.S., 1988) [8].

Elastik kısımda, B1 çaprazındaki çekme kuvveti (T) ve B2 çaprazındaki basınç kuvveti (C) büyüklük olarak birbirine eşittir. B2 çaprazının burkulma esnasındaki yanal dayanımı:

$$F_c = 2P_c \cos \theta \quad (2.7)$$

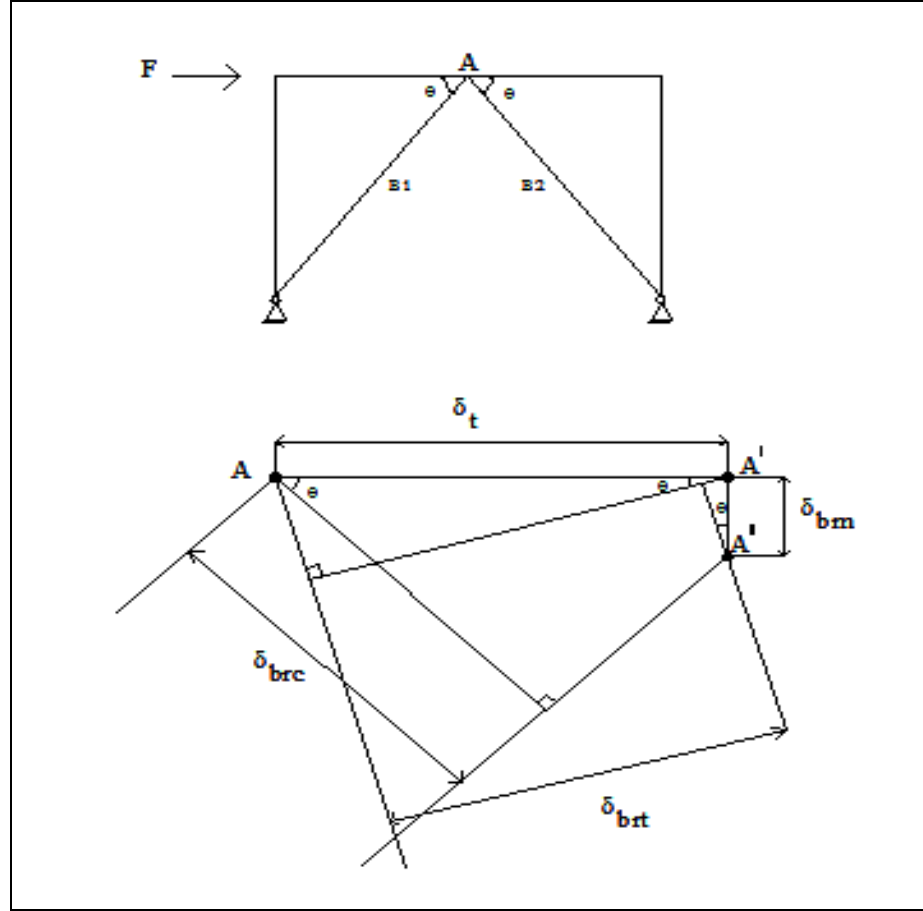
Burada P_c , B2 çaprazının elastik burkulma yüküdür. Çapraz-kiriş birleşim noktasında kirişe uygulanan balanssız düşey yük:

$$P_{un} = (T - C) \sin \theta \quad (2.8)$$

Bu değer sıfıra eşittir. Yanal rijitlik:

$$K_s = 2\left(\frac{AE}{L}\right)_{br} \cos^2 \theta = 2k_e \cos^2 \theta \quad (2.9)$$

Burada k_e , tek çaprazın elastik eksenel rijitliğidir ve kiriş-kolon çerçevesinin yanall rijitliği ihmal edilir. Çerçeve $F = 0$ 'dan $F = F_c$ 'ye kadar yüklendiğinde çapraz-kiriş birleşim noktası **Şekil 2.10**'daki gibi A'dan A' 'ne dönüşür.



Şekil 2.10: Merkezi Ters-V Çaprazlı Çerçeve Geometrisi ve Kinematığı [8]

B2 çaprazının burkulmasında ise; çekme ve basınç çaprazındaki kuvvetler genellikle eşit olmayacak, kirişe balanssız düşey yük uygulanacaktır (**Denk. 2.8**) ve kiriş δ_{bm} kadar A' 'nden A'' 'ne çökecektir (Şekil 11). Şekil 11'den yerdeğiştirmeler f_{brc} ve f_{brt} :

$$\delta_{brc} = \delta_t \cos \theta + \delta_{bm} \sin \theta \quad (2.10)$$

$$\delta_{brt} = \delta_t \cos \theta - \delta_{bm} \sin \theta \quad (2.11)$$

B1 çaprazındaki çekme kuvvetindeki ve B2 çaprazındaki basınç kuvvetindeki artış:

$$\Delta T = \delta_{brt} * k_{br} \quad (2.12)$$

$$\Delta C = \delta_{brc} * k_{bb} \quad (2.13)$$

Buradaki k_{br} ve k_{bb} sırası ile B1 çaprazının teğet çekme rijitliği ve B2 çaprazının burkulma sonrası teğet rijitliğidir. Elastik kısımda k_{br} k_e 'ye eşittir. k_{bb} 'nin negatif değeri için B2 çaprazındaki basınç kuvveti δ_{brc} değerinin artması ile birlikte azalacaktır. Kirişe uygulanan balanssız düşey yük ve yanal dayanımdaki artış :

$$P_{un} = (\Delta T - \Delta C) * \sin \theta \quad (2.14)$$

$$\Delta F = (\Delta T + \Delta C) * \cos \theta \quad (2.15)$$

Pozitif δ_t ve pozitif δ_{bm} için, δ_{brc} ve δ_{brt} 'nin her ikisi de genelde pozitiftir. k_{bb} burkulmadan sonra genellikle negatiftir ve k_{br} çekme çaprazında akmaya kadar pozitiftir. B2 çaprazındaki basınç kuvveti ΔC kadar azalacak ve B1 çaprazındaki çekme kuvveti ΔT kadar artacaktır ve balanssız düşey kuvvet:

$$P_{un} = (|\Delta T| + |\Delta C|) * \sin \theta \quad (2.16)$$

B2 çaprazının burkulmadan sonraki teğet rijitliği :

$$K_{st} = \frac{\Delta F}{\delta_t} = \cos^2 \theta (k_{br} + k_{bb}) - \frac{(k_{br} - k_{bb})^2 \sin^2 \theta}{k_{bm} + (k_{br} + k_{bb}) \sin^2 \theta} \quad (2.17)$$

Burada k_{bm} (>0) çapraz-kiriş birleşimindeki düşey serbestlik derecesine bağlı kiriş rijitliğidir ve kiriş-kolon çerçevesinin yanal rijitliği ihmal edilmiştir. Son derece rijit bir kiriş için:

$$K_{st} = (k_{br} + k_{bb}) * \cos^2 \theta \quad (2.18)$$

Elastik çapraz burkulması için ($k_{bb} = 0$):

$$K_{st} = \frac{k_{br} * \cos^2 \theta}{1 + \frac{k_{br}}{k_{bm}} * \sin^2 \theta} \quad (2.19)$$

Eğer k_{br} ve k_{bb} pozitif ise, K_{st} 'de pozitif olacaktır. Eğer k_{br} pozitif, k_{bb} negatif ise ($K_{st} > 0$):

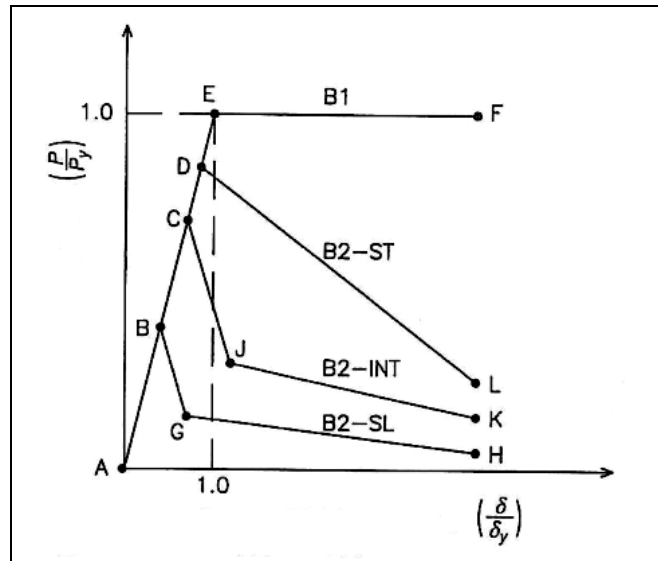
$$k_{bm} = \frac{-4k_{br} * k_{bb} * \sin^2 \theta}{(k_{br} + k_{bb})} \quad (2.20)$$

Kirişin eğilme rijitliği burkulma sonrası rijitliğin belirlenmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Kirişin eğilme rijitliği, I_{bm} 'nin bir fonksiyonudur ve sınır koşullarına bağlıdır (Khatib, I.F., Mahin, S.A. ve Pister, K.S., 1988) [8].

2.5.2. Merkezi Çaprazlı Çerçvelerin Göçme Mekanizmaları:

Merkezi çaprazlı çerçeve sistemlerin lineer olmayan davranışı hakkında farklı tasarım varsayımları yapılmıştır. Bunlardan biride tasarımda güçlü kolon-zayıf kiriş felsefesinin kullanıldığı çerçeve sistemlerdir. Çerçeve elemanları kesme kırılmasına karşı yeterli kesme dayanımına sahip olmalıdırlar. Sadece esnek ve rijit kirişler düşünülmelidir (Black, R.G., Wenger, W.A. ve Popov, E.P., 1981) [6].

İdealleştirilmiş, normalleştirilmiş eksenel kuvvet-eksenel yerdeğiştirme arasındaki ilişki, çekme çaprazı (B1) ve narin olmayan çapraz (B2-ST), orta narinlikteki (B2-INT) ve narin (B2-SL) basınç çaprazları için **Şekil 2.11**'de gösterilmektedir.



Şekil 2.11 : İdealleştirilmiş Eksenel Kuvvet-Eksenel Yerdeğiştirme [6]

2.5.2.1. Esnek Kiriş Göçme Mekanizması:

Narin olmayan çaprazlar için, çekmede akma kuvveti ($=P_y$) elastik burkulma yüküne eşit veya daha büyüktür; $P_2 (=P_c)$ yaklaşık olarak P_4 'e ($=P_y$) eşittir (Şekil 13.a). Kirişe uygulanan maksimum balanssız kuvvet $(P_y - P_c) \cdot \sin\theta$ 'ya eşittir ve yaklaşık olarak sıfırdır. Eğer kiriş esnek ise, B1 çaprazındaki çekme kuvveti pratik olarak sabit kalır ve basınç çaprazındaki eksenel deformasyonlar (δ_{brc}) çekme çaprazındaki eksenel deformasyonlardan (δ_{brt}) daha hızlı artar. Bu ilişki B1 ve B2 çaprazları için kuvvet-deplasman ilişkisine Şekil 2.12a'daki kesikli çizgilerle gösterildiği gibi katılmasıyla tanımlanmaktadır. Kiriş deplasmanları δ_{bm} iken δ_{brc} artar, δ_{brt} azalır (Denk. 2.10 ve 2.11). Şekil 2.12b'de kesme kuvveti-yatay yerdeğiştirme ilişkisi verilmiştir (Michel Bruneau, Chia-Ming Uang ve Andrew Whittaker, 1998) [2].

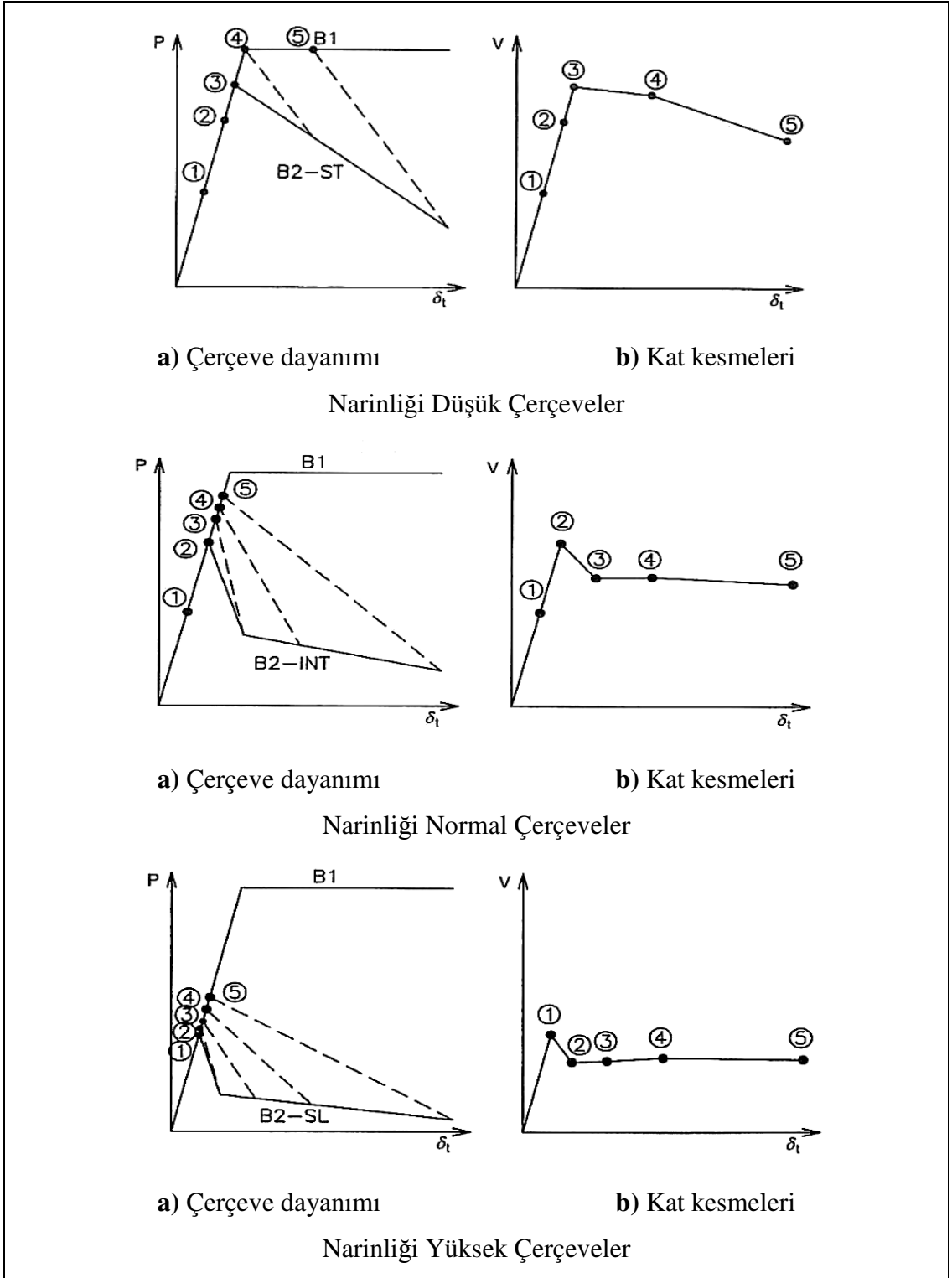
Orta narinlikteki çaprazlar için, çekmede akma kuvveti elastik burkulma yükünden önemli ölçüde büyüktür (Şekil 2.12c) ve kirişe daha büyük bir balanssız kuvvet uygulanabilir. Ancak, eğer kiriş esnek ise, B1'deki çekme kuvveti sabit kalır ve P_y 'ye ulaşamaz. Orta narinlikteki çaprazlar artan yerdeğiştirmelerle hızlı bir şekilde dayanım kaybeder (Şekil 2.12c'deki 2 no'lu çapraz). Şekil 2.12d'de de görüldüğü gibi artan yanal yerdeğiştirmelerle kesme dayanımı düşer. Narin çaprazlar için, çekmede akma kuvveti elastik burkulma yükünden çok daha fazladır. Eğer kiriş esnek ise, B1'deki çekme kuvveti sabit kalır. Ancak, burkulan narin çaprazın dayanımı artan yanal deplasmanlarla yavaşça düşer (Şekil 2.12e), kesme dayanımı (Şekil 2.12f) artan yanal deplasmanlarla sabit kalır (Michel Bruneau, Chia-Ming Uang ve Andrew Whittaker, 1998) [2].

Sonuç olarak; çekme çaprazında akma başlamadan önce çapraz-kiriş birleşim bölgesi yakınlarında kiriş üzerinde plastik mafsall oluşabilir. Prototipte zayıf kiriş yerine güçlü kiriş konulması çerçevenin daha düşük bir yanal deplasmanda göçmesi anlamına gelmektedir.

2.5.2.2. Rijit Kiriş Göçme Mekanizması:

Narin olmayan çaprazlar için, çekmede akma kuvveti ($=P_y$) elastik burkulma yüküne eşit veya daha büyüktür. Çünkü kiriş rijittir. B1 çaprazındaki çekme kuvveti artmaya devam eder. Kirişin orta açıklığında meydana gelen balanssız kuvvet $(P_y - P_c) \cdot \sin\theta$ 'ya eşittir. Eğer kiriş güçlü ise, B1 çaprazındaki çekme kuvveti kirişte plastik mafsall oluşmadan önce çekmede akma kuvvetine erişecektir (Şekil 2.13b nokta 4). Daha

büyük yanal deplasmanlar için (Şekil 2.13b 4-5 çubuğu) çaprazın sağladığı yanal dayanım yavaşça düşer. Çünkü B2 çaprazındaki basınç yükü artan yanal deplasmanlarla düşer.



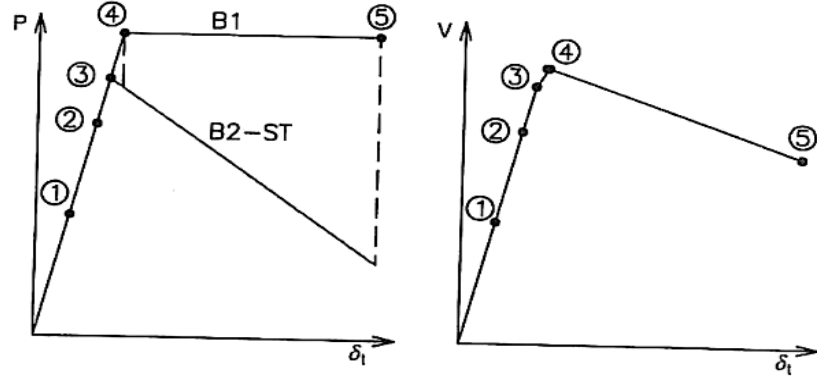
Şekil 2.12: Esnek Kirişli Merkezi Ters-V Çaprazlı Çerçevelerde Kuvvet - Yerdeğiştirme İlişkisi [2]

Orta narinlikteki çaprazlar için, çekmede akma kuvveti elastik burkulma yükünden önemli ölçüde büyüktür (**Şekil 2.13c**) ve kirişe daha büyük bir balanssız kuvvet uygulanabilir. B2 çaprazı burkulduğunda (**Şekil 2.13c** ve **Şekil 2.13d**'deki nokta 2), B1 çaprazındaki çekme kuvveti artacaktır ve B2 çaprazındaki basınç kuvveti azalacaktır. Sonuç kesme kuvveti-yanal deplasman ilişkisi **Şekil 2.14d**'de gösterildiği gibidir. Eğer orta narinlikli çaprazın burkulma sonrası teğet rijitliğinin kesin değeri çekme çaprazının elastik rijitliğinden daha büyükse, artan deplasmanla kesme kuvveti azalacaktır. Narin çaprazlar için, çekmede akma kuvveti elastik burkulma yükünden çok daha fazladır. Eğer kiriş kuvvetli ise, kirişe büyük bir balanssız kuvvet uygulanabilir. B1 çaprazındaki çekme kuvveti artacaktır ve B2 çaprazındaki basınç kuvveti azalacaktır. Narin çaprazın burkulma sonrası teğet rijitliği negatiftir, kesin değer çekme çubuğu elastik rijitliğinin 0,83 katına eşittir. Sonuç kesme kuvveti-yanal deplasman ilişkisi **Şekil 2.13f**'de gösterildiği gibidir. B2 çaprazı burkulduğunda (nokta 2), kesme kuvveti yavaşça artar. Çünkü k_e k_{bb} 'den daha büyüktür (Michel Bruneau, Chia-Ming Uang ve Andrew Whittaker, 1998) [2].

2.5.3. Çaprazlar:

Ters V-çaprazlı çerçeve sistemlerin burkulma sonrası sismik davranışı çaprazın eksenel rijitliği ile kirişin eğilme rijitliği arasındaki ilişkiye bağlıdır. Büyük kuvvetlerin yeniden dağılımı sağlanmadıkça orta rijitlikteki çaprazlardan kaçınılmalıdır.

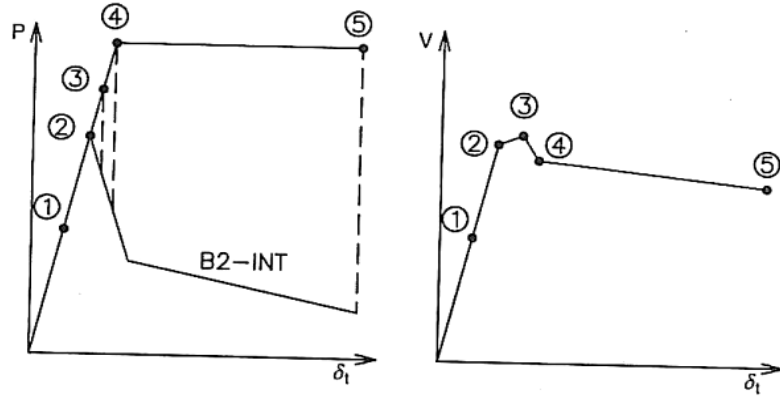
Eğer **Şekil 2.9**'da gösterilen üç kademeli kesme kuvveti-yerdeğiştirme ilişkisine benzer bir tasarım varsa, rijit kiriş hem narin hem de orta narinlikte kullanılabilir (**Şekil 2.13**). Narin çaprazlar yanal kat ötelemelerini tam olarak kontrol altında tutmak için yeterli olmayabilir ve çapraz-kiriş birleşim noktasındaki düşey balanssız kuvvet tipik bir çaprazda kirişte akmayı engellemek için çok büyük olabilir. Khatib'in analiz sonuçları mümkün olan her yerde narin olmayan çaprazların kullanımını destekliyor (Michel Bruneau, Chia-Ming Uang ve Andrew Whittaker, 1998) [2]. Narinlik oranı $700/\sqrt{F_y}$ 'ye ($=1900/\sqrt{F_y}$ (S.I.)) eşit veya daha küçük olan çaprazların kullanılmasına müsaade etmektedir; buda narin olmayan ve orta narinlikteki çaprazlara tekabül etmektedir. Farklı tip merkezi çaprazlı çerçeve sistemleri için tasarım kuvvetleri hakkındaki bilgi AISC 1995'te yer almaktadır.



a) Çerçeve dayanımı

b) Kat kesmeleri

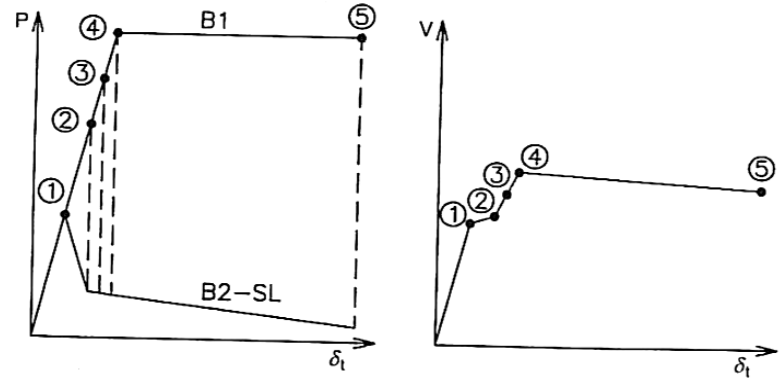
Narinliğı Düşük Çerçeveler



a) Çerçeve dayanımı

b) Kat kesmeleri

Narinliğı Normal Çerçeveler



a) Çerçeve dayanımı

b) Kat kesmeleri

Narinliğı Yüksek Çerçeveler

Şekil 2.13: Rijit Kirişli Merkezi Ters-V Çaprazlı Çerçevelerde Kuvvet – Yerdeğiştirme İlişkisi [2]

Çaprazların tasarım dayanımı, AISC LRFD şartnamesinden $0,8\phi_c P_n$ olarak hesaplanabilir (AISC, 1995) [4]. Burada ϕ_c basınç elemanı için dayanım faktörü, P_n ise çaprazın normalleştirilmiş eksenel dayanımıdır. Tasarım dayanımı plastik burkulma yüzünden dayanımdaki azalmayı hesaba katmak için normalleştirilmiş tasarım dayanımının ($=\phi_c * P_n$) %80 'ine düşürülür. Azaltma faktörü olan 0,8 katsayısı 1.a denkleminde verilen C_r', C_r oranının tek bir değeridir.

2.5.4. Bağlantı Elemanları:

Çapraz elemanlar tipik olarak kaynak veya bulonla ve guse levhaları yardımıyla kiriş ve kolona bağlanırlar. Merkezi çaprazlı çerçeve tasarım felsefesi tipik olarak çaprazın enerji sönmülmesi üzerine odaklanmaktadır. Bağlantı elemanları daima elastik tarafta kalacak şekilde tasarlanmalıdır. Kapasite tasarım prosedürleri bu tasarım hedeflerini başarmak için kullanılabilir.

AISC LRFD şartnamesi çaprazlı çerçevelerin birleşim bölgelerinin gerektirdiği bağlantı tasarımı için kapasite tasarım prosedürlerini kabul etmektedir ve çaprazın dayanımı:

- Çapraz elemanın tasarım eksenel çekme dayanımı
- Çaprazda beklenen maksimum eksenel basınç kuvveti
- Çerçeve sistem tarafından çapraza iletilen maksimum kuvvet

'ten daha büyük olmalıdır (AISC, 1995) [5]. İlk limit çaprazın kesit alanının ve çapraz malzemesinin beklenen akma gerilmesinin sonucu olarak hesaplanmalıdır. ϕ faktörü 1 alınır. İkinci limit kuvvet, deprem hareketleri yüzünden ($0,4R$ ($1,0$ 'dan daha büyük)) tasarım faktörlerinin büyütülmesi ile LRFD şartnamesindeki gibi hesaplanabilir. Burada R , yapı davranış katsayısıdır ve tasarım deprem kuvvetlerini hesaplamak için kullanılır. Bu limit bir çok çapraz elemanın normalleştirilmiş tasarım dayanımından öte stok elastik basınç dayanımına sahip olduğu anlamına gelmektedir. $0,4R$ bağlantı elemanlarındaki kuvvetin tasarım kuvvetine eşit veya daha küçük olmasını garantiler. Üçüncü limit kuvvet, hem plastik hem de lineer olmayan statik analizin kullanımıyla hesaplanabilir.

2.5.5. Kolonlar ve Kirişler:

2.5.5.1. Kolonlar:

Khatib'in 1988'de yaptığı araştırmalar rijit kiriş-narin çaprazdan oluşan bir merkezi çaprazlı çerçeve sistemin lineer olmayan davranışının önemini ortaya koymaktadır. Elemanların rijitliklerindeki küçük değişiklikler bile histerik davranışta büyük bir etkiye sahip olabilir.

Kolon-çapraz birleşim bölgesinin tasarımında yerçekimi yükü hareketleri, devrilme momenti olarak tanımlanan sismik hareketler ve düşey balanssız kuvvetten kaynaklanan hareketlerde hesaba katılmalıdır. (Khatib, I.F., Mahin, S.A. ve Pister, K.S., 1988) [8].

2.5.5.2. Kirişler:

Rijit kiriş V ve ters V merkezi çaprazlı çerçeve sistemlerin histerik davranışında önemli bir rol oynamasına rağmen, eğer makul kiriş kısımları devam ettirilmeliyse uygun olmayabilir.

LRFD şartnamesi aşağıdakileri gerektirir:

- Çapraz ile kesişen kiriş, kolonlar arasında sürekli olmalıdır. (kirişte plastik mafsala izin vermek ve kuvvetlerin yeniden dağılımını sağlamak için)
- V-çaprazı ile kesişen kiriş, çaprazın yerçekimi yüklerini bağımsız olarak karşılayabilmelidir.
- V-çaprazlarının kesişim bölgesindeki kirişin üst ve alt flanşları yanal olarak berkitilmelidir (AISC, 1995) [5].

2.5.6. Geliştirilmiş Ters V-Çaprazlı Konfigürasyonlar:

Geleneksel geometrilili merkezi çaprazlı çerçevelerin sismik davranışı çapraz narinliği, geometrisi ve kiriş rijitliği, dayanımını içeren faktörlere bağlıdır. Davranışlar; çaprazlar, kirişler ve kolonlar arasındaki kompleks etkileşim ile tanımlanır ve temel tasarım parametreleri arasındaki optimum ilişkinin analiz ve tasarım için kullanılan yer hareketlerine bağlı olduğu bulunmuştur (Khatib, I.F., Mahin, S.A. ve Pister, K.S., 1988) [8].

Tasarım ve analiz için kullanılan yer hareketlerinin karakteristikleri gibi bazı faktörler V ve ters V-çaprazlı çerçeve sistemlerin davranışının etkilerini azaltma eğilimindedir. Khatib aşağıdaki hedeflerle temel ters V konfigürasyonundaki basit değişkenlerin sismik davranışı üzerinde çalışmalar yapmıştır:

- Zayıf kat oluşumu olasılığının azaltılması.
- Burkulma sonrası kuvvetlerin yeniden dağılımının etkilerinin azaltılması.
- Üç kademeli kesme kuvveti-yerdeğiştirme ilişkisini elde etmek.

V-çaprazlı çerçevelerin ters V-çaprazlı çerçevelerden basit bir farkı vardır: Bu konfigürasyonun potansiyel avantajı; burkulmayı geciktirmesi ve çaprazları korumasıdır. Ancak yerçekimi kuvvetleri tipik olarak indirgenmiş deprem kuvvetlerinden daha küçük olacaktır ve muhtemelen küçük bir fayda sağlayacaktır. VREG kolon eksenel kuvvetleri INVV çerçevelerinkinden önemli ölçüde daha büyüktür.Çünkü çapraz kuvvetleri kolonun alt ucuna iletmektense üst ucuna iletilir ve çapraz-kiriş kesişim noktasındaki düşey atalet kuvvetleri yüzünden çapraz kuvvetlerinin büyüklüğü artar. X-çaprazlı çerçeveler (XREG) ters V-çaprazlı çerçevelere alternatif olarak sıkça kullanılır. Bu konfigürasyonun iki temel avantajı vardır: Düşey balanssız kuvvetler çaprazların bağlı olduğu kiriş üzerine empoze edilmez ve eğer çaprazlar narinse üç kademeli histerik davranış başlangıç çevrimsel yüklemesinden elde edilebilir. STG konfigürasyonu düşey çapraz elemanları çalıştırır (Khatib, I.F., Mahin, S.A. ve Pister, K.S., 1988) [8].Bu konfigürasyonun avantajları:

- Çekmeye çalışan çaprazlar akma dayanımlarını arttırabilirler.
- Üç kademeli histerik davranış elde edilir.

ZIP konfigürasyonunun amacı tüm çapraz-kiriş kesişim noktalarını birleştirmektir.

ZIP çerçevelerin diğer konfigürasyonlardan farkları:

- ZIP çerçevelerin davranışı yer hareketi karakteristiklerine daha az duyarlıdır.
- ZIP çerçeveler hasarı daha üniform olarak dağıtır.
- ZIP çerçeveler üç kademeli kesme kuvveti-yerdeğiştirme ilişkisini geliştirir.
- ZIP çerçeve anlayışı esnek kiriş ve orta narinlikteki çaprazla başarılı bir şekilde uygulanabilir.

3. ÇAPRAZLI ÇERÇEVELER İÇİN AISC TASARIM KURALLARI

3.1. Tanım

Süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı çerçevelerden yer hareketlerinden meydana gelen kuvvetlere maruz kaldıklarında önemli inelastik deformasyonlara karşı dayanmaları beklenmektedir. Bu bölümde süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı çerçevelerin tasarımındaki gereksinimlerden bahsedilecektir.

3.2. Elemanlar

3.2.1. Narinlik

Çapraz elemanlar $Kl/r \leq 4\sqrt{E / F_y}$ eşitliğini sağlayacaktır.

Açıklama: Mevcut kolon dayanımının R_y (LRFD) veya $(1/1,5) R_y$ (ASD)'nin çapraz eleman birleşiminin tasarım dayanımı ile çarpımına göre en az kolona transfer olan maksimum yüke eşit olduğu çerçevelerde çapraz narinliği $4\sqrt{E / F_y} \leq Kl/r \leq 200$ ile sınırlandırılır.

3.2.2. Gerekli Dayanım

Etkili net alanın brüt alandan küçük olduğu çapraz elemanlarda, net kesitteki kırılma limit durumunu esas alan çaprazın gerekli çekme dayanımı aşağıdaki değerlerin küçük olanından büyük olacaktır.

(a) $R_y F_y A_g$ (LRFD) veya $R_y F_y A_g / 1,5$ (ASD) olarak belirlenen çapraz elemanın tasarım eksenel çekme dayanımı.

(b) Statik hesaplarda bulunan sistem tarafından çapraz elemana aktarılan kuvvetlerin büyüğü.

3.2.3. Yatay Yüklerin Dağılımı

Herhangi bir merkezi çaprazlı çerçeve aksındaki çapraz elemanlar, o aks doğrultusundaki deprem yönünde etkiyen yatay kuvvetlerin en az %30'u ve en çok

%70'i, basınç çaprazlarının mevcut dayanımı attırılmış deprem yüklerini kapsayan uygulanabilir yapı kurallarını öngören uygun yük kombinasyonlarının uygulanmasından elde edilen dayanımdan daha büyük olmadıkça çekme çaprazları tarafından karşılanır.

3.2.4. Genişlik-Kalınlık Sınırlamaları

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.

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 (a), (c), (e), (g), (h)	b/t	$0,30\sqrt{E / F_y}$
	Üniform basınç etkisindeki I kesitler (b), (h)	b/t	$0,30\sqrt{E / F_y}$
	Üniform basınç etkisindeki I kesitler (d)	b/t	$0,38\sqrt{E / F_y}$
	Üniform basınç etkisindeki U kesitler, birbirine bitişik korniyer çiftleri ve çaprazlar (c), (g)	b/t	$0,30\sqrt{E / F_y}$
	Bağ levhaları (f)	b/t	2,5
	Üniform basınç etkisindeki tek korniyer ve ayırık çift korniyerler (g)	b/t	$0,30\sqrt{E / F_y}$
	Üniform basınç etkisindeki dairesel halka kesitler (borular) (g)	d/t	$0,30\sqrt{E / F_y}$
Not: Rijitleştirilmiş Elemanlar için tablonun devamı arka sayfadadır.			

(a) Süneklik düzeyi yüksek moment aktaran çerçeve ve süneklik düzeyi yüksek plak kesme duvarları kirişleri için

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 eksenel basınç etkisindeki Süneklik Düzeyi Yüksek Moment Aktaran Çerçeve kirişlerinin gövdeleri	h/t_w	$2,45\sqrt{E / F_y}$
	Eğilme ve eksenel basınç etkisindeki kesitlerin gövdeleri (a), (c), (g), (h), (ı), (i)	h/t_w	$C_a \leq 0,125$ için (j) $3,14\sqrt{\frac{E}{F_y}}(1 - 1,54C_a)$
			$C_a > 0,125$ için (j) $1,12\sqrt{\frac{E}{F_y}}(2,33 - C_a) \geq 1,49\sqrt{\frac{E}{F_y}}$
	Eğilme ve eksenel basınç etkisindeki dairesel halka kesitler (borular) (c), (g)	D/t	$0,044E / F_y$
	Eğilme ve eksenel basınç etkisindeki dikdörtgen tüp kesitler (c), (g)	b/t veya h/t_w	$0,64\sqrt{E / F_y}$

(b) Süneklik düzeyi yüksek moment aktaran çerçeve kolonları için

(c) Süneklik düzeyi yüksek ve normal olan merkezi çaprazlı çerçevelerin çapraz ve kolonları için

(d) Dışmerkez çaprazlı çerçeve kolonları için

(e) Dışmerkez çaprazlı çerçevelerin bağ kirişleri için

(h) Burkulma dayanımına sahip çaprazlı çerçevelerin kiriş ve kolonları için

(ı) Süneklik düzeyi yüksek plak kesme duvarları kolonları için

(i) Dışmerkez çaprazlı çerçeve ve süneklik düzeyi yüksek moment aktaran çerçeve kolonları için

$$C_a \leq 0,125 \text{ için } \lambda_p = 3,76 \sqrt{\frac{E}{F_y}} (1 - 2,75 C_a) \quad (3.1)$$

$$C_a > 0,125 \text{ için } \lambda_p = 1,12 \sqrt{\frac{E}{F_y}} (2,33 - C_a) \geq 1,49 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (3.2)$$

$$\text{LRFD için } C_a = \frac{P_u}{\phi_b P_y} \quad (3.3)$$

$$\text{ASD için } C_a = \frac{\Omega_b P_a}{P_y} \quad (3.4)$$

P_a = gerekli basınç dayanımı (ASD), (N)

P_u = gerekli basınç dayanımı (LRFD), (N)

P_y = eksenel akma dayanımı, (N)

$\phi_b = 0,90$

$\Omega_b = 1,67$

3.3. Çapraz Birleşimlerinin Gerekli Dayanımı

3.3.1. Gerekli Çekme Dayanımı

Çapraz elemanların birleşimleri aşağıda tanımlanan yüklerin en küçüğünü taşıyabilecek dayanıma sahip olmalıdır:

(a) $R_y F_y A_g$ (LRFD) [10] veya $R_y F_y A_g / 1,5$ (ASD) [11] olarak belirlenen çapraz elemanın çekmedeki akma dayanımı

(b) Statik hesapla bulunan sistem tarafından çapraz elemana aktarılan kuvvetlerin büyüğü

3.3.2. Gerekli Eğilme Dayanımı

Çapraz eleman birleşiminin gerekli eğilme dayanımı, çapraz elemanın kritik burkulma ekseninde beklenen tasarım eğilme dayanımı $1,1 R_y M_p$ (LRFD) [10] veya $(1,1/1,5) R_y M_p$ 'ye (ASD) [11] eşit veya daha büyük olacaktır.

3.3.3. Gerekli Basınç Dayanımı

Çapraz birleşimleri en az $1,1 R_y P_n$ (LRFD) [10] veya $(1,1/1,5)R_y P_n$ 'ye (ASD) [11] eşit burkulma limit durumu temel alınarak hesaplanan bir basınç dayanımı için tasarlanacaktır. Burada P_n çaprazın nominal basınç dayanımıdır.

3.4. Özel Çapraz Düzenleri İçin Ek Koşullar

3.4.1. V-Tipi veya Ters V-Tipi Çaprazlar

V ve ters V-tipi çaprazlı çerçeveler aşağıdaki koşulları sağlamalıdır:

(1) Çaprazlarla birleşen kirişler ve diğer birleşimlerin dayanımı uygulanabilir yapı kurallarının yük kombinasyonları esas alınarak belirlenecektir.

(a) Tüm çekme çaprazlarındaki kuvvetlerin $R_y F_y A_g$ 'ye eşit olduğu varsayılacaktır.

(b) Tüm basınç çaprazlarındaki kuvvetlerin $0,3 P_n$ 'ye eşit olduğu varsayılacaktır.

(2) Çaprazların bağlandığı kirişler kolonlarla sürekli olacaktır. Kirişin her iki başlığı da yanal olarak mesnetlenecektir.

3.4.2. K-Tipi Çaprazlar

Süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı çerçevelerde K-tipi çaprazlı çerçevelere izin verilmez.

3.4.3. Kolon Ekleri

Süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı çerçeve kolon ekleri bağlanan elemanların mevcut eğilme dayanımının %50'sine göre boyutlandırılacaktır. Gerekli kesme dayanımı $\sum M_{pc} / H$ (LRFD) veya $\sum M_{pc} / 1,5H$ (ASD) olacaktır. Burada $\sum M_{pc}$ ekin altında ve üstündeki kolonların nominal plastik eğilme dayanımları toplamıdır.

3.5. Süneklik Düzeyi Normal Merkezi Çaprazlı Çerçeveler

3.5.1. Tanım

Süneklik düzeyi normal merkezi çaprazlı çerçevelerin yer hareketlerinden meydana gelen kuvvetlere maruz kaldıklarında sınırlı ölçüde inelastik deformasyonlara dayanmaları beklenmektedir. Bu bölümde süneklik düzeyi normal merkezi çaprazlı çerçevelerin tasarımındaki gereksinimlerden ve ayrıca sismik olarak izole edilmiş

süneklik düzeyi normal merkezi çaprazlı çerçevelerden ve gereksinimlerinden bahsedilecektir.

3.5.2. Çapraz Elemanlar

Çapraz elemanlar **Tablo 3.1a** ve **Tablo 3.1b**'deki enkesit kurallarına uyacaktır.

Açıklama : İçi betonla doldurulmuş dairesel halka kesitli çaprazlar bu koşula uymak zorunda değildir.

K-tipi, V ve ters V-tipi çapraz elemanlar $Kl / r \leq 4\sqrt{E / F_y}$ eşitliğini sağlayacaktır.

3.5.3. Özel Çapraz Düzenleri İçin Ek Koşullar

V ve ters V-tipi süneklik düzeyi normal merkezi çaprazlı çerçeve kirişleri ve K-tipi süneklik düzeyi normal merkezi çaprazlı çerçeve kolonları kiriş-kolon birleşimleri yanında çapraz birleşimlerinde de sürekli olacak ve aşağıdaki koşulları sağlayacaktır:

(1) Çaprazlarla birleşen kirişler ve diğer birleşimlerin dayanımı uygulanabilir yapı kurallarının yük kombinasyonları esas alınarak belirlenecektir.

(a) Tüm çekme çaprazlarındaki kuvvetlerin $R_y F_y A_g$ 'ye eşit olduğu varsayılacaktır. V ve ters V-tipi süneklik düzeyi normal merkezi çaprazlı çerçeveler için, çekme çaprazlarındaki kuvvetler sistem tarafından üretilecek maksimum kuvveti aşmamalıdır.

(b) Tüm basınç çaprazlarındaki kuvvetlerin $0,3 P_n$ 'ye eşit olduğu varsayılacaktır.

(2) Çaprazların bağlandığı kirişler kolonlarla sürekli olacaktır. Kirişin her iki başlığı da yanal olarak mesnetlenecektir.

3.5.4. Çapraz Birleşimleri

Çapraz birleşimlerinin gerekli dayanımı aşağıdaki gibi belirlenecektir:

(1) Bulon kesme kırılması limit durumu için çapraz birleşiminin gerekli dayanımı uygulanabilir yapı kuralları tarafından öngörülen yük kombinasyonları kullanılarak belirlenecektir, arttırılmış deprem yükleri göz önüne alınmayacaktır.

(2) Diğer limit durumlar için çapraz birleşiminin gerekli dayanımı çaprazın çekmedeki akma dayanımıdır ve $R_y F_y A_g$ (LRFD) veya $R_y F_y A_g / 1,5$ (ASD) olarak belirlenecektir.

Açıklama : Çapraz birleşiminin gerekli dayanımı aşağıdaki diğer kuralları aşmamalıdır:

(a) Sistem tarafından üretilebilecek maksimum kuvvet

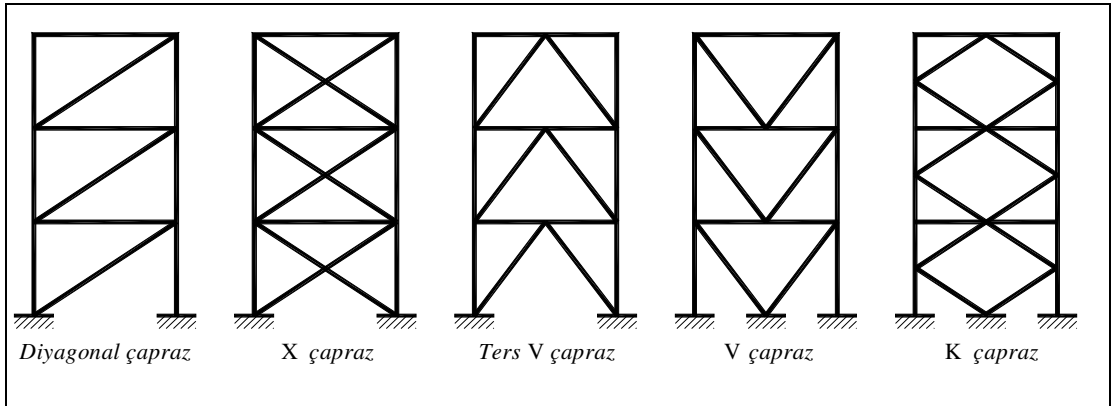
(b) Arttırılmış deprem yükü kullanımını temel alan bir yük etkisi

4. MERKEZİ ÇAPRAZLI ÇERÇEVELER İÇİN DBYBHY TASARIM KURALLARI

4.1. Merkezi 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.

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

4.2. Süneklik Düzeyi Yüksek Merkezi Çelik Çaprazlı Perdeler

Süneklik düzeyi yüksek merkezi çelik çaprazlı perdeler, basınç elemanlarının bazılarının burkulması halinde dahi, sistemde önemli ölçüde dayanım kaybı meydana gelmeyecek şekilde boyutlandırılırlar. Bu sistemlerin boyutlandırılmasında uygulanacak kurallar aşağıda verilmiştir.

4.2.1. Enkesit Koşulları

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

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

4.2.1.3. 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 eksenel 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. Yatay Yüklerin Dağılımı

Binanın bir aksı üzerindeki merkezi çapraz elemanlar, o aks doğrultusundaki depremde ve her bir deprem yönünde etkiyen yatay kuvvetlerin en az % 30' u ve en çok % 70' i basınca çalışan çaprazlar tarafından karşılanacak şekilde düzenlenecektir.

4.2.3. Çaprazların Birleşimleri

4.2.3.1. 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 eksenel kuvvet (çekme veya basınç) kapasitesi.

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

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

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/2t 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	$3.2\sqrt{E_s/\sigma_a}$	$5.0\sqrt{E_s/\sigma_a}$
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 $5.0\sqrt{E_s/\sigma_a} \left(1 - 1.7 \left \frac{N_d}{\sigma_a A} \right \right)$
		$ 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	$0.7\sqrt{E_s/\sigma_a}$	$1.2\sqrt{E_s/\sigma_a}$
Tanımlar b : I kesitlerinde yarım başlık genişliği U kesitleri ve dikdörtgen kutu kesitlerde başlık genişliği h : I, U, T kesitleri ve dikdörtgen kutu kesitlerde gövde yüksekliği L kesitlerinde büyük kenar uzunluğu D : dairesel halka kesitlerde (borularda) dış çap t : I, U, T kesitleri ve dikdörtgen kutu kesitlerde başlık kalınlığı halka kesitlerde (borularda) kalınlık t_w : I, U, T, L kesitleri ve dikdörtgen kutu kesitlerde gövde kalınlığı			

$$1,0 G + 1,0 Q \pm \Omega_0 E \quad (4.1)$$

$$0,9 G \pm \Omega_0 E \quad (4.2)$$

4.2.3.2. Birleşimin taşıma kapasitesinin hesabında;

$$\text{Tam penetrasyonlu kaynak} : \sigma_a \quad (4.3)$$

Kısmi penetrasyonlu kaynak

$$\text{ve köşe kaynağı} : 1,7\sigma_{em} \quad (4.4)$$

$$\text{Bulonlu birleşimler} : 1,7\sigma_{em} \quad (4.5)$$

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

4.2.3.3. Çaprazları kolonlara ve/veya kirişlere bağlayan düğüm noktası levhaları aşağıdaki iki koşulu da sağlayacaklardır:

(a) Düğüm noktası levhasının düzlemi içindeki eğilme kapasitesi, düğüm noktasına birleşen çaprazın eğilme kapasitesinden daha az olmayacaktır.

(b) Düğüm noktası levhasının düzlem dışına burkulmasının önlenmesi amacıyla, çaprazın ucunun kiriş veya kolon yüzüne uzaklığı düğüm levhası kalınlığının iki katından daha fazla olmayacaktır. Buna uyulmadığı durumlarda, ilave berkitme levhaları kullanarak, düğüm levhasının düzlem dışına burkulması önlenecektir.

4.2.4. Özel Çapraz Düzenleri İçin Ek Koşullar

4.2.4.1. V veya ters V şeklindeki çapraz sistemlerinin sağlaması gereken ek koşullar aşağıda verilmiştir:

(a) Çaprazların bağlandığı kirişler sürekli olacaktır.

(b) Çapraz elemanlar düşey yüklerin ve deprem yüklerinin ortak etkisi altında boyutlandırılacaktır. Ancak çaprazların bağlandığı kirişler ve uç bağlantıları, çaprazların yok sayılması durumunda, kendi üzerindeki düşey yükleri güvenle taşıyacak şekilde boyutlandırılacaktır.

(c) Kirişlerin üst ve alt başlıkları, yanal doğrultuda mesnetlenecektir. Kirişlerin yanal doğrultuda mesnetlendiği noktalar arasındaki ℓ_b uzaklığı:

$$\ell_b \leq 0,086 \frac{r_y E_s}{\sigma_a} \quad (4.6)$$

koşulunu sağlayacaktır. Ayrıca, tekil yüklerin etkidiği noktalar, kiriş enkesitinin ani olarak değiştiği noktalar ve sistemin doğrusal olmayan şekildeğiştirilmesi sırasında plastik mafsalları oluşabilecek noktalarda yanal doğrultuda mesnetlenecektir.

(d) Yanal doğrultudaki mesnetlerin gerekli basınç ve çekme dayanımı, kiriş başlığının eksenel çekme kapasitesinin 0,02'sinden daha az olmayacaktır.

(e) Betonarme döşemelerin çelik kirişler ile kompozit olarak çalıştığı çelik taşıyıcı sistemlerde, kirişlerin betonarme döşemeye bağlanan başlıklarında, yukarıdaki koşullara uyulması zorunlu değildir.

4.2.4.2. Süneklik düzeyi yüksek merkezi çelik çaprazlı perdelerde K şeklindeki (çaprazların kolon orta noktasına bağlandığı) çapraz düzenine izin verilemez.

4.2.5. Kolon Ekleri

4.2.5.1. Kolon ekleri kolon serbest yüksekliğinin ortadaki 1/3'lük bölgesinde yapılacaktır.

4.2.5.2. Kolon eklerinin eğilme momenti dayanımı eklenen elemanlardan küçüğünün eğilme kapasitesinin % 50'sinden, kesme kuvveti dayanımı ise eklenen elemanlardan küçüğünün kesme kapasitesinden daha az olmayacaktır. Ayrıca, birinci ve ikinci derece deprem bölgelerinde, kolon eklerinin eksenel kuvvet taşıma güçleri; **Denk. (4.1)** ve **Denk. (4.2)** ile verilen arttırılmış deprem yüklemelerinden oluşan basınç ve çekme kuvvetleri altında da (eğilme momentleri göz önüne alınmaksızın) yeterli olacaktır. Ek elemanlarının hesabında; **Denk. (4.3–4.4–4.5)**'te verilen kaynak ve bulon gerilme kapasiteleri kullanılacaktır.

4.3. Süneklik Düzeyi Normal Merkezi Çelik Çaprazlı Perdeler

Süneklik düzeyi normal çelik çaprazlı perdelerin boyutlandırılmasında uygulanacak kurallar aşağıda belirtilmiştir.

4.3.1. Enkesit Koşulları

4.3.1.1. Süneklik düzeyi normal merkezi çelik çaprazlı perdelerin kiriş, kolon ve çaprazlarında, başlık genişliği/kalınlığı ve gövde yüksekliği/kalınlığı oranlarına ilişkin koşullar **Tablo 4.1**'de verilmiştir. Ancak, en çok iki katlı binalarda, gerekli bölgesel burkulma tahkiklerinin yapılması ve buna bağlı olarak emniyet gerilmelerinin uygun şekilde azaltılması koşulu ile, bu sınırların aşılmasına izin

verilebilir.

4.3.1.2. Basınca çalışan çaprazların narinlik oranı (çubuk burkulma boyu/atalet yarıçapı) $4,0\sqrt{E_s / \sigma_a}$ sınır değerini aşmayacaktır.

4.3.1.3. Çok parçalı çaprazlarda, TS648'in bağ levhalarına ilişkin kuralları geçerlidir. Her çubukta en az iki bağ levhası kullanılacaktır [12].

4.3.1.4. Sadece çekme kuvveti taşıyacak şekilde hesaplanan çaprazlarda narinlik oranı 250'yi aşmayacaktır. Ancak, en çok iki katlı binalardaki çapraz elemanların, **DBYBHY - Bölüm 4'e** göre hesaplanan çekme kuvvetinin **Tablo 4.2'deki** Ω_o katsayısı ile çarpımını taşıyacak şekilde boyutlandırılmaları halinde, bu kural uygulanmayabilir.

Tablo 4.2: Büyütme Katsayıları

Taşıyıcı Sistem Türü	Ω_o
Süneklik düzeyi yüksek çerçeveler	2.5
Süneklik düzeyi normal çerçeveler	2.0
Merkezi çelik çaprazlı perdeler (süneklik düzeyi yüksek veya normal)	2.0
Dışmerkez çelik çaprazlı perdeler	2.5

4.3.2. Çaprazların Birleşimleri

4.3.2.1. 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 eksenel kuvvet (çekme veya basınç) kapasitesi.

(b) **Denk. (4.1)** ve **Denk. (4.2)**'de verilen arttırılmış yüklemelerden meydana gelen çapraz eksenel kuvveti.

(c) Düğüm noktasına birleşen diğer elemanlar tarafından söz konusu çaprazla aktarılabilecek en büyük kuvvet.

4.3.2.2. Birleşimin taşıma kapasitesinin hesabında **4.2.3.2.**'de verilen gerilme sınır değerleri kullanılacaktır.

4.3.2.3. Süneklik düzeyi yüksek merkezi çelik çaprazlı perdeler için **4.2.3.3.**'te verilen koşullar süneklik düzeyi normal merkezi çelik çaprazlı perdeler için de geçerlidir.

4.3.3. Özel Çapraz Düzenleri İçin Ek Koşullar

4.3.3.1. Süneklik düzeyi yüksek merkezi çelik çaprazlı perdeler için yukarıda **4.2.4.1(a)** ve **4.2.4.1(b)**'de verilen koşullar süneklik düzeyi normal merkezi çelik çaprazlı perdeler için de geçerlidir.

4.3.3.2. - Süneklik düzeyi normal çerçevelerin kirişleri için verilen aşağıdaki koşullar çaprazların bağlandığı kirişler için de aynen geçerlidir.

(a) Kirişlerin üst ve alt başlıkları, yanal doğrultuda mesnetlenecektir. Kirişlerin yanal doğrultuda mesnetlendiği noktalar arasındaki ℓ_b uzaklığı:

$$\ell_b \leq 0,086 \frac{r_y E_s}{\sigma_a} \quad (4.7)$$

koşulunu sağlayacaktır. Ayrıca, tekil yüklerin etkidiği noktalar, kiriş enkesitinin ani olarak değiştiği noktalar ve sistemin doğrusal olmayan şekildeğiştirmesi sırasında plastik mafsallık oluşabilecek noktalarda yanal doğrultuda mesnetlenecektir.

(b) Yanal doğrultudaki mesnetlerin gerekli basınç ve çekme dayanımı, kiriş başlığının eksenel çekme kapasitesinin 0,02'sinden daha az olmayacaktır.

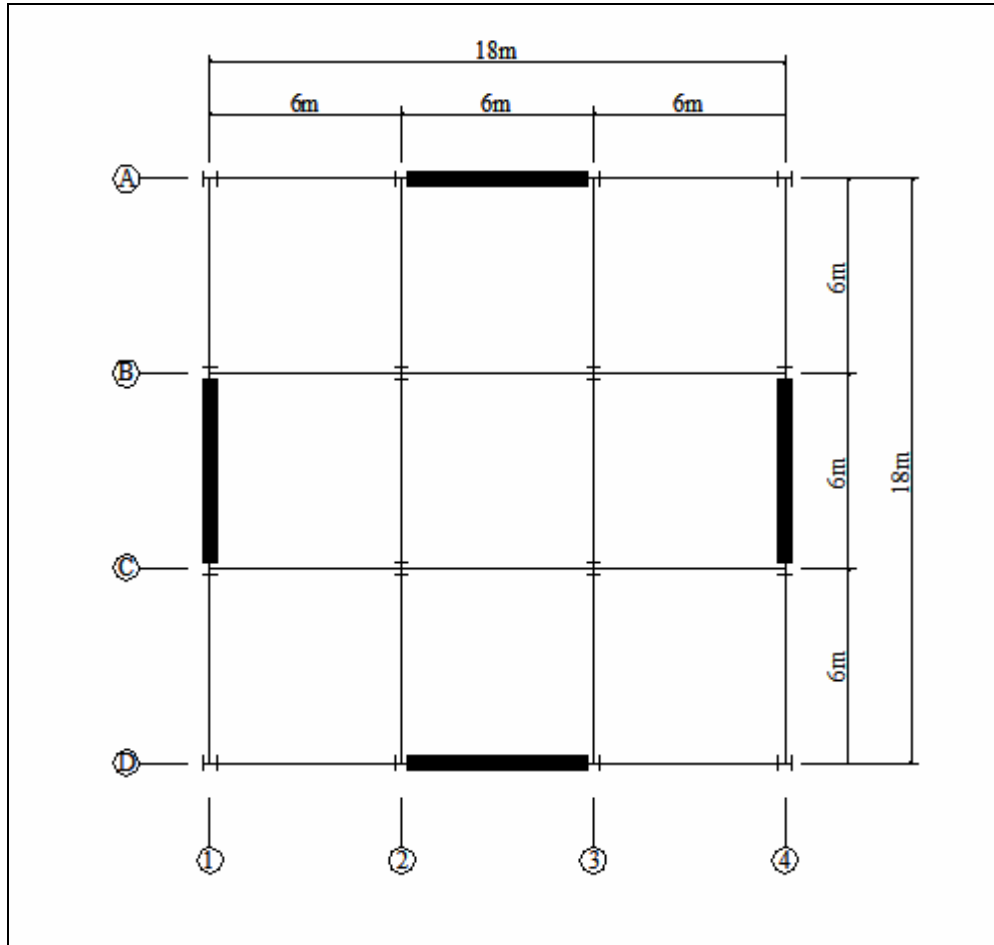
(c) Betonarme döşemelerin çelik kirişler ile kompozit olarak çalıştığı çelik taşıyıcı sistemlerde yukarıdaki koşullara uyulması zorunlu değildir.

5. ÖRNEK BİR YAPININ MERKEZİ ÇAPRAZLI ÇERÇEVE SİSTEMLERLE MODELLENMESİNE AİT SAYISAL İNCELEME

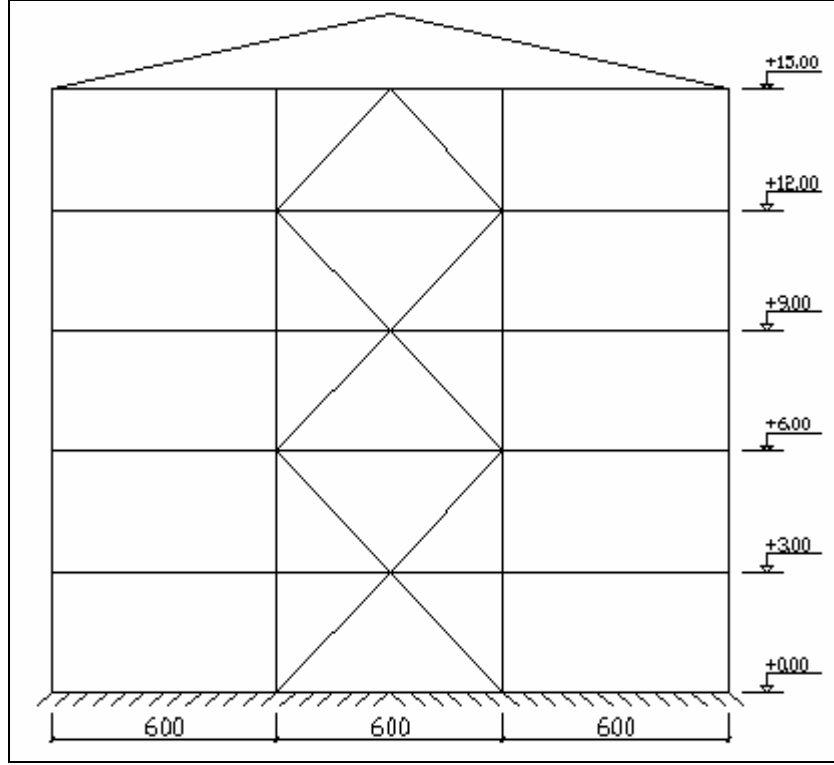
5.1. Giriş

5.1.1. Yapının Tanıtılması

Yapı 324 m^2 ($18 \text{ m} * 18 \text{ m}$) taban alanlı, 5 katlı bir iş merkezidir. Kat yüksekliği 3 m olup, toplam bina yüksekliği 15 m'dir. Yapı her iki doğrultuda simetriktir. Taşıyıcı sistemde çerçeve aralığı 6 m olup, 3 açıklıktan oluşmaktadır. Kenar akslardaki orta açıklıklara çapraz elemanlar yerleştirilecektir. (bkz. **Şekil 5.1**)



Şekil 5.1 : Yapının Plan Görünüşü



Şekil 5.2 : Yapının Enkesit Görünüşü

5.1.2. Yapıya Etkiyen Düşey Yükler

Çatı katı:

Çatı kaplaması, izolasyon, döşeme, sıva, tesisat vb.	3,5 kN/m ²
Kar yükü [13].....	0,75 kN/m ²
Hareketli yük [13].....	2,0 kN/m ²
Dış duvar yükü (parapet, h = 1,0 m).....	0,75 kN/m ²

Normal katlar:

Döşeme, kaplama, izolasyon, duvar, sıva, tesisat vb.	4,5 kN/m ²
Hareketli yük [13].....	5,0 kN/m ²
Duvar yükü(h = 3,0 m).....	2,25 kN/m ²

Kiriş ve kolonların kendi ağırlıklarını Sap 2000 programında ‘Load Case’ bölümüne G=1 değeri verilerek programın kendisinin hesaplaması sağlanmıştır.

5.1.3. 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	: $R = 5$ (süneklik düzeyi yüksek sistem) : $R = 4$ (süneklik düzeyi normal sistem)
Hareketli yük katılım katsayısı	: $n = 0.30$

5.1.4. Düzensizliklerin Kontrolü

Bina kat planında çıkıntıların olmaması, döşeme süreksizliklerinin ve döşemelerde büyük boşlukların bulunmaması, yatay yük taşıyıcı sistemlerin planda düzenli olarak yerleşmesi nedeniyle planda düzensizlik durumları mevcut değildir.

Benzer şekilde, taşıyıcı sistemin düşey elemanlarında süreksizliklerin ve ani rijitlik değişimlerin olmaması ve kat kütlelerinin yapı yüksekliği boyunca değişiklik göstermemesi nedeniyle düşey doğrultuda düzensizlik durumları da mevcut değildir.

5.1.5. DBYBHY’de Belirtilen Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi

5.1.5.1. Binanın Birinci Doğal Titreşim Periyodunun Belirlenmesi

Binanın deprem yüklerinin hesaplanmasında kullanılacak toplam ağırlığı, W , **Denk.(5.1)** ve **Denk.(5.2)** ile belirlenecektir.

$$W = \sum_{i=1}^N w_i \quad (5.1)$$

$$w_i = g_i + nq_i \quad (5.2)$$

Denk.(5.2)’de yer alan hareketli yük artırım katsayısı, n , **Tablo 5.1**’de verilmiştir. Kar yüklerinin %30’u sabit yük olarak göz önüne alınacaktır.

Tablo 5.1 : Hareketli Yük Katılım Katsayısı (n) [14]

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

Yapıdaki kolon yerleşimleri neticesinde x yönündeki deprem etkisinde, deprem kuvvetlerinin yarısı 1-1 aksına diğer yarısı da 4-4 aksına gelmektedir. Düşey yüklerin hesabında ise 1-1 ve 4-4 aksına gelen yükler esas alınarak hesap yapılacaktır. 1-1 aksına gelen deprem yüklerinin belirlenmesinde kullanılacak toplam ağırlık:

$$g_1 = g_2 = g_3 = g_4 = 4,5 * 18 * 9 + 2,25 * (12 + 12) = 783kN$$

$$q_1 = q_2 = q_3 = q_4 = 5 * 18 * 9 = 810kN$$

$$g_5 = (3,5 + 0,30 * 0,75) * 18 * 9 + 0,75 * (12 + 12) = 621,45kN$$

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

$$w_i = g_i + nq_i$$

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

$$w_1 = w_2 = w_3 = w_4 = 783 + 0,3 * 810 = 1026kN$$

$$w_5 = 621,45 + 0,3 * 409,05 = 744,17kN$$

$$W = \sum_{i=1}^5 w_i = 4 * 1026 + 744,17 = 4848,17kN$$

$$m_1 = m_2 = m_3 = m_4 = 1026 / 9,81 = 104,59ton$$

$$m_5 = 744,17 / 9,81 = 75,88ton$$

Doğal titreşim periyodunun bulunmasında Sap 2000 programı kullanıldı. Programa kırılganlık verilen 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 her kat için kat ağırlık merkezine denk gelen orta açıklık kirişlerinin orta noktalarına ‘Special Joint’ ler koyulup bu noktalara ‘Global X’ doğrultusunda etkiyen kütleler olarak atandılar. Sistem model analiz ile çözülerek periyot elde edilmiştir.

Süneklik düzeyi yüksek sistemin X-doğrultusundaki periyodu:

$$T_X = 0,5084$$

Süneklik düzeyi normal sistemin X-doğrultusundaki periyodu:

$$T_X = 0,4735$$

Yapı deprem kuvvetlerini merkezi çaprazlı çerçevelerin taşıdığı sistem olarak tasarlandığı için ve her iki doğrultuda da çaprazlı sistemler aynı seçildiği için sadece bir doğrultuda hesap yapılacaktır.

5.1.5.2. Toplam Eşdeğer Deprem Yükünün Belirlenmesi

Deprem etkileri altında uygulanacak hesap yönteminin seçimine ilişkin olarak, Deprem Yönetmeliği **Madde 2.6.2’**ye göre, bina yüksekliğinin

$$H_N = 15m < 40m$$

olması ve taşıyıcı sistemde burulma ve yumuşak kat düzensizliklerinin bulunmaması nedeniyle eşdeğer deprem yükü yöntemi kullanılacaktır.

Binanın tümüne, göz önüne alınan deprem doğrultusunda, etkiyen toplam eşdeğer deprem yükü (taban kesme kuvveti), V_t , **Denk.(5.3)**'deki gibi belirlenecektir.

$$V_t = \frac{WA(T_1)}{R_a(T_1)} \geq 0,1A_0IW \quad (5.3)$$

5.1.5.2.1. Elastik Deprem Yüklerinin Tanımlanması

Denk.(5.3)'de verilen $A(T)$ spektral ivme katsayısı, **Denk.(5.4)**'deki gibi, $S(T)$ spektrum katsayısı **Denk.(5.5)**'deki gibi hesaplanacaktır.

$$A(T) = A_o IS(T) \quad (5.4)$$

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

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

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

Periyotlar **Denk.(5.5c)** 'deki ($T_B < T$) koşuluna uyduğu için spektrum katsayısı $S(T) = 2,5(T_B / T)^{0,8}$ formülüne göre hesaplanacaktır.

Süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı sistem için;

$$S(T) = 2,5 * (0,40 / 0,5084)^{0,8} = 2,06$$

Tablo 5.2: Etkin Yer İvmesi Katsayısı (A_0) [14]

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

$$A_o = 0,40$$

$$I = 1,0$$

$$A(T) = A_o IS(T) = 0,40 * 1,0 * 2,06 = 0,82$$

Tablo 5.3: Bina Önem Katsayısı (I) [14]

Binanın Kullanım Amacı ve Türü	(I)
1. Deprem sonrası kullanımı gereken binalar ve tehlikeli maddeler içeren binalar, 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) b) Toksik, patlayıcı, parlayıcı, vb özellikleri olan maddelerin bulunduğu veya depolandığı binalar.	1,5
2. İnsanların uzun süreli ve yoğun olarak bulunduğu ve değerli eşyanın saklandığı binalar, a) Okullar, diğer eğitim bina ve tesisleri, yurt ve yatakhaneler, askeri kışlalar, cezaevleri, vb. b) Müzeler.	1,4
3. İnsanların kısa süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar, Spor tesisleri, sinema, tiyatro ve konser salonları, vb.	1,2
4. Diğer binalar, Yukarıda tanımlara girmeyen diğer binalar (Konutlar, işyerleri, oteller,bina türü endüstri yapıları, vb.)	1,0

Tablo 5.4: Spektrum Karakteristik Periyotları (T_A , T_B) [14]

Yerel Zemin Sınıfı	T_A (saniye)	T_B (saniye)
Z1	0,10	0,30
Z2	0,15	0,40

5.1.5.2.2. Elastik Deprem Yüklerinin Azaltılması

Depremde taşıyıcı sistemin kendine özgü doğrusal elastik olmayan davranışını göz önüne almak üzere, **Tablo 5.2'**de verilen spektral ivme katsayısına göre bulunacak elastik deprem yükleri, aşağıda tanımlanan deprem yükü azaltma katsayısına bölünecektir. Deprem yükü azaltma katsayısı, çeşitli taşıyıcı sistemler için **Tablo**

5.5'de tanımlanan taşıyıcı sistem davranış katsayısı, R' 'ye ve doğal titreşim periyodu, T' 'ye bağlı olarak **Denk.(5.6)** ile belirlenecektir.

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

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

Her iki sistemde de periyotlar **Denk.(5.6b)** 'deki $(T_A < T)$ koşulunu sağladığı için $R_a(T) = R$ alınmaktadır.

Süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı sistemin toplam eşdeğer deprem yükü (taban kesme kuvveti):

$$V_t = \frac{WA(T_1)}{R_a(T_1)} = \frac{4848,17 * 0,82}{5} = 795,10 kN$$

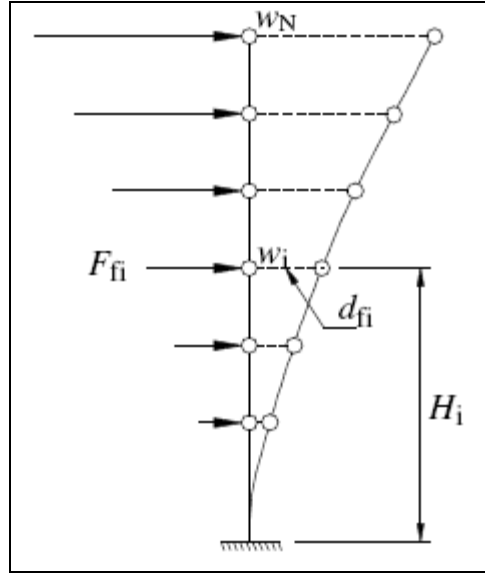
Tablo 5.5: Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı: (R) [14]

BİNA TAŞIYICI SİSTEMİ	Süneklik Düzeyi Normal Sistemler	Süneklik Düzeyi Yüksek Sistemler
Çelik Binalar		
1) Deprem yüklerinin tamamının çerçevelerle taşındığı binalar	5	8
2) Deprem yüklerinin tamamının, üstteki bağlantıları mafsallı olan kolonlar tarafından taşındığı tek katlı 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 perdelerin kullanılması 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 perdelerin kullanılması durumu	4	7

5.1.5.3. Katlara Etkiyen Eşdeğer Deprem Yüklerinin Belirlenmesi

i'inci kata etkiyen fiktif yükü gösteren F_{fi} , **Denk.(5.7)**'de $(V_t - \Delta F_N)$ yerine herhangi bir değer (örneğin birim değer) konularak elde edilecektir (**Şekil 5.3**).

$$F_i = (V_t - \Delta F_N) \frac{w_i H_i}{\sum_{j=1}^N w_j H_j} \quad (5.7)$$



Şekil 5.3: Katlardaki Fiktif Yatay Kuvvetler

Denk.(5.3) ile hesaplanacak olan toplam eşdeğer deprem yükü, bina katlarına etkiyen eşdeğer deprem yüklerinin toplamı olarak **Denk.(5.8)** ile ifade edilir.

$$V_t = \Delta F_N + \sum_{i=1}^N F_i \quad (5.8)$$

Binanın N'inci katına (tepesine) etkiyen ek eşdeğer deprem yükü ΔF_N 'in değeri **Denk.(5.9)** ile belirlenecektir.

$$\Delta F_N = 0,0075 N V_t \quad (5.9)$$

Süneklik düzeyi yüksek sistem için:

$$\Delta F_N = 0,0075 * 5 * 795,10 = 29,82 kN$$

Süneklik düzeyi normal sistem için:

$$\Delta F_N = 0,0075 * 5 * 1054,5 = 39,54 kN$$

Toplam eşdeğer deprem yükünün ΔF_n tepe kuvveti dışında geri kalan, N'inci kat dahil olmak üzere, binanın katlarına **Denk. 5.7** ile dağıtılacaktır.

Kar yüklerinin %30'u sabit yük olarak göz önüne alınarak w_i kat ağırlıkları hesaplanacaktır.

$$W = \sum_{i=1}^N w_i = \sum_{i=1}^N (g_i + nq_i) \quad (5.10)$$

Tablo 5.6 : Süneklik Düzeyi Yüksek Merkezi Çaprazlı Sistem Deprem Kuvvetleri

i	W_i (kN)	H_i (m)	$W_i * H_i$	$V_t / \sum (W_i * H_i)$	F_i (kN)	V_i (kN)
5	744,17	15,00	11162,55	0,01879	233,49	233,49
4	1026,00	12,00	12312	0,01879	224,64	458,13
3	1026,00	9,00	9234	0,01879	168,48	626,62
2	1026,00	6,00	6156	0,01879	112,32	738,94
1	1026,00	3,00	3078	0,01879	56,16	795,10
		Toplam	41942,55			

Süneklik düzeyi normal merkezi çaprazlı sistem için;

$$S(T) = 2,5 * (0,40 / 0,4735)^{0,8} = 2,18$$

$$A(T) = A_o / S(T) = 0,40 * 1,0 * 2,18 = 0,87$$

Süneklik düzeyi yüksek normal çaprazlı sistemin toplam eşdeğer deprem yükü (taban kesme kuvveti):

$$V_t = W A(T_1) / R_a(T_1) = 4848,17 * 0,87 / 4 = 1054,50 kN$$

5.1.6. Deprem Yüklemelerinin Etkime Noktaları

Şekil 5.1 ile gösterilen yapıda burulma düzensizliği bulunmadığından yapıda katlara etkiyen eşdeğer deprem yüklemelerin, ek dışmerkezlilik 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 dışmerkezlilik değeri belirlenecektir.

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

Tablo 5.7 : Süneklik Düzeyi Normal Merkezi Çaprazlı Sistem Deprem Kuvvetleri

i	W _i (kN)	H _i (m)	W _i *H _i	V _t /Σ(W _i *H _i)	F _i (kN)	V _i (kN)
5	744,17	15,00	11162,55	0,02630	309,66	309,66
4	1026,00	12,00	12312	0,02630	297,94	607,60
3	1026,00	9,00	9234	0,02630	223,45	831,05
2	1026,00	6,00	6156	0,02630	148,97	980,02
1	1026,00	3,00	3078	0,02630	74,48	1054,50
		Toplam	41942,55			

5.1.7. Yük Bileşimleri:

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

5.2. Süneklik Düzeyi Yüksek Merkezi Çaprazlı Çerçevenin Boyutlandırılması

5.2.1. Merkezi Çaprazlı Çerçevenin Elastik Analizi

Şekil 5.4’de seçilen merkezi çaprazlı çerçevenin görünüşü ve Tablo 5.6’da çerçeveye etkiyecek eşdeğer deprem kuvvetleri görülmektedir. Çerçeve elemanlarına etkiyecek düşey yükler ise 5.1.2’den alınmaktadır.

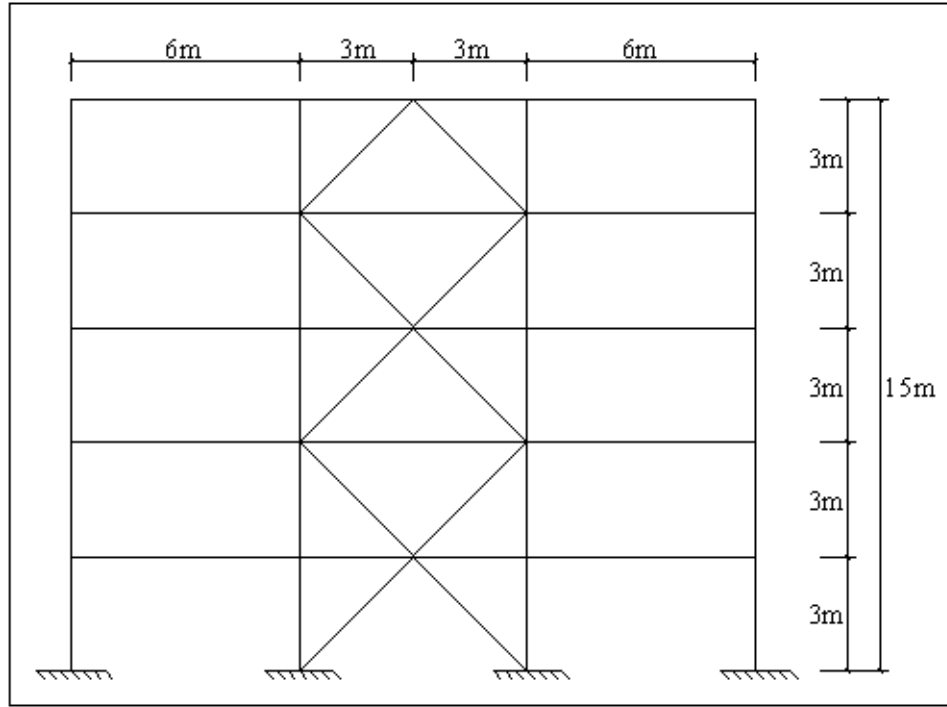
5.2.2. Seçilen Profiller

Süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı sistem:

Kolonlar: HE 280 B (St 37)

Kirişler: IPE 220 (St 37)

Çaprazlar: □ 200x200x10 (St37)



Şekil 5.4 : Merkezi Çaprazlı Çerçevenin Görünüşü

5.2.3. Elastik Analiz Sonuçları

Seçilen merkezi çaprazlı çerçevenin elastik analiz sonuçları Sap 2000 programından alınmıştır ve **Tablo 5.8**'de gösterilmektedir.

5.2.4. Göreli Kat Ötelemelerinin Kontrolü

Herhangi bir kolon veya perde için, ardışık iki kat arasındaki yerdeğiştirme farkını ifade eden azaltılmış göreli kat ötelemesi, Δ_i , **Denk.(5.11)** ile ifade edilecektir.

$$\Delta_i = d_i - d_{i-1} \quad (5.11)$$

Denk.(5.11)'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 yerdeğiştirmeleri göstermektedir.

Tablo 5.8 : Süneklik Düzeyi Yüksek Sistem İçin Maksimum Yükler ve Yük Kombinasyonları

ELEMAN	M (kNm)	N (kN)	V (kN)
KOLON	-	-2218,95	-
		G+Q-2E	
	-	+1965,58	-
		0,9G+2E	
KİRİŞ	+29,61	+146,02	+14,99
	G+Q+E1+0,3E	G+Q+E1+0,3E	G+Q+E1+0,3E
	+39,74	-	+18,01
	G+Q	G+Q	G+Q
ÇAPRAZ	-	-784,12	-
		G+Q-E1+0,3E	
	-	+700,99	-
		0,9G+E1+0,3E	

Her bir deprem doğrultusu için, binanın i'inci katındaki kolon veya perdeler için etkin görelî kat ötelemesi, δ_i , **Denk.(5.12)** ile ifade edilecektir.

$$\delta_i = R \Delta_i \quad (5.12)$$

Her bir deprem doğrultusu için, binanın herhangi bir i'inci katındaki kolon veya perdelerde **Denk.(5.12)** ile hesaplanan δ_i etkin görelî kat ötelemelerinin kat içindeki en büyük değeri $(\delta_i)_{\max}$, **Denk.(5.13)**'de verilen koşulu sağlayacaktır.

$$\frac{(\delta_i)_{\max}}{h_i} \leq 0,02 \quad (5.13)$$

5.2.5. İkinci Mertebe Etkileri

Göz önüne alınan deprem doğrultusunda her bir katta, ikinci mertebe etkilerini temsil eden ikinci mertebe gösterge değeri, θ_i hesaplanarak

$$\theta_i = \frac{(\Delta_i)_{ort} \sum_{j=i}^N w_j}{V_i h_i} \leq 0.12 \quad (5.14)$$

koşulu kontrol edilecektir.

Tablo 5.9 : Süneklik Düzeyi Yüksek Merkezi Çaprazlı Çerçeve Sistem İçin Kat Ötelemeleri

Kat	h_i (cm)	d_{ix} (cm)	Δ_{ix} (cm)	$\delta_{ix} = R\Delta_{ix}$ (cm)	δ_{ix}/h_i
5	300	2,3977	0,4845	2,4225	0,0081
4	300	1,9132	0,5621	2,8105	0,0094
3	300	1,3511	0,5488	2,7440	0,0091
2	300	0,8023	0,5275	2,6375	0,0088
1	300	0,2748	0,2748	1,3740	0,0046

Tablo 5.10 : Süneklik Düzeyi Yüksek Sistem İçin Görelî Kat Ötelemelerinin Sınır Değerlere Göre Kontrolü

Kat No.	δ_{ix}/h_i	δ_{ix}/h_i (max)
5	0,0081	0,02
4	0,0094	0,02
3	0,0091	0,02
2	0,0088	0,02
1	0,0046	0,02

Planda her iki doğrultuda simetrik olan bu binada E_x ve E_y yüklemelerinden dolayı kat kütle merkezinde meydana gelen azaltılmış görelî kat ötelemeleri $(\Delta_i)_{ort}$ olarak alınabilmektedir.

Bütün katlarda **Denk.(5.14)** koşulunun sağlanması durumunda, ikinci mertebe etkileri TS648 Standardına uygun olarak değerlendirilecektir. Bu koşulun herhangi bir katta sağlanmaması durumunda, taşıyıcı sistemin rijitliği yeterli ölçüde artırılarak deprem hesabı tekrarlanacaktır.

θ_i parametresinin en büyük değeri, (x) doğrultusunda 4. katta meydana gelmektedir.

Bu değer

$$(\Delta_{2x})_{ort} = ((d_{2x})_{ort} - (d_{1x})_{ort}) = 1,9132 - 1,3511 = 0,5621cm$$

$$\sum_4^5 w_j = 744,17 + 1026,00 = 1770,17kN$$

$$V_{4x} = 233,49 + 224,64 = 458,13kN$$

$$h = 300cm$$

olmak üzere

$$\theta_{maks} = \theta_{4x} = \frac{0,5621 * 1770,17}{458,13 * 300} = 0,007 < 0,120$$

koşulunu sağladığından, ikinci mertebe etkilerinin TS498 Çelik Yapılar Standardına göre değerlendirilmesi yeterlidir.

5.2.6. Çapraz Elemanın Boyutlandırılması

Seçilen kesit: □ 200x200x10: (G=57 kg/m) , (St 37)

$$h = 20 \text{ cm} \quad b = 20 \text{ cm} \quad A = 72,6 \text{ cm}^2$$

$$s = 1,0 \text{ cm} \quad W = 425 \text{ cm}^3$$

$$I = 4251 \text{ cm}^4 \quad i = 7,65 \text{ cm}$$

Seçilen çapraz elemanda en elverişsiz yükleme olan **G+Q-E1+0,3E** için gerilme kontrolleri yapılacaktır.

$$N_{G+Q+E} = -784,12kN$$

5.2.6.1. Enkesit Koşulları

(a) Süneklik düzeyi yüksek 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:

$$\frac{h}{t_w} \leq 0,7\sqrt{E_s / \sigma_a} \leq 0,7\sqrt{2100000 / 2400} \leq 20,71$$

$$\frac{h}{t_w} = \frac{200 - 2 * 10}{10} = 18,0 < 20,71 \quad (\text{uygun})$$

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

$$\frac{Kl}{r} \leq 4,0\sqrt{E_s / \sigma_a} \leq 4,0\sqrt{2100000 / 2400} \leq 118$$

$$l = \sqrt{\left(\frac{L}{2}\right)^2 + h^2} = \sqrt{\left(\frac{6}{2}\right)^2 + 3^2} = 4,25m$$

$$\frac{Kl}{r} = \frac{1 * 425}{7,65} = 56 < 118 \quad (\text{uygun})$$

5.2.6.2. Çapraz İçin Gereken Gerilme Kontrolleri

$$\lambda = \frac{Kl}{r} = \frac{425}{7,65} = 56$$

$\lambda = 56$ için St 37 çeliğine ait basınç emniyet gerilmesi değeri, TS 648 çizelge-8'de $\sigma_{bem} = 109,33N / mm^2$ olarak verilmiştir. [13]

$$\frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{bem}} = \frac{784,12 * 10^3}{72,6 * 10^2 * 109,33} = 0,99 < 1,33 \quad (\text{uygun})$$

5.2.7. Kirişin Boyutlandırılması

Seçilen kesit: IPE 220: (G=26,2 kg/m) , (St 37)

$$h = 22 \text{ cm} \quad b = 11 \text{ cm} \quad A = 33,37 \text{ cm}^2$$

$$t_f = 0,92 \text{ cm} \quad t_w = 0,59 \text{ cm} \quad W_x = 252 \text{ cm}^3$$

$$I_x = 2772 \text{ cm}^4 \quad i_x = 9,11 \text{ cm} \quad i_y = 2,48 \text{ cm}$$

$$W_p = 285,4 \text{ cm}^3$$

Seçilen kirişte en elverişsiz yükleme olan **G+Q+E1+0,3E** için gerilme kontrolleri yapılacaktır.

$$M_{G+Q+E} = 29,61kNm$$

$$N_{G+Q+E} = 146,02kN$$

$$V_{G+Q+E} = 14,99kN$$

5.2.7.1. Enkesit Koşulları

Süneklik düzeyi yüksek 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:

$$\frac{b/2}{t} \leq 0,3\sqrt{E_s / \sigma_a} \leq 0,3\sqrt{2100000 / 2400} = 8,87$$

$$\frac{b/2}{t} = \frac{5,5}{0,92} = 5,98 < 8,87 \quad (\text{uygun})$$

$$\frac{h}{t_w} \leq 3,2\sqrt{E_s / \sigma_a} \leq 3,2\sqrt{2100000 / 2400} = 94,66$$

$$\frac{h}{t_w} = \frac{22}{0,59} = 37,3 < 94,66 \quad (\text{uygun})$$

5.2.7.2. Kiriş İçin Gereken Gerilme Kontrolleri

(a) Kirişin Y – doğrultusundaki tahkikinde gerilme kontrolünün haricinde kiriş başlıklarının yanal doğrultuda mesnetlenmesi şartı da incelenecektir. İlgili yönetmelikteki koşullar aşağıdaki gibidir:

Kirişlerin üst ve alt başlıkları, yanal doğrultuda mesnetlenecektir. Kirişlerin yanal doğrultuda mesnetlendiği noktalar arasındaki ℓ_b uzaklığı:

$$\ell_b \leq 0,086 \frac{r_y E_s}{\sigma_a}$$

koşulunu sağlayacaktır. Ayrıca, tekil yüklerin etkidiği noktalar, kiriş enkesitinin ani olarak değiştiği noktalar ve sistemin doğrusal olmayan şekildeğiştirmesi sırasında plastik mafsalları oluşabilecek noktalarda yanal doğrultuda mesnetlenecektir.

Yanal doğrultudaki mesnetlerin gerekli basınç ve çekme dayanımı, kiriş başlığının eksenel çekme kapasitesinin 0,02'sinden daha az olmayacaktır.

$$I_r = t_f \frac{b_f^3}{12} = 0,92 \frac{11^3}{12} = 102,04 \text{ cm}^4$$

$$F_r = b_f t_f + \left(\frac{d - 2t_f}{2} * \frac{1}{5} \right) t_w = 11 * 0,92 + \left(\frac{22 - 2 * 0,92}{2} * \frac{1}{5} \right) * 0,59 = 11,30 \text{ cm}^2$$

$$r_y = \sqrt{I_y / F_y} = \sqrt{102,04 / 11,30} = 3,01 \text{ cm}$$

$$l_b \leq 0,086 \frac{r_y E_s}{\sigma_a} = 0,086 * \frac{3,01 * 2100000}{2400} = 226,50 \text{ cm}$$

Yapıda seçilen kompozit döşemede sehim kontrolü şartının sağlanması için kullanılan tali kirişler, açıklıkta 2m aralıklarla 2 adet konulmuştur. Yani ℓ_b boyu 2m'dir.

$$l_b = 200 \text{ cm} < 226,5 \text{ cm} \quad (\text{uygun})$$

(b) TS648 Standardı **Madde 3.3.4.2'**ye göre, basınç başlığının dolu dikdörtgen kesit olması ve enkesit alanının çekme başlığı enkesitinden daha küçük olmaması halinde, basınç emniyet gerilmesi

$$\sigma_{Bx} = \frac{840000 C_{Bx}}{s * d / F_{yb}} \leq 0,6 \sigma_a$$

denklemini ile hesaplanır.

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

$$\frac{M_1}{M_2} = -1 \quad \text{için;} \quad C_{bx} = 1,00$$

$$\sigma_{Bx} = \frac{840000 * 1}{200 * 22 / 10,12} = 15,74 \text{ kN / cm}^2$$

Normal gerilme:

$$\sigma = \frac{M}{W} + \frac{N}{A} = \frac{2961}{252} + \frac{146,02}{33,37} = 16,13 \text{ kN / cm}^2 < 1,33 * 14,1 = 18,75 \text{ kN / cm}^2$$

Kayma gerilmesi:

$$\tau = \frac{T * S_x}{I_x * t_w} = \frac{14,99 * 142,7}{2772 * 0,92} = 8,39 kN / cm^2 < 1,33 * 8,2 = 10,9 kN / cm^2$$

Deprem yönetmeliği **Madde 4.6.4.1(a)** ve **(b)** uyarınca, **V** ve **ters V** şeklindeki çapraz sistemlerinde, çaprazların bağlandığı kirişlerin sürekli olması ve çaprazların yok varsayılması durumunda kendi üzerindeki yükleri taşıması gerekmektedir.

Çaprazların yok varsayılması durumunda, söz konusu kirişte **G+Q** yüklemesinden meydana gelen kesit zorları

$$M_{G+Q} = 39,74 kNm$$

$$V_{G+Q} = 18,01 kN$$

Normal gerilme:

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{3974}{252} = 15,77 kN / cm^2 < 1,33 * 14,1 = 18,75 kN / cm^2$$

Kayma gerilmesi:

$$\tau = \frac{T * S_x}{I_x * t_w} = \frac{18,01 * 142,7}{2772 * 0,92} = 10,08 kN / cm^2 < 1,33 * 8,2 = 10,9 kN / cm^2$$

5.2.8. Kolonun Boyutlandırılması

Seçilen kesit: HE 280 B: (G=103 kg/m) (St 37)

$$h = 28 \text{ cm} \quad b = 28 \text{ cm} \quad A = 131,4 \text{ cm}^2$$

$$t_f = 1,8 \text{ cm} \quad t_w = 1,05 \text{ cm} \quad W_x = 1376 \text{ cm}^3$$

$$I_x = 19270 \text{ cm}^4 \quad i_x = 12,11 \text{ cm} \quad i_y = 7,09 \text{ cm}$$

$$W_p = 1534 \text{ cm}^3 \quad h_i = 24,4 \text{ cm}$$

Seçilen kolonda en elverişsiz yükleme olan **G+Q-2E** için gerilme kontrolleri yapılacaktır.

$$N_{G+Q-2E} = -2218,95 kN$$

$$N_{G+Q-2E} = 1965,58 kN$$

5.2.8.1. Enkesit Koşulları

Süneklik düzeyi yüksek 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:

$$\frac{b/2}{t} \leq 0,3\sqrt{E_s / \sigma_a} \leq 0,3\sqrt{2100000 / 2400} = 8,87$$

$$\frac{b/2}{t} = \frac{14}{1,8} = 7,78 < 8,87 \quad (\text{uygun})$$

$$\left| \frac{N_d}{\sigma_a A} \right| = \left| \frac{-2218,95}{23,5 * 131,4} \right| = 0,72 > 0,10$$

$$h/t_w \leq 1,33\sqrt{2100000 / 2400} \left(2,1 - \left| \frac{-2218,95}{23,5 * 131,4} \right| \right) = 54,35$$

$$\frac{h}{t_w} = \frac{28}{1,05} = 26,67 < 54,35 \quad (\text{uygun})$$

5.2.8.2. Kolon İçin Gereken Gerilme Kontrolleri

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

$$N_{G+Q-2E} = -2218,95 kN$$

$$N_{G+Q-2E} = 1965,58 kN$$

değerlerini almaktadır. Kolon enkesitinin aksenal basınç ve çekme kapasiteleri ise

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

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

bağıntıları ile hesaplanacaktır.

$$\lambda_{\max} = \frac{Kl}{r} = \frac{300 * 1}{7,09} = 43$$

$\lambda = 43$ için St 37 çeliğine ait basınç emniyet gerilmesi değeri, TS 648 çizelge-8'de

$\sigma_{bem} = 12,04 kN / cm^2$ olarak verilmiştir.

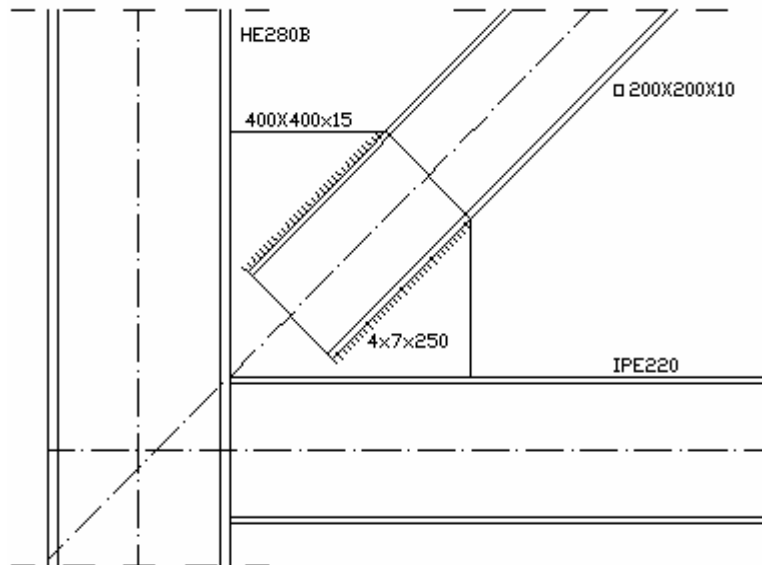
$$N_{bp} = 1.7 \sigma_{bem} A = 1,7 * 12,04 * 131,4 = 2689,50 kN > 2218,95 kN$$

$$N_{cp} = \sigma_a A_{net} = 23,5 * 131,4 = 3087,90 kN > 1965,58 kN$$

5.2.9. Çapraz – Kiriş, Kolon Birleşim Tahkikleri

Seçilen düğüm levhası boyutları : b*t = 400x15 mm

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



Şekil 5.5: Süneklik Düzeyi Yüksek Sistem İçin Çapraz – Kiriş, Kolon Birleşim Detayı

Kaynak tahkiki:

$$\tau = \frac{610,11}{4 * 7 * (250 - 2 * 7)} = 9,23kN / cm^2 = 1,15 * 11 = 12,65kN / cm^2$$

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 eksenel kuvvet (çekme veya basınç) kapasitesi.

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

$$N_{bp} = 1,7 \sigma_{bem} A = 1,7 * 12,04 * 72,6 = 1486,0N$$

(b) Düğüm noktasına birleşen diğer elemanların kapasitelerine bağlı olarak, söz konusu çaprazı giriş tarafından aktarılabilecek en büyük eksenel kuvvet. ($\alpha=45^\circ$)

$$N = \frac{23,5 * 33,37}{0,707} = 1109,2kN$$

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

$$N_{G+Q+2E} = 920,27kN$$

Bu durumda; girişle çapraz eleman birleşiminde, çapraz elemanda oluşan $N = 920,27kN$ eksenel kuvvetini aktarabilecek bir boyutlama yapılacaktır.

Bu kuvvetten oluşan kaynak gerilmesi:

$$\tau = \frac{920,27}{4 * 7 * (250 - 2 * 7)} = 13,92kN / cm^2 = 1,7 * 11 = 18,7kN / cm^2$$

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:

$$M_p = \sigma_a W_p = 23,5 * 542 * 10^{-2} = 127,37 kNm$$

Düğüm levhasının eğilme kapasitesi:

$$M_p = \frac{1}{4} * 1,5 * 40^2 * 23,5 * 10^{-2} = 141,0 kNm > 127,37 kNm$$

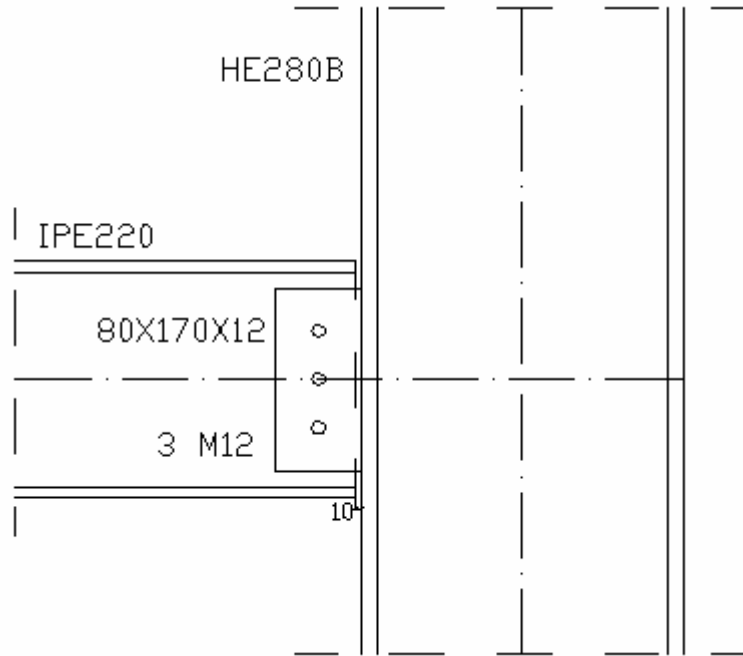
5.2.10. Kiriş-Kolon Birleşimi

Söz konusu birleşim detayının tasarımında esas olan en elverişsiz yükleme **G+Q** yüklemesidir. Kiriş – kolon birleşimine etkiyen kiriş mesnet tepkisi

$$T_{G+Q} = 14,99 kN$$

değerini almaktadır.

Birleşim detayı 12x170 mm boyutundaki kayma levhası ve **3M12** bulon ile teşkil edilecektir.



Şekil 5.6: Süneklik Düzeyi Yüksek Sistem İçin Kolon – Kiriş Birleşim Detayı

Bulonlara etkiyen kesme kuvveti:

$$P_{em} = 1,15 * \left(\frac{\Pi * d^2}{4} * \tau_{sem} \right) = 1,15 * \left(\frac{3,14 * 1,2^2}{4} * 14 \right) = 18,2kN$$

$$V = \frac{14,99}{3} = 5,0kN < 18,2kN = P_{em}$$

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

Levhaya etkiyen eğilme momenti:

$$M = 14,99 * 0,05 = 0,75kNm$$

$$\sigma = \frac{M}{W_k} = \frac{0,75 * 10^2}{\frac{1}{6} * 1,2 * 17^2} = 1,30kN / cm^2$$

$$\tau = \frac{3}{2} * \frac{14,99}{1,2 * 17} = 1,10kN / cm^2$$

Asal gerilme:

$$\sigma_b = \sqrt{1,30^2 + 3 * 1,10^2} = 2,22kN / cm^2 < 0,75 * 23,5 = 17,63kN / cm^2 = \sigma_{h,em}$$

5.3. Süneklik Düzeyi Normal Merkezi Çaprazlı Çerçevenin Boyutlandırılması

5.3.1. Merkezi Çaprazlı Çerçevenin Elastik Analizi

Tablo 5.7'de çerçeveye etkiyecek eşdeğer deprem kuvvetleri görülmektedir.

5.3.2. Seçilen Profiller

Süneklik düzeyi normal merkezi çaprazlı sistem:

Kolonlar: HE 300 B (St 37)

Kirişler: IPE 240 (St 37)

Çaprazlar: □ 200x200x12 (St37)

5.3.3. Elastik Analiz Sonuçları

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

Tablo 5.11 : Süneklik Düzeyi Normal Sistem İçin Maksimum Yükler ve Yük Kombinasyonları

ELEMAN	M (kNm)	N (kN)	V (kN)
KOLON	-	-2864,52	-
		G+Q-2E	
	-	+2651,59	-
		0,9G+2E	
KİRİŞ	+29,79	+193,66	+15,11
	G+Q+E1+0,3E	G+Q+E1+0,3E	G+Q+E1+0,3E
	+39,91	-	+18,12
	G+Q	G+Q	G+Q
ÇAPRAZ	-	-1027,85	-
		G+Q-E1+0,3E	
	-	+937,18	-
		0,9G+E1+0,3E	

5.3.4. Göreli Kat Ötelemelerinin Kontrolü

Herhangi bir kolon veya perde için, ardışık iki kat arasındaki yerdeğiştirme farkını ifade eden azaltılmış göreli kat ötelemesi, Δ_i , **Denk.(5.11)** ile ifade edilecektir.

$$\Delta_i = d_i - d_{i-1} \quad (5.11)$$

Denk.(5.11)'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 yerdeğiştirmeleri göstermektedir.

Her bir deprem doğrultusu için, binanın i'inci katındaki kolon veya perdeler için etkin göreli kat ötelemesi, δ_i , **Denk.(5.12)** ile ifade edilecektir.

$$\delta_i = R \Delta_i \quad (5.12)$$

Her bir deprem doğrultusu için, binanın herhangi bir i'inci katındaki kolon veya perdelerde **Denk.(5.12)** ile hesaplanan δ_i etkin görelî kat ötelemelerinin kat içindeki en büyük değeri $(\delta_i)_{\max}$, **Denk.(5.13)**'de verilen koşulu sağlayacaktır.

$$\frac{(\delta_i)_{\max}}{h_i} \leq 0,02 \quad (5.13)$$

Tablo 5.12 : Süneklik Düzeyi Normal Merkezi Çaprazlı Çerçeve Sistem İçin Kat Ötelemeleri

Kat	h_i (cm)	d_{ix} (cm)	Δ_{ix} (cm)	$\delta_{ix} = R\Delta_{ix}$ (cm)	δ_{ix}/ h_i
5	300	2,7586	0,5641	2,8205	0,0094
4	300	2,1945	0,6509	3,2545	0,0108
3	300	1,5436	0,5967	2,9835	0,0099
2	300	0,9469	0,6400	3,2000	0,0107
1	300	0,3069	0,3069	1,5345	0,0051

Tablo 5.13 : Süneklik Düzeyi Normal Sistem İçin Görelî Kat Ötelemelerinin Sınır Değerlere Göre Kontrolü

Kat No.	δ_{ix}/ h_i	δ_{ix}/ h_i (max)
5	0,0094	0,02
4	0,0108	0,02
3	0,0099	0,02
2	0,0107	0,02
1	0,0051	0,02

5.3.5. İkinci Mertebe Etkileri

Göz önüne alınan deprem doğrultusunda her bir katta, ikinci mertebe etkilerini temsil eden ikinci mertebe gösterge değeri, θ_i hesaplanarak

$$\theta_i = \frac{(\Delta_i)_{ort} \sum_{j=i}^N w_j}{V_i h_i} \leq 0.12 \quad (5.14)$$

koşulu kontrol edilecektir.

Planda her iki doğrultuda simetrik olan bu binada E_x ve E_y yüklemelerinden dolayı kat kütle merkezinde meydana gelen azaltılmış görelî kat ötelemeleri $(\Delta_i)_{ort}$ olarak alınabilmektedir.

Bütün katlarda **Denk.(5.14)** koşulunun sağlanması durumunda, ikinci mertebe etkileri TS648 Standardına uygun olarak değerlendirilecektir. Bu koşulun herhangi bir katta sağlanmaması durumunda, taşıyıcı sistemin rijitliği yeterli ölçüde artırılarak deprem hesabı tekrarlanacaktır.

θ_i parametresinin en büyük değeri, (x) doğrultusunda 4. katta meydana gelmektedir. Bu değer

$$(\Delta_{2x})_{ort} = ((d_{2x})_{ort} - (d_{1x})_{ort}) = 2,1945 - 1,5436 = 0,6509cm$$

$$\sum_4^5 w_j = 744,17 + 1026,00 = 1770,17kN$$

$$V_{4x} = 309,66 + 297,94 = 607,60kN$$

$$h = 300cm$$

olmak üzere

$$\theta_{maks} = \theta_{4x} = \frac{0,6509 * 1770,17}{607,60 * 300} = 0,006 < 0,120$$

koşulunu sağladığından, ikinci mertebe etkilerinin TS498 Çelik Yapılar Standardına göre değerlendirilmesi yeterlidir.

5.3.6. Çapraz Elemanın Boyutlandırılması

Seçilen kesit: □ 200x200x12: (G=66 kg/m) , (St 37)

$$h = 20 \text{ cm} \quad b = 20 \text{ cm} \quad A = 84,1 \text{ cm}^2$$

$$s = 1,2 \text{ cm} \quad W = 473 \text{ cm}^3$$

$$I = 4730 \text{ cm}^4 \quad i = 7,50 \text{ cm}$$

Seçilen çapraz elemanda en elverişsiz yükleme olan **G+Q-E1+0,3E** için gerilme kontrolleri yapılacaktır.

$$N_{G+Q+E} = -1027,85kN$$

5.3.6.1. Enkesit Koşulları

(a) Süneklik düzeyi yüksek 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:

$$\frac{h}{t_w} \leq 1,2\sqrt{E_s / \sigma_a} \leq 1,2\sqrt{2100000 / 2400} \leq 35,50$$

$$\frac{h}{t_w} = \frac{200 - 2 \cdot 12}{12} = 14,67 < 35,50 \quad (\text{uygun})$$

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

$$\frac{Kl}{r} \leq 4,0\sqrt{E_s / \sigma_a} \leq 4,0\sqrt{2100000 / 2400} \leq 118$$

$$l = \sqrt{\left(\frac{L}{2}\right)^2 + h^2} = \sqrt{\left(\frac{6}{2}\right)^2 + 3^2} = 4,25m$$

$$\frac{Kl}{r} = \frac{1 \cdot 425}{7,50} = 57 < 118 \quad (\text{uygun})$$

5.3.6.2. Çapraz İçin Gereken Gerilme Kontrolleri

$$\lambda = \frac{Kl}{r} = \frac{425}{7,50} = 57$$

$\lambda = 57$ için St 37 çeliğine ait basınç emniyet gerilmesi değeri, TS 648 çizelge-8'de $\sigma_{bem} = 108,40N / mm^2$ olarak verilmiştir. [13]

$$\frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{bem}} = \frac{1027,85 \cdot 10^3}{84,1 \cdot 10^2 \cdot 108,40} = 1,13 < 1,33 \quad (\text{uygun})$$

5.3.7. Kirişin Boyutlandırılması

Seçilen kesit: IPE 240: (G=30,7kg/m) , (St 37)

$$\begin{aligned} h &= 24 \text{ cm} & b &= 12 \text{ cm} & A &= 39,12 \text{ cm}^2 \\ t_f &= 0,98 \text{ cm} & t_w &= 0,62 \text{ cm} & W_x &= 324,3 \text{ cm}^3 \\ I_x &= 3892 \text{ cm}^4 & i_x &= 9,97 \text{ cm} & i_y &= 2,69 \text{ cm} \\ W_p &= 366,6 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

Seçilen kirişte en elverişsiz yükleme olan **G+Q+E1+0,3E** için gerilme kontrolleri yapılacaktır.

$$M_{G+Q+E} = 29,79 \text{ kNm}$$

$$N_{G+Q+E} = 193,66 \text{ kN}$$

$$V_{G+Q+E} = 15,11 \text{ kN}$$

5.3.7.1. Enkesit Koşulları

Süneklik düzeyi yüksek 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:

$$\frac{b/2}{t} \leq 0,5\sqrt{E_s / \sigma_a} \leq 0,5\sqrt{2100000 / 2400} = 14,78$$

$$\frac{b/2}{t} = \frac{6}{0,98} = 6,12 < 14,78 \quad (\text{uygun})$$

$$\frac{h}{t_w} \leq 5,0\sqrt{E_s / \sigma_a} \leq 5,0\sqrt{2100000 / 2400} = 145,83$$

$$\frac{h}{t_w} = \frac{24}{0,62} = 38,71 < 147,83 \quad (\text{uygun})$$

5.3.7.2. Kiriş İçin Gereken Gerilme Kontrolleri

(a) Kirişin Y – doğrultusundaki tahkikinde gerilme kontrolünün haricinde kiriş başlıklarının yanal doğrultuda mesnetlenmesi şartı da incelenecektir. İlgili yönetmelikteki koşullar aşağıdaki gibidir:

Kirişlerin üst ve alt başlıkları, yanal doğrultuda mesnetlenecektir. Kirişlerin yanal doğrultuda mesnetlendiği noktalar arasındaki ℓ_b uzaklığı:

$$\ell_b \leq 0,086 \frac{r_y E_s}{\sigma_a}$$

koşulunu sağlayacaktır. Ayrıca, tekil yüklerin etkidiği noktalar, kiriş enkesitinin ani olarak değiştiği noktalar ve sistemin doğrusal olmayan şekildeğiştirmesi sırasında plastik mafsalları oluşabilecek noktalarda yanal doğrultuda mesnetlenecektir.

Yanal doğrultudaki mesnetlerin gerekli basınç ve çekme dayanımı, kiriş başlığının eksenel çekme kapasitesinin 0,02'sinden daha az olmayacaktır.

$$I_r = t_f \frac{b_f^3}{12} = 0,98 \frac{12^3}{12} = 141,12 \text{ cm}^4$$

$$F_r = b_f t_f + \left(\frac{d - 2t_f}{2} * \frac{1}{5} \right) t_w = 12 * 0,98 + \left(\frac{24 - 2 * 0,98}{2} * \frac{1}{5} \right) * 0,62 = 13,13 \text{ cm}^2$$

$$r_y = \sqrt{I_y / F_y} = \sqrt{141,12 / 13,13} = 3,28 \text{ cm}$$

$$\ell_b \leq 0,086 \frac{r_y E_s}{\sigma_a} = 0,086 * \frac{3,28 * 2100000}{2400} = 246,82 \text{ cm}$$

Yapıda seçilen kompozit döşemede sehim kontrolü şartının sağlanması için kullanılan tali kirişler, açıklıkta 2m aralıklarla 2 adet konulmuştur. Yani ℓ_b boyu 2m'dir.

$$\ell_b = 200 \text{ cm} < 246,82 \text{ cm} \quad (\text{uygun})$$

(b) TS648 Standardı **Madde 3.3.4.2'**ye göre, basınç başlığının dolu dikdörtgen kesit olması ve enkesit alanının çekme başlığı enkesitinden daha küçük olmaması halinde, basınç emniyet gerilmesi

$$\sigma_{Bx} = \frac{840000 C_{Bx}}{s * d / F_{yb}} \leq 0,6 \sigma_a$$

denklemleri ile hesaplanır.

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

$$\frac{M_1}{M_2} = -1 \text{ için; } C_{bx} = 1,00$$

$$\sigma_{Bx} = \frac{840000 * 1}{200 * 24 / 11,76} = 20,58 kN / cm^2$$

Normal gerilme:

$$\sigma = \frac{M}{W} + \frac{N}{A} = \frac{2979}{324,3} + \frac{193,6}{39,12} = 14,14 kN / cm^2 < 1,33 * 14,1 = 18,75 kN / cm^2$$

Kayma gerilmesi:

$$\tau = \frac{T * S_x}{I_x * t_w} = \frac{15,11 * 183,3}{3892 * 0,98} = 7,26 kN / cm^2 < 1,33 * 8,2 = 10,9 kN / cm^2$$

Deprem yönetmeliği **Madde 4.6.4.1(a)** ve **(b)** uyarınca, **V** ve **ters V** şeklindeki çapraz sistemlerinde, çaprazların bağlandığı kirişlerin sürekli olması ve çaprazların yok varsayılması durumunda kendi üzerindeki yükleri taşıması gerekmektedir.

Çaprazların yok varsayılması durumunda, söz konusu kirişte **G+Q** yüklemeinden meydana gelen kesit zorları

$$M_{G+Q} = 39,91 kNm$$

$$V_{G+Q} = 18,12 kN$$

Normal gerilme:

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{3991}{324,3} = 12,30 kN / cm^2 < 1,33 * 14,1 = 18,75 kN / cm^2$$

Kayma gerilmesi:

$$\tau = \frac{T * S_x}{I_x * t_w} = \frac{18,12 * 183,3}{3892 * 0,98} = 8,71 kN / cm^2 < 1,33 * 8,2 = 10,9 kN / cm^2$$

5.3.8. Kolonun Boyutlandırılması

Seçilen kesit: HE 300 B: (G=117 kg/m) (St 37)

$$\begin{array}{lll} h = 30 \text{ cm} & b = 30 \text{ cm} & A = 149,1 \text{ cm}^2 \\ t_f = 1,9 \text{ cm} & t_w = 1,1 \text{ cm} & W_x = 1678 \text{ cm}^3 \\ I_x = 25170 \text{ cm}^4 & i_x = 12,99 \text{ cm} & i_y = 7,58 \text{ cm} \\ W_p = 1869 \text{ cm}^3 & h_i = 26,2 \text{ cm} & \end{array}$$

Seçilen kolonda en elverişsiz yükleme olan **G+Q-2E** için gerilme kontrolleri yapılacaktır.

$$N_{G+Q-2E} = -2864,52 \text{ kN}$$

$$N_{G+Q-2E} = 2651,59 \text{ kN}$$

5.3.8.1. Enkesit Koşulları

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

$$\frac{b/2}{t} \leq 0,5\sqrt{E_s / \sigma_a} \leq 0,5\sqrt{2100000 / 2400} = 14,78$$

$$\frac{b/2}{t} = \frac{15}{1,9} = 7,89 < 14,78 \quad (\text{uygun})$$

$$\left| \frac{N_d}{\sigma_a A} \right| = \left| \frac{-2864,52}{23,5 * 149,1} \right| = 0,82 > 0,10$$

$$h/t_w \leq 2,08\sqrt{2100000 / 2400} \left(2,1 - \left| \frac{-2864,52}{23,5 * 149,1} \right| \right) = 78,9$$

$$\frac{h}{t_w} = \frac{28}{1,05} = 26,67 < 78,9 \quad (\text{uygun})$$

5.3.8.2. Kolon İçin Gereken Gerilme Kontrolleri

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

$$N_{G+Q-2E} = -2864,52kN$$

$$N_{G+Q-2E} = 2651,59kN$$

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.

$$\lambda_{\max} = \frac{Kl}{r} = \frac{300 * 1}{7,58} = 40$$

$\lambda = 40$ için St 37 çeliğine ait basınç emniyet gerilmesi değeri, TS 648 çizelge-8'de $\sigma_{bem} = 12,30kN / cm^2$ olarak verilmiştir.

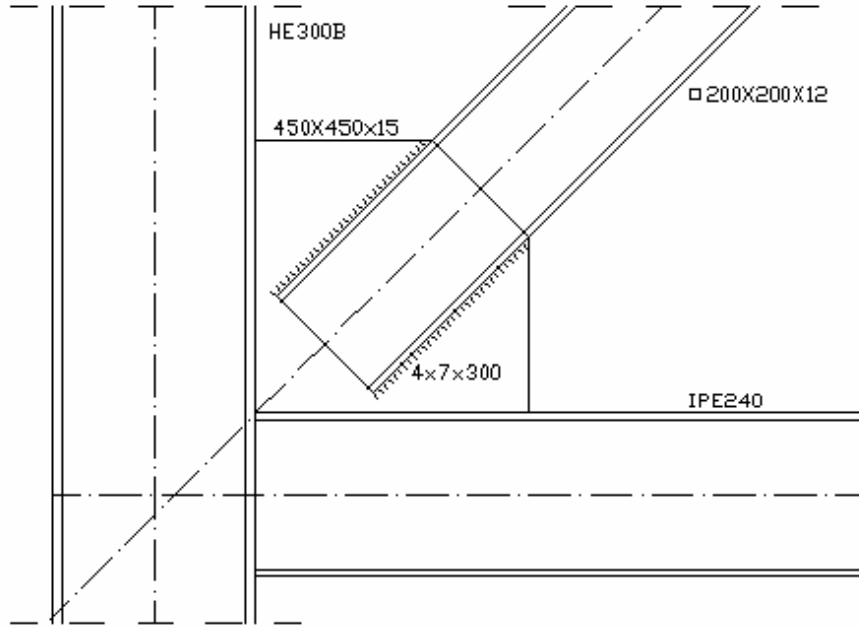
$$N_{bp} = 1.7 \sigma_{bem} A = 1,7 * 12,30 * 149,1 = 3117,60kN > 2864,52kN$$

$$N_{cp} = \sigma_a A_{net} = 23,5 * 149,1 = 3503,80kN > 2651,59kN$$

5.3.11. Çapraz – Kiriş, Kolon Birleşim Tahkikleri

Seçilen düğüm levhası boyutları : $b \cdot t = 450 \times 15$ mm

Çapraz elemanın düğüm levhasına bağlantısı 4x7-300 köşe kaynağı ile sağlanacaktır.



Şekil 5.7: Süneklik Düzeyi Normal Sistem İçin Çapraz – Kiriş, Kolon Birleşim Detayı

Kaynak tahkiki:

$$\tau = \frac{798,05}{4 \cdot 7 \cdot (300 - 2 \cdot 7)} = 9,97 \text{ kN / cm}^2 = 1,15 \cdot 11 = 12,65 \text{ kN / cm}^2$$

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 eksenel kuvvet (çekme veya basınç) kapasitesi.

$$N_{\text{çp}} = \sigma_a A_{\text{net}} = 23,5 \cdot 84,1 = 1976,35 \text{ kN}$$

$$N_{\text{bp}} = 1,7 \sigma_{\text{bem}} A = 1,7 \cdot 10,84 \cdot 84,1 = 1549,80 \text{ N}$$

(b) Düğüm noktasına birleşen diğer elemanların kapasitelerine bağlı olarak, söz konusu çaprazı kiriş tarafından aktarılabilecek en büyük eksenel kuvvet. ($\alpha=45^\circ$)

$$N = \frac{23,5 * 39,12}{0,707} = 1300,31kN$$

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

$$N_{G+Q+2E} = 1209,40kN$$

Bu durumda; kirişle çapraz eleman birleşiminde, çapraz elemanda oluşan $N = 1209,40kN$ eksenel kuvvetini aktarabilecek bir boyutlama yapılacaktır.

Bu kuvvetten oluşan kaynak gerilmesi

$$\tau = \frac{1209,40}{4 * 7 * (300 - 2 * 7)} = 15,10kN / cm^2 = 1,7 * 11 = 18,7kN / cm^2$$

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:

$$M_p = \sigma_a W_p = 23,5 * 637 * 10^{-2} = 149,70kNm$$

Düğüm levhasının eğilme kapasitesi:

$$M_p = \frac{1}{4} * 1,5 * 45^2 * 23,5 * 10^{-2} = 178,45kNm > 149,70kNm$$

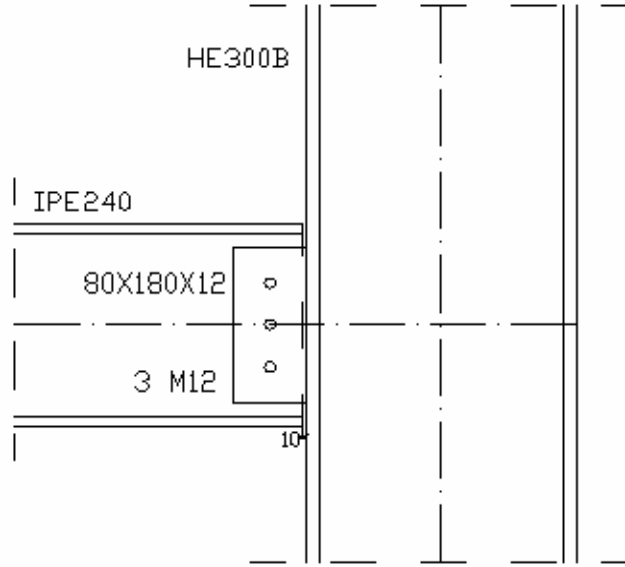
5.3.12. Kiriş-Kolon Birleşimi

Söz konusu birleşim detayının tasarımında esas olan en elverişsiz yükleme **G+Q** yüklemesidir. Kiriş – kolon birleşimine etkiyen kiriş mesnet tepkisi

$$T_{G+Q} = 15,11kN$$

değerini almaktadır.

Birleşim detayı 12x180 mm boyutundaki kayma levhası ve **3M12** bulon ile teşkil edilecektir.



Şekil 5.8: Süneklik Düzeyi Normal Sistem İçin Kolon – Kiriş Birleşim Detayı

Bulonlara etkiyen kesme kuvveti:

$$P_{em} = 1,15 * \left(\frac{\Pi * d^2}{4} * \tau_{sem} \right) = 1,15 * \left(\frac{3,14 * 1,2^2}{4} * 14 \right) = 18,2 kN$$

$$V = \frac{15,11}{3} = 5,4 kN < 18,2 kN = P_{em}$$

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

Levhaya etkiyen eğilme momenti:

$$M = 15,11 * 0,05 = 0,76 kNm$$

$$\sigma = \frac{M}{W_k} = \frac{0,76 * 10^2}{\frac{1}{6} * 1,2 * 12^2} = 2,64 kN / cm^2$$

$$\tau = \frac{3}{2} * \frac{15,11}{1,2 * 12} = 1,57 kN / cm^2$$

Asal gerilme:

$$\sigma_b = \sqrt{2,64^2 + 3 * 1,57^2} = 3,79 kN / cm^2 < 0,75 * 23,5 = 17,63 kN / cm^2 = \sigma_{h,em}$$

6. SONUÇLAR

Bölüm 2' de sünek merkezi çaprazlı çerçevelerin tasarımı ile ilgili genel bilgiler verilmiş, Bölüm 3 ve Bölüm 4'te ise AISC [15] ve DBYBHY'e göre süneklik düzeyi yüksek ve normal çelik çaprazlı çerçeveler için gerekli tasarım kurallarından detaylı olarak bahsedilmiştir. AISC ve DBYBHY'e göre bir karşılaştırma yapılacak olunursa:

Süneklik düzeyi yüksek merkezi çelik çaprazlı sistemlerin çaprazları için narinlik sınırı AISC'de de DBYBHY'de de $\lambda \leq 4\sqrt{E_s / \sigma_a}$ olarak verilmiştir. Eğilme ve eksenel basınca çalışan kirişlerin enkesit koşulları için her iki yönetmelikte de $b/t \leq 0.3\sqrt{E_s / \sigma_a}$ koşulu, eksenel basınç etkisindeki kolonların enkesit koşulları

için ise DBYBHY'de $|N_d / \sigma_a A| \leq 0.10$ için $h/t_w \leq 3.2\sqrt{E_s / \sigma_a} \left(1 - 1.7 \left| \frac{N_d}{\sigma_a A} \right| \right)$,

$|N_d / \sigma_a A| > 0.10$ için $h/t_w \leq 1.33\sqrt{E_s / \sigma_a} \left(2.1 - \left| \frac{N_d}{\sigma_a A} \right| \right)$ olarak verilmişken, AISC'de

$|N_d / \sigma_a A| \leq 0.125$ için $h/t_w \leq 3.14\sqrt{E_s / \sigma_a} \left(1 - 1.54 \left| \frac{N_d}{\sigma_a A} \right| \right)$ ve $|N_d / \sigma_a A| > 0.125$ için

$h/t_w \leq 1.12\sqrt{E_s / \sigma_a} \left(2.33 - \left| \frac{N_d}{\sigma_a A} \right| \right)$ olarak verilmiştir. Kare kutu kesitli çaprazların

enkesit koşulu olarak ise DBYBHY'de $b/t \leq 0.7\sqrt{E_s / \sigma_a}$ olarak verilmişken

AISC'de $b/t \leq 0.64\sqrt{E_s / \sigma_a}$ olarak verilmiştir. Görüldüğü gibi her iki yönetmelikte

de süneklik düzeyi yüksek merkezi çelik çaprazlı çerçeveler için verilen tasarım kuralları benzerdir. Süneklik düzeyi normal merkezi çelik çaprazlı çerçevelerde

AISC'de süneklik düzeyi yüksek merkezi çelik çaprazlı çerçeveler için verilen

kurallar aynen geçerli iken DBYBHY'de ise: Çapraz narinlik sınırı $\lambda \leq 4\sqrt{E_s / \sigma_a}$,

eğilme ve eksenel basınca çalışan kirişler için $b/t \leq 0.5\sqrt{E_s / \sigma_a}$, eksenel basınç

etkisindeki kolonlar için $|N_d / \sigma_a A| \leq 0.10$ için $h/t_w \leq 5.0\sqrt{E_s / \sigma_a} \left(1 - 1.7 \left| \frac{N_d}{\sigma_a A} \right| \right)$,

$|N_d/\sigma_a A| > 0.10$ için $h/t_w \leq 2.08\sqrt{E_s/\sigma_a} \left(2.1 - \left| \frac{N_d}{\sigma_a A} \right| \right)$, kare kutu kesitli çaprazlar için $b/t \leq 1.2\sqrt{E_s/\sigma_a}$ olarak verilmiştir.

Bölüm 5’te 5 katlı bir yapıya ait V ve ters-V çaprazlı olarak seçilen merkezi çaprazlı çerçeve sistemin süneklik düzeyi yüksek ve süneklik düzeyi normal sistem olarak analizleri yeralmaktadır. Bu analizlerde DBYBHY’de belirtilen tasarım kuralları gözönüne alınarak boyutlandırma yapılmıştır. Yapılan analizlerde merkezi çelik çaprazlı bir sistemin süneklik düzeyi yüksek ve normal olarak tasarlanıp boyutlandırılması amaçlanmıştır. Bu sayısal inceleme sonucunda süneklik düzeyine göre seçilen sistemlere ait elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir:

Tablo 5.14 : Merkezi Çaprazlı Çerçeve Sistem Eleman Profilleri

ELEMAN	Süneklik Düzeyi Yüksek Sistem	Süneklik Düzeyi Normal Sistem
Kiriş	IPE 220	IPE 240
Çapraz	□ 200x200x10	□ 200x200x12
Kolon	HE 280 B	HE 300 B

Her iki sistemde de görelî kat ötelemeleri küçük mertebelerdedir ve rahatlıkla sınır değerleri kurtarmaktadır. Yine ikinci mertebe etkileride küçük değerlerde olup etkisi hesaba katılmamıştır. Süneklik düzeyi yüksek sistemde çapraz elemanda □200x200x8 profili sınır gerilmeleri kurtarmasına rağmen enkesit koşulunu sağlamadığı için □200x200x10 seçilmiştir:

$$\frac{h}{t_w} \leq 0,7\sqrt{E_s/\sigma_a} \leq 0,7\sqrt{2100000/2400} \leq 20,71$$

$$\frac{h}{t_w} = \frac{200 - 2 \cdot 8}{8} = 23,00 > 20,71$$

Süneklik düzeyi normal sistemde deprem yükü azaltma katsayısı $R=4$ alındığından deprem kuvveti V_t arttığı için süneklik düzeyi yüksek sistem için seçilen kesitler gerilme sınır değerlerini sağlamadığından büyütülmüştür.

Tablo 5.15 : Merkezi Çaprazlı Çerçeve Sistem Eleman Kesit Tesirleri

ELEMAN	Süneklik Düzeyi Yüksek Sistem		Süneklik Düzeyi Normal Sistem	
	N (kN)		N (kN)	
Kiriş	N (kN)	+146,02	N (kN)	+193,66
	V (kN)	+14,99	V (kN)	+15,11
	M (kNm)	+29,61	M (kNm)	+29,79
Çapraz	N (kN)	-784,12	N (kN)	-1027,85
	V (kN)	-	V (kN)	-
	M (kNm)	-	M (kNm)	-
Kolon	N (kN)	-2218,95	N (kN)	-2864,52
	V (kN)	-	V (kN)	-
	M (kNm)	-	M (kNm)	-

Zayıf eksendeki atalet yarıçapı küçük olan IPE kirişleri yanal doğrultuda mesnetlenerek burkulma boyları küçültüldüğü için λ narinlik değerinin de sınır değerler içinde kalması sağlanmıştır. Ayrıca kirişler çaprazların yok varsayılması durumunda yani G+Q yüklemesi altında da gerekli sınır değerleri sağlaması koşulu gözönüne alınarak boyutlandırılmıştır.

Seçilen merkezi çaprazlı çerçeve sistem, deprem kuvvetlerinin tamamını çaprazların karşıladığı sistem olarak tasarlandığından çapraz elemanın eksenel dayanımını esas alan bir boyutlandırma yapılmaktadır. Seçilen çapraz düzenine de bağlı olarak çaprazların bulunduğu açıklığın kolonlarına çapraz eksenel kuvvetleri aktarıldığından bu kolonlara kenar açıklık kolonlarına etkiyen eksenel kuvvetten çok daha büyük bir eksenel kuvvet etkimektedir. Ayrıca çapraz düzeni iki katta bir V ve diğer iki katta bir ters-V olduğundan, açıklıkta çapraz elemanlarla birleşmeyen kirişlerde büyük eksenel kuvvet oluşmuştur. Açıklıkta çapraz elemanlarla birleşen kirişlerde ise eksenel kuvvet sıfırdır.

Elde edilen sonuçlardan bir diğeri ise; çelik sınıfı arttıkça enkesit koşulları nedeniyle süneklik düzeyi normal sisteme dönüş gerçekleşmektedir. Çünkü çeliğin akma dayanımı arttıkça b/t sınır değeri düşmektedir. Süneklik düzeyi yüksek sistemin b/t sınır değeri de süneklik düzeyi normal sisteme göre daha küçük olduğundan kesitin süneklik düzeyi yüksek kabul edilip büyütülmesindense süneklik düzeyi normal kabul edilip daha ekonomik kesit seçimi gerçekleştirilebilir. Zaten çelik sınıfı arttıkça, yani çeliğin akma gerilmesi değeri arttıkça kopmaya kadarki pekleşmesi daha az olur ve enerji sönümleme yeteneği azalır. Bu da süneklikten uzaklaşmak anlamına gelmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] **Deren, H, Uzgider, E. ve Piroğlu, F.**, 2003. Çelik Yapılar, İstanbul.
- [2] **Bruneau, M., Uang, C.M. and Whittaker, A.**, 1998. Ductile Design of Steel Structures, New York.
- [3] **CISC**, 1995. *Handbook of Steel Construction*, 6th Edition, Canadian Institute of Steel Construction, Canada.
- [4] **Wakabayashi, M.**, 1986. *Design of Earthquake Resistant Buildings*, New York.
- [5] **AISC**, 1995. Seismic provisions for structural steel buildings, *American Institute of Steel Construction Inc.*, Chicago.
- [6] **Black, R.G., Wenger, W.A. and Popov, E.P.**, 1981. *Inelastic Buckling of Steel Struts Under Cyclic Load Reversal*, California.
- [7] **Jain, A.K., Goel, S.C. and Hanson, R.D.**, 1978. *Hysteresis Behavior of Bracing Members and Seismic Response of Braced Frames with Different Proportions*, Michigan.
- [8] **Khatib, I.F., Mahin, S.A. and Pister, K.S.**, 1988. *Seismic Behaviour of Concentrically Braced steel Frames*, California.
- [9] **Liu, Z. and Goel, S.C.**, 1988. *Journal of the Structural Division. Vol. 114. ASCE*, July.
- [10] **LRFD**, 1999. Load and Resistance Factor Design specification for structural Steel Buildings, *American Institute of Steel Construction Inc.*, Chicago.
- [11] **ASD**, 1996. Allowable Stress Design, *American Institute of Steel Construction Inc.*, Chicago.
- [12] **TS-648**, 1980. Çelik yapıların hesap ve yapım kuralları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [13] **TS-498**, 1987. Yapı elemanlarının boyutlandırılmasında alınacak yüklerin hesap değerleri, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [14] **DBYBHY**, 2007. Deprem bölgelerinde yapılacak binalar hakkında yönetmelik, *İnşaat Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi*, İstanbul.

- [15] **AISC**, 2005 Seismic provisions for structural steel buildings, *American Institute of Steel Construction Inc.*, Chicago.

ÖZGEÇMİŞ

Tezi hazırlayan Umut TUNÇEL, 12 Ocak 1982’de Erzincan’da doğmuştur. İlkokulu Yeşilçat köyü ilkokulunda, ortaokul ve liseyi Erzincan Kazım Karabekir Lisesinde tamamlamıştır. 1999 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümüne girmeye hak kazanmıştır. 2004 yılında Y.T.Ü. İnşaat Mühendisliği Bölümünü bitirdikten sonra, özel bir inşaat firmasında çalışmaya başlamış ve aynı zamanda İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsüne bağlı ve İnşaat Mühendisliği Bölümü bünyesindeki Yapı Mühendisliği (Yapı Analiz ve Boyutlandırma) yüksek lisans programına girmeye hak kazanmıştır.