

Burkulması Önlenmiş Çaprazlı Çelik Yapıların Tasarımı

Halil Özkan

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Ağustos, 2013

Design of Buckling Restrained Braces in Steel Structures

Halil Özkan

**MASTER OF SCIENCE THESIS**

Department of Civil Engineering

August, 2013

Burkulması Önlenmiş Çaprazlı Çelik Yapıların Tasarımı

Halil Özkan

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca  
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı  
Yapı Bilim Dalında  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Olarak Hazırlanmıştır

Danışman: Doç. Dr. Nevzat Kıracı

Ağustos, 2013

## ONAY

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans öğrencisi Halil Özkan'ın YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı "Burkulması Önlenmiş Çaprazlı Çelik Yapıların Tasarımı" başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

**Danışman** : Doç. Dr. Nevzat Kıraç

**İkinci Danışman** : -

**Yüksek Lisans Tez Savunma Jürisi:**

**Üye** : Doç. Dr. Nevzat Kıraç

**Üye** : Prof. Dr. Hasan Gönen

**Üye** : Prof. Dr. Eşref Ünlüoğlu

**Üye** : Doç. Dr. Necati Mahir

**Üye** : Doç. Dr. Mizan Doğan

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun ..... tarih ve ..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Nimetullah BURNAK

Enstitü Müdürü

## ÖZET

Bu çalışmada Burkulması Önlenmiş Çapraz elemanlarının tanımlanması, tarihsel gelişimi, çalışma prensipleri ve yapılardaki kullanımlarıyla ilgili Amerikan yönetmeliklerine uygun olarak tasarım esaslarından bahsedilmiş ve BÖÇ'lü bir yapının tasarımı yapılmıştır. Burkulması Önlenmiş Çelik Çaprazlar şekillerle açıklanıp, genel tanımları yapılarak, BÖÇ'lerin genel inelastik davranışı anlatılmıştır.

Birinci bölümde konuya genel bir giriş yapılmış, konuyla ilgili önceki yapılmış çalışmalardan bahsedilmiştir. İkinci bölümde BÖÇ kavramı üzerinde durulmuş, BÖÇ'ü oluşturan elemanların görev ve işlevlerinden bahsedilmiştir. Üçüncü bölümde BÖÇ'lerin gelişimi ile ilgili literatürdeki önemli çalışmalar açıklanmış farklı BÖÇ tipleri gösterilmiştir. Dördüncü bölümde BÖÇ'lü yapıların tasarlanmasıyla ilgili standartlardan bahsedilmiş AISC'nin BÖÇ'lerle ilgili kısmı tek tek açıklanmıştır. Beşinci bölümde beş katlı çelik taşıyıcı sistemli bir yapının BÖÇ'lerle tasarımı AISC ve FEMA 450'ye göre yapılmıştır. Altıncı bölümde BÖÇ çelik çekirdeğinin ve başlık alanının yapı üzerindeki etkileri gözlemlenmeye çalışılmıştır. Yedinci ve son bölümde ortaya çıkan sonuçlar değerlendirilmiş ve önerilerde bulunulmuştur.

Anahtar kelimeler: Çelik Çerçeve, Burkulması Önlenmiş Çapraz (BÖÇ), Enerji Sönümleyici, Sismik Histeretik Damper

## SUMMARY

In this study, identification of elements of Buckling Restrained Braced Frames, historical development, operating principles and design principals in according to U.S. regulations regarding uses of structures are mentioned and BRBF structure is designed. With photographs and making general descriptions of Buckling Restrained Braced Frames's overall inelastic behavior described.

In the first part, general introduction to the subject is mentioned and previous studies conducted on the subject. In the second part, focuses on the concept of BRB, mentioned about the task and functions of the members of BRB. In the third part, important studies are described in the literature related to the development of BRBF, shown the different types of BRBF. In the fourth part, the related standards of designing BRBF structures are mentioned, the section of AISC which is about BRBF explained one by one. In the fifth part, the five story steel structure with the designing of BRBF system has done according to AISC and FEMA 450. In the sixth part, the effects on the structure steel core and projection of BRBF are tried to observed. In the last part, the occurring results are evaluated and have been made some suggestions.

Key words: Steel Frame, Buckling Restrained Braces (BRB), Energy Damper, Seismic Histeresis Damper

## TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans eğitimim aşamasında beni yönlendiren ve değerli zamanımı esirgemeyen değerli Danışman Hocam Sivrihisar Meslek Yüksekokulu Müdürü Doç. Dr. Nevzat KIRAÇ'a teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek Lisans eğitimine başlamamdaki en büyük pay sahibi sevgili ablam Habibe DÖNMEZ'e ve eşi Naim DÖNMEZ'e teşekkürü bir borç bilirim.

Tez konusunun seçiminde bana ilham kaynağı olan ve yardımını esirgemeyen Cem HAYDAROĞLU'na ve tezin düzenlenmesinde yardımda bulunan Çağrı ORUÇ'a çok teşekkür ederim.

Hayatım boyunca bana her türlü desteği veren aileme sonsuz teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

	<b><u>Sayfa</u></b>
ÖZET .....	v
SUMMARY .....	vi
TEŞEKKÜR.....	vii
İÇİNDEKİLER .....	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	xiv
1. GİRİŞ .....	1
1.1. Literatür Çalışmaları .....	3
2. BÖÇ KAVRAMI .....	6
2.1. Literatürdeki BÖÇ Uygulamaları.....	6
2.2 Böç'ün Tanımlanması.....	7
2.2.1. BÖÇ'ün Bileşenleri ve Çalışma Prensipleri.....	9
2.2.2. BÖÇ Davranışı .....	13
2.2.3. BÖÇ Bağlantı Tipleri .....	16
3. BÖÇ'lerin GELİŞİMİ İLE İLGİLİ ÇALIŞMALARIN GÖZDEN GEÇİRİLMESİ... 20	
3.1. Çelik Tüplerle Korunan Çaprazlar .....	22
4. BÖÇ'LÜ YAPILARIN TASARIM ESASLARI .....	45
4.1. BÖÇ'lü Yapının Tasarım Esaslarını Belirleyen Yönetmelikler .....	45
4.2. 2005 AISC'ye göre BÖÇ' lü Yapı Tasarım Esasları .....	45
4.2.1. Kapsam (16.1) .....	46
4.2.2. Çapraz Elemanlar (16.2).....	46
4.2.2.1. Çelik Çekiirdek (16.2a) .....	46
4.2.2.2 Burkulmayı Önleyici Sistem (16.2b).....	48
4.2.2.3. Test (16.2c).....	49
4.2.2.4. Düzeltilmiş Çapraz Dayanımı (16.2d).....	54
4.2.3. Çapraz Bağlantıları (16.3) .....	56
4.2.3.1. Gereken Dayanım (16.3a) .....	56
4.2.3.2. Guse Plakaları (16.3b).....	56



4.2.4. Çapraz Yapılandırılmasıyla İlgili Özel Koşullar (16.4) .....	57
4.2.5. Kirişler ve Kolonlar (16.5) .....	59
4.2.5.1. Genişlik ve Kalınlık için Sınırlamalar (16.5a) .....	59
4.2.5.2. Gereken Dayanım (16.5b) .....	60
4.2.5.3. Ek Birleşimleri (16.5c) .....	61
4.2.6. Koruma Bölgesi (16.6) .....	62
4.3. Burkulması Önlenmiş Çaprazlı Çerçeve Sistemlerine Genel Bir Bakış .....	62
4.3.1. Potansiyel Akma Damperleri Olarak BÖÇ' lü Çerçeveler .....	63
4.3.2. BÖÇ' ler le Oluşturulan Çerçevelerin Özellikleri.....	65
5. BÖÇ'LÜ BİR YAPININ TASARLANMASI.....	66
5.1. Yapısal Malzemeler .....	69
5.2. Yüklerin Belirlenmesi .....	70
5.2.2. Deprem Yükleri .....	72
5.2.2.1. Deprem Kuvvetinin Hesaplanması.....	75
5.2.2.2. Yapının Deprem Yüğü Analizi ve Taleplerin Belirlenmesi .....	77
5.3. Bilgisayar Modeli Tanımlamaları .....	78
5.4. Yük Faktörü $\rho$ ' nun Hesaplanması .....	79
5.5. Yük Kombinasyonlarının Uygulanması.....	80
5.6. Kat Ötelenmelerinin Belirlenmesi (ASCE 9.5.5.7.1).....	82
5.7. Y Yönündeki Tekil BÖÇ'lerin Tasarımı .....	85
5.7.1. Çapraz Talepleri ve Çapraz Kapasiteleri .....	85
5.7.2. $2 \Delta_{bm}$ 'nin Hesaplanması, Düzeltilmiş Çapraz Dayanımları ve Çapraz Akmaları .....	86
5.8. Kiriş Tasarımı.....	89
5.8.1. Taban Kesme Kuvveti Tesir Etmiş Durumdaki Dayanımlar İçin Tasarım Kontrolü.....	89
5.8.2. $2.0 \Delta_{bm}$ Deformasyonları Etkisinde Gerekli Eksenel Dayanım İçin Tasarım Kontrolü.....	93
5.9. Kolon Tasarımı.....	96
5.9.1. Sismik Taban Kesme Kuvveti Altında Gerekli Dayanımlar İçin Tasarım Kontrolü.....	97
5.9.2. $2.0 \Delta_{bm}$ Deformasyonları Etkisinde Gerekli Eksenel Dayanım İçin Tasarım Kontrolü.....	100

5.10. Ters V Çaprazların Tasarımı .....	104
5.10.1. Çapraz Talepleri ve Çapraz Kapasiteleri .....	104
5.10.2. 2.0 $\Delta_{bm}$ ' nin Hesaplanması, Düzeltilmiş Çapraz Dayanımları ve Çapraz Akmaları .....	105
5.11. Kiriş Tasarımı.....	107
5.11.1. Taban Kesme Kuvveti Tesir Etmiş Durumdaki Dayanımlar İçin Tasarım	107
5.11.2. 2.0 $\Delta_{bm}$ Deformasyonları Etkisinde Gerekli Eksenel Dayanım İçin Tasarım Kontrolü.....	109
5.11.3. Ters V Çaprazlar İçin Standartlarda Belirtilen Özel Tasarım Kontrolü....	112
5.12. Kolon Tasarımı.....	114
5.12.1. Sismik Taban Kesme Kuvveti Altında Gerekli Dayanımlar İçin Tasarım Kontrolü.....	114
5.12.2. 2.0 $\Delta_{bm}$ Deformasyonları Etkisinde Gerekli Eksenel Dayanım İçin Tasarım Kontrolü.....	117
6. ÇELİK ÇEKİRDEK UZUNLUĞU ve BAŞLIK ALANININ BÖÇ'lü YAPI ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN İNCELENMESİ.....	120
6.1. Çelik Çekirdek Uzunluğu ve Başlık Alanının Ötelenmelere Etkisinin Araştırılması.....	120
6.1.1. Çelik Çekirdek Uzunluğunun Değişiminin BÖÇ lü yapıya etkisi.....	121
6.1.2. Başlık Alanının Değişiminin BÖÇ lü Yapıya Etkisinin Gözlemlenmesi.....	122
6.2. A-A Aksı BÖÇ Çelik Çekirdek Uzunluğunun Düzeltilmiş Çapraz Dayanımlarına Etkisi .....	129
7. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	133
KAYNAKLAR DİZİNİ.....	135

## ŞEKİLLER DİZİNİ

<b><u>Sekil</u></b>	<b><u>Sayfa</u></b>
Şekil 2. 1 Euler Burkulması.....	8
Şekil 2. 2 Burkulması Önlenmiş Çapraz ve Enkesiti.....	10
Şekil 2. 3 BÖÇ Bileşenleri.....	10
Şekil 2. 4 (a) Burkulması önlenmiş çapraz eleman tipi (b) Çapraz eleman eksenel kuvvet-deplasman davranışı (Durmuş, 2008).....	11
Şekil 2. 5 Çeşitli BÖÇ Enkesitleri (Xie, 2004).....	12
Şekil 2. 6 Tipik BÖÇ Bileşenleri (Xie, 2005).....	12
Şekil 2. 7 BÖÇ Bileşenleri ve Çekirdek Kısımları (Sabelli ve Lopez, 2004).....	14
Şekil 2. 8 Çekirdek Projeksiyonu ile Dolgu Malzemesi Arasındaki Boşluk (Sabelli ve Lopez, 2004).....	15
Şekil 2. 9 BÖÇ Bağlantı Detayları.....	16
Şekil 2. 10 Standart Bulonlu Bağlantı .....	17
Şekil 2. 11 Geliştirilmiş Bulonlu Bağlantılar.....	18
Şekil 2. 12 Pimli Bağlantılar.....	19
Şekil 3. 1 Farklı Tipteki Yaygın BÖÇ Enkesitleri (Escudero, 2003) .....	20
Şekil 3. 2 Farklı Tipteki Diğer BÖÇ Enkesitleri (Escudero, 2003).....	21
Şekil 3. 3 Kimura vd. (1979) Tarafından Test Edilmiş Tipik BÖÇ Enkesiti (Escudero, 2003) .....	22
Şekil 3. 4 Kimura vd. (1979) Tarafından Elde Edilmiş Test Sonuçları (Escudero, 2003) .....	23
Şekil 3. 5 Fujimoto vd. (1988) Açıklanan Genel BÖÇ Yapısı (Escudero, 2003).....	23
Şekil 3. 6 Fujimoto vd. (1988) Burkulmuş Çapraz Modeli (Escudero, 2003).....	24
Şekil 3. 7 Fujimoto vd. (1988) Tarafından Hazırlanan İki Farklı Yapılandırmanın Test Sonuçları (Escudero, 2003).....	26
Şekil 3. 8 Fujimoto vd. (1988) Başlangıçtaki Kusurun Etkisi (Escudero, 2003) .....	27
Şekil 3. 9 Tada vd. (1993) Tarafından Hazırlanan BÖÇ Numunesinin Yapısı ve Histeretik Döngüsü .....	28
Şekil 3. 10 Iwata vd. (2000) Tarafından Test Edilen BÖÇ Modellerinin Enkesitleri (Escudero, 2003).....	28
Şekil 3. 11 Iwata ve Diğ. (2000) Tarafından Dört Numune İçin Elde Edilen Histeretik Döngüler (Escudero, 2003).....	30
Şekil 3.12 Black vd. (2000), Tarafından Test Edilen Numunenin Detayı ve Histeretik Döngüsü (Escudero, 2003) .....	31
Şekil 3. 13 Test Numunelerinin Kurulumu; Üst Sol S1 ve S2; Üst Sağ S3; Alt Sol S4; Alt Sağ S5 ve S6 (Karimi vd., 2008) .....	32
Şekil 3. 14 Numunelerden Elde Edilen Histeretik Döngüler (Karimi vd., 2008).....	34
Şekil 3. 15 S1, S2, S5&S6 için $\omega$ Deformasyon Seviyelerinin Kıyaslanması (Karimi vd., 2008) .....	35

Şekil 3. 16 S1, S2, S5&S6 için $\beta$ Deformasyon Seviyelerinin Kıyaslanması (Karimi vd., 2008).....	36
Şekil 3. 17 Test Edilen Numuneler İçin Maksimum $\eta$ Değerleri (Karimi vd., 2008) ....	37
Şekil 3. 18 Bir Yapının Kuvvet Yerdeğiştirme İlişkisi ve Eşdeğer Elastik Sistem (Choi vd., 2003). .....	39
Şekil 3. 19 BÖÇ' lü Bir Yapı Modelinin Geometrisi (Choi vd., 2003) .....	42
Şekil 3. 20 UBC-97' nin Tasarım Spektrumu ( $C_a=0.35$ ve $C_v=0.5$ ) (Choi vd., 2003)...	43
Şekil 3. 21 Zaman Tanım Analizinden Elde Edilen Maksimum Kat Ötelenmeleri (Choi vd., 2003). .....	43
Şekil 3. 22 Model Yapının Maksimum Katlararası Kayma Değerleri (Choi vd., 2003).44	
Şekil 4. 1 Eksenel Kuvvet Testi Yapılan Çapraz Numunesi .....	51
Şekil 4. 2 Çapraz Eksenel Kuvvet ve Dönme Testi .....	51
Şekil 4. 3 Döngüsel Kuvvet Yerdeğiştirme Grafiği.....	54
Şekil 4. 4 V ve Ters V Tipi Çaprazlarla Oluşturulan Çerçeveler. ....	57
Şekil 4. 5 Ters V Tipi Bir BÖÇ' lü Çerçeve a) Kiriş Tasarımı İçin Kullanılan Yüklemeler b) Kirişteki Dengesiz Çapraz Kuvvetlerinin Yatay ve Düşey Bileşenleri c) Kirişin Düşeyde Yerdeğiştirmesi.....	58
Şekil 4. 6 Düzeltilmiş Çapraz Dayanımlarından Çerçeveye Gelen Yükler ve Düşey Yükler .....	61
Şekil 5. 1 Yapı Planı .....	67
Şekil 5. 2 1-1 Aksı .....	68
Şekil 5. 3 A-A Aksı.....	69
Şekil 5. 4 Tasarım Tepki Spektrumu .....	73
Şekil 5. 5 Backbone Eğrisi.....	87
Şekil 5. 6 W profili .....	90
Şekil 5. 7 Birinci Kat Kirişinin Gerekli Eksenel Dayanımı.....	93
Şekil 5. 8 Tekil Diyagonal BÖÇ'lü Çerçeve Kolonlarındaki Eksenel Basınç Talebi ...	100
Şekil 5. 9 Ters V Çaprazlardan Dolayı Kirişlerde Oluşan Kuvvetler.....	109
Şekil 5. 10 Düzeltilmiş Çapraz Dayanımlarından Kirişlere Uygulanan Yükler.....	112
Şekil 5. 11 Ters V BÖÇ'lü Çerçeve Kolonlarındaki Eksenel Basınç Talebi .....	117
Şekil 6. 1 Birinci Durum.....	120
Şekil 6. 2 İkinci Durum.....	121
Şekil 6. 3 Üçüncü Durum .....	121
Şekil 6. 4 Dördüncü Durum.....	122
Şekil 6. 5 Beşinci Durum.....	122
Şekil 6. 6 1-1 Aksı Her Bir Durum İçin Kat Ötelenmeleri Grafiği .....	125
Şekil 6. 7 A-A Aksı Her Bir Durum İçin Kat Ötelenmeleri Grafiği.....	126
Şekil 6. 8 1-1 Aksı Her Bir Durum İçin Kat Kaymaları Grafiği .....	127
Şekil 6. 9 A-A Aksı Her Bir Durum İçin Kat Kaymaları Grafiği.....	128
Şekil 6. 10 BÖÇ Uzamasının Çerçeveye Olan Etkisi.....	129

## ÇİZELGELER DİZİNİ

<b><u>Çizelge</u></b>	<b><u>Sayfa</u></b>
Çizelge 3. 1 Yükleme Verileri .....	32
Çizelge 3. 2 1.5 $D_{bm}$ deki Değerler .....	37
Çizelge 5. 1 Katlara Göre Kütle ve Ağırlıklar .....	72
Çizelge 5. 2 Sistem Parametreleri .....	74
Çizelge 5. 3 Deprem Kuvvetlerinin Katlara Göre Dağılımı .....	77
Çizelge 5. 4 X Yönü İçin $r_{max}$ Değeri .....	79
Çizelge 5. 5 Y Yönü İçin $r_{max}$ Değeri .....	80
Çizelge 5. 6 X Yönündeki BÖÇ'lü Çerçeve İçin Tasarım Kat Ötelenmesi .....	83
Çizelge 5. 7 Y Yönündeki BÖÇ'lü Çerçeve İçin Tasarım Kat Ötelenmesi .....	84
Çizelge 5. 8 Y Yönü BÖÇ için Düzeltilmiş dayanım faktörü .....	88
Çizelge 5. 9 Y Yönü BÖÇ'lü Çerçeve için Düzeltilmiş BÖÇ Dayanımları .....	88
Çizelge 5. 10 $2\Delta_{bm}$ de Gerekli Kolon Eksenel Dayanım Tablo .....	101
Çizelge 5. 11 X Yönü BÖÇ İçin Düzeltilmiş Dayanım Faktörü .....	106
Çizelge 5. 12 X Yönü BÖÇ' lü Çerçeve İçin Düzeltilmiş BÖÇ Dayanımları .....	106
Çizelge 5. 13 $2.0 \Delta_{bm}$ 'de Gerekli Eksenel Kolon dayanımı .....	118
Çizelge 6. 1 1-1 Aksı Çekirdek Akma Uzunluğunun Etkisi .....	123
Çizelge 6. 2 A-A Aksı Çekirdek Akma Uzunluğunun Etkisi .....	123
Çizelge 6. 3 1-1 Aksı Çekirdek Başlık Alanlarının (Projeksiyon) Etkisi .....	124
Çizelge 6. 4 A-A Aksı Çekirdek Başlık Alanlarının (Projeksiyon) Etkisi .....	124
Çizelge 6. 5 1-1 Aksı Herbir Durum İçin Kat Ötelenmeleri .....	125
Çizelge 6. 6 A-A Aksı Herbir Durum İçin Kat Ötelenmeleri .....	126
Çizelge 6. 7 1-1 Aksı Herbir Durum İçin Kat Kayma Oranları .....	127
Çizelge 6. 8 A-A Aksı Herbir Durum İçin Kat Kayma Oranları .....	128
Çizelge 6. 9 Birinci Durum $L = 0.66. L_1$ .....	130
Çizelge 6. 10 İkinci Durum $L = 0.8. L_1$ .....	130
Çizelge 6. 11 Üçüncü Durum $L = 0.3. L_1$ .....	131

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

$A_g$	Kesit Alanı
$A_{sc}$	Çelik Çekirdeğin Akma Bölgesinin Alanı
$A_w$	BÖÇ Başlık Alanı
$C_b$	Moment değerlerine bağlı bir eğilme katsayısı
$C_d$	Sehim büyütme faktörü
$C_{MAX}$	Çaprazlarda oluşan maksimum basınç
$C_s$	Sismik tepki Katsayısı
$C_t (C_r)$	Yaklaşık periyod parametresi
$C_u$	Hesaplanan periyod için üst limit katsayısı
$C_{vx}$	Yatay kuvvet dağıtım faktörü
<b>DCR</b>	Talep kapasite oranı
<b>E</b>	Çeliğin elastisite oranı
$F_a$	İvme zemin bölgesi katsayısı
$F_{cr}$	Kritik gerilme
$F_i$	Taban kesme kuvveti $V'$ nin kat seviyelerindeki değeri
$F_v$	Hız zemin bölgesi katsayısı
$F_x$	Katlara uygulanan tasarım yatay kuvveti
$F_y$	Akma gerilmesi
$F_{ysc}$	Çelik çekirdeğin akma gerilmesi, kips
<b>I</b>	Yapı önem faktörü
<b>k</b>	Yapı periyoduna ilişkin üstel bir değer
<b>L</b>	Kiriş açıklığı
<b>L'</b>	Net kiriş açıklığı
$L_b$	Yatay desteksiz kiriş açıklığı, ft
$L_p$	Üniform moment durumunda, tam plastik eğilme dayanımı için yatay desteksiz limit uzunluk. ( $C_b > 1.0$ ), ft
$L_r$	İnelastik yanal burulmalı burkulma için yanal desteksiz limit uzunluk, ft
$L_{ysc}$	Çelik çekirdeğin akma bölgesi uzunluğu, ft
$M_n$	Sembolik eğilme dayanımı, kip-ft

<b>M<sub>p</sub></b>	Sembolik plastik eğilme dayanımı, kip-ft
<b>M<sub>pa</sub></b>	Eksenel kuvvetle düzeltilmiş nominal plastik eğilme dayanımı, kip-ft
<b>M<sub>r</sub></b>	Limit burkulma momenti, M <sub>cr</sub> , $\lambda = \lambda_r$ ve C <sub>b</sub> = 1.0 olduğunda, kip-ft
<b>M<sub>u</sub></b>	Gereken eğilme dayanımı, kip-ft
<b>M<sub>y</sub></b>	Bir elastik gerilme dağılımından dolayı, uç liflerde akmanın başlangıcına karşılık gelen moment
<b>P<sub>bx</sub></b>	Elastik kat kaymasına karşılık gelen bir çaprazdaki eksenel yük, kips
<b>P<sub>n</sub></b>	Nominal eksenel dayanım (çekme ya da basınç), kips
<b>P<sub>u</sub></b>	Gereken eksenel dayanım (çekme ya da basınç), kips
<b>P<sub>ysc</sub></b>	Çelik çekirdeğin akma dayanımı, kips
<b>Q<sub>b</sub></b>	Çaprazlar tarafından kirişe etki eden maksimum dengesiz düşey yük, kips
<b>R</b>	Tepki düzenleme faktörü
<b>R<sub>y</sub></b>	Beklenen akma dayanımının, belirtilen min. akma dayanımına (F <sub>y</sub> ) oranı
<b>S<sub>a</sub></b>	Spektral tepki ivmesi
<b>S<sub>DS</sub></b>	Kısa periyotta deprem spektral tepki ivmesi tasarımı
<b>S<sub>D1</sub></b>	1 saniye periyodunda deprem spektral tepki ivmesi tasarımı
<b>S<sub>MS</sub></b>	Zemin sınıfı etkisine göre düzeltilmiş kısa periyotlar için maks. kabul edilen deprem spektral tepki ivmesi
<b>S<sub>M1</sub></b>	Zemin sınıfı etkisine göre düzeltilmiş 1 saniye periyodunda maks. kabul edilen deprem spektral tepki ivmesi
<b>S<sub>s</sub></b>	Kısa periyotlarda eşleştirilmiş maks. kabul edilen deprem spektral tepki ivmesi
<b>S<sub>1</sub></b>	1 saniye periyodunda eşleştirilmiş maks. kabul edilen deprem spektral tepki ivmesi
<b>S<sub>x</sub></b>	Kuvvetli yöndeki aksa ilişkin elastik kesit modülü, in <sup>3</sup>
<b>T</b>	Yapının temel periyodu, sec
<b>T<sub>a</sub></b>	Yapının yaklaşık temel periyodu, sec
<b>T<sub>MAX</sub></b>	Çaprazdaki maks. çekme, kips
<b>V</b>	Taban kesme kuvveti, kips
<b>V<sub>c</sub></b>	Kolonlar tarafından önlenecek kat kesmesi, kips
<b>V<sub>n</sub></b>	Nominal kesme dayanımı, kips
<b>V<sub>p</sub></b>	M <sub>p</sub> 'ye karşılık gelen nominal kesme dayanımı, kips

$V_{pa}$	Eksenel kuvvetle düzeltilmiş $M_p$ ' ye karşılık gelen nominal kesme dayanımı, kips
$V_u$	Gerekli kesme dayanımı, kips
$V_x$	Kat kesmesi
$W$	Deprem ağırlığı
$Z_x$	Plastik kesit modülü, in <sup>3</sup>
$b_f$	Haddelenmiş kiriş ya da plaka kirişinin geniş başlığı, in
$d$	Elemanın tüm derinliği, in
$e_x$	X yönündeki eksantrite, ft
$e_y$	Y yönündeki eksantrite, ft
$f'_c$	Betonun belirtilen basınç dayanımı, psi
$h$	Net kesit yüksekliği, in
$h_n$	Yapının üstünden tabanına yüksekliği, ft
$h_{sx}$	X seviyesinin altındaki kat yüksekliği, in
$h_x$	Temel seviyesi X in üstündeki yükseklik, feet
$k_x$	Prizmatik eleman için x aksındaki etkili uzunluk faktörü
$k_y$	Prizmatik eleman için y aksındaki etkili uzunluk faktörü
$l_x$	x aksındaki yanall desteksiz uzunluk, ft
$l_y$	y aksındaki yanall desteksiz uzunluk, ft
$r_{max}$	Bir kattaki toplam kat kesmesinin en fazla kesme kuvveti taşıyan tekil eleman ile önlendiği kuvvet ile tasarım kat kesmesinin oranı
$r_x$	x eksenindeki dönme yarıçapı, in
$r_y$	y eksenindeki dönme yarıçapı, in
$t_f$	Başlık kalınlığı, in
$t_w$	Gövde kalınlığı, in
$w_x$	Sismik ağırlığın x seviyesindeki bölümü, kips
$x$	Yaklaşık periyot parametresi
$\beta$	Basınçtaki dayanım düzeltme faktörü
$\Delta_a$	İzin verilen kat kayması, in
$\Delta_b$	Eksenel kuvvet ve dönme testinde, çaprazın toplam uç dönmesi ya da toplam eksenel deformasyonu, in ya da rad
$\Delta_{bx}$	Elastik kat kaymasına karşılık gelen çapraz eksenel deformasyonu, in



$\Delta_M$	Tasarım kat kayması, in
$\Delta_x$	Elastik kat ötelenmesi, in
$\Delta_{bm}$	Tasarım kat kaymasına karşılık gelen çapraz aksenal deformasyonu, in
$\Delta_{by}$	İlk kaydadeğer akmada, çapraz aksenal deformasyonu, in
$\epsilon_{BRC}$	Ortalama çapraz akması
$\phi$	Koruma faktörü
$\phi_b$	Eğilme için koruma faktörü
$\phi_c$	Basınç için koruma faktörü
$\phi_v$	Kesme için koruma faktörü
$\lambda_c$	Kolon için narinlik parametresi
$\lambda_{ps}$	Kompak eleman için limit narinlik parametresi
$\mu$	Çapraz süneklik talebi
$\psi$	Düşey aks ile çapraz arasındaki açı
$\theta_a$	İzin verilen katlar arası kayma oranı
$\theta_M$	Katlar arası tasarım kayma oranı
$\theta_x$	Katlar arası elastik kayma oranı
$\rho$	Bir binadaki mevcut yapısal birikme ölçüsüne dayalı bir katsayı
$\Sigma_{\mu p}$	Çaprazın kümülatif plastik sünekliği
$\omega$	Çapraz için çekme düzeltme faktörü
<b>BÖÇ</b>	Burkulması önlenmiş çapraz
<b>BÖÇÇ</b>	Burkulması önlenmiş çaprazlı çerçeve
<b>AISC</b>	American Institute of Steel Construction
<b>ASCE</b>	American Society of Civil Engineers
<b>ASTM</b>	American Society for Testing and Materials
<b>DRAIN</b>	Dynamic Response Analysis of Inelastic
<b>DTVÇÇ</b>	Dışmerkez ters V çaprazlı çerçeve
<b>DVÇÇ</b>	Dışmerkez V çaprazlı çerçeve
<b>FEMA</b>	Federal Emergency Management Agency
<b>GÇÇ</b>	Geleneksel çaprazlı çerçeve
<b>LRFD</b>	Load and Resistance Factor Design

<b>MAÇ</b>	Moment Aktaran Çerçeve
<b>NBCC</b>	National Building Code of Canada
<b>NEHRP</b>	National Earthquake Hazards Reduction Program
<b>SAC</b>	Structural Engineers Association of California, Applied Technology Council ve California Universities for Research in Earthquake Engineering kuruluşlarının oluşturduğu girişimin adı.
<b>TDY</b>	Türk Deprem Yönetmeliği
<b>UBC</b>	Uniform Building Code

## 1. GİRİŞ

Hemen hemen tüm bölgelerin deprem riski taşıdığı ülkemizde yapıları depreme dayanıklı olarak tasarlamak ve bunları uygulamak hayati derecede önemli hale gelmiştir. Son yıllarda depremlerle yaşadığımız acı tecrübeler yapılaşmaların depreme dayanıklı olmasını zorunlu hale getirmiştir.

Dünyadaki en güncel deprem yönetmeliklerinde sünek tasarım ilkeleri ön planda tutulmuş bu amaçla da yapıların deprem enerjisini yutabilecek kadar sünek olmaları sağlanmıştır. Bu durum sünek yapı tasarlamının deprem bölgelerinde öncelikli hedef olduğunu gösterir. Bu şekilde yapının deprem enerjisini depremin şiddetine bağlı olarak sönmülmesi sağlanacak ve çok şiddetli depremlerde bile yapıda tamamen bir göçme durumu olmadan elastoplastik şekil değiştirmelerle yani kalıcı hasar görerek bu enerjinin yutulması sağlanacaktır.

Deprem ve rüzgar kuvvetleri yapılarda yatay zorlanmalara neden olur. Yapılarda bunlara karşı koyan bölümlerde çerçevelerdir. Son yıllarda bina türü yapıların deprem performansını arttırmayı amaçlayan çeşitli tasarım ve inşaat teknolojileri geliştiren çalışmalar yapılmaktadır. Bir yapı güçlü zemin hareketleri ve rüzgar kuvvetleri altındayken geleneksel çerçeveler en büyük yanal deformasyon seviyelerini üstlenir. Eğer bu deformasyon aşırıysa yapısal bütünlükten ödün vermeden yapısal ve yapısal olmayan hasarlar belirlemektedir. Böyle deformasyonları engellemek için çeşitli tipte eleman ya da aletler çerçevelerde kullanılmaktadır. Betonarme çerçevelerde duvarlar bu görevi üstlenirken, çelik çerçevelerde diyagonal eleman olarak nitelendirilen çaprazlar bunu sağlamaktadır. Bu çalışmada çelik çerçevelerde kullanılan çaprazlar konu alınacaktır. Çaprazların çelik çerçevelerde katlar arası deformasyonları kontrol edici, enerji dağıtıcı ve rijitlik arttırıcı yönde görevleri vardır. Böylece bütün yapının davranışının geliştirilmesinde ve hasarlara karşı koruyucu yönde görev aldıkları söylenebilir. Tekil çelik bir elemanla oluşturulan burkulan bir çapraz maruz kalacağı

etkiye göre basınç ve çekmenin her ikisinde de çalışabilecek şekilde bir kesitle tasarlanmaktadır. Bu çapraz elemanındaki burkulma ise narinlik oranı ile kontrol edilir.

Narinlik oranı çaprazın dönme yarıçapı açısından rijitliği ve net uzunluğu arasındaki orandır. Burada basınç kuvveti sınırlayıcı rol oynamaktadır. Bu da elemanın rijitliğini ve kesit alanını belirler. Genellikle burkulmaya karşı büyük kesit alanı gereklidir. Burkulma basınç elemanlarının genel ortak bir problemidir. Yük taşıma kapasitesi ve rijitliğin kaybı ile eleman yatay deforme olduğundaki hata modu eğilme burkulmasıdır. Çerçevelerde bu şekilde bir çapraz burkulmasının oluşmasıyla yatay rijitlik kaybı, çerçeve stabilitesinin belirgin ölçüde azalması, yapısal ya da yapısal olmayan elemanlarda şiddetli hasar oluşması ve yapısal göçme için bazı olayların meydana gelmesi gibi sonuçlar ortaya çıkabilir. Bu durum geleneksel çaprazların süneklik kapasitesinin sınırlı olması, çevrimsel yükler altında simetrik olmayan histeretik grafiğe sahip olması ve basınç altında burkulup kararlılığını kaybetmesinin bir sonucu olarak ortaya çıkar.

Bu çalışmada işte bu problemin üstesinden gelebilmek için yaklaşık otuz yıl önce Japonya'da geliştirilen ve burkulması önlenmiş çapraz olarak isimlendirilen yapı elemanı incelenecektir. Bu çaprazlar burkulma meydana gelmeyecek şekilde tasarlanmışlardır. Deprem kuvvetlerinin neden olduğu basınç ve çekme kuvvetlerinin her ikisi altında da simetrik histeretik davranış gösterirler. Geleneksel çaprazlı çerçeveler birinci ve daha fazla kat seviyelerinde yoğun ve büyük deformasyonlara eğilimlidirler ve deprem etkisi altında düzensiz deformasyon modelleri sunarlar. Burkulması önlenmiş çaprazların (BÖÇ) geleneksel çaprazlardan (GÇ) daha stabil bir davranış göstermesi beklenir. Bu durum görelî yer değiştirmelerin daha küçük olacağı anlamına gelmez ama çerçeve tepkileri çalışmamızda açıklanacağı gibi kat yüksekliği boyunca daha fazla üniform olacaktır (Hussain, 2010).

Burkulması önlenmiş çaprazlı çerçeve sistemleri eski yapıların depreme karşı güçlendirilmesi ve yeni yapılacak yapılar için yanal deprem yüklerini karşılamada kullanılır. Aslında BÖÇ'lü çerçeve sistemlerinin geliştirilmesindeki esas amaç yapıların depreme karşı güçlendirilmesinde ek histeretik damperler olarak kullanılmasıdır

(Engelhardt, 2007). Dikkatli bir analiz ve çapraz boyutlandırılması; yapı periyodunda tolere edilmeyecek bir azalma olmadan deprem yüklerinin sönümlenmesinde önemli derecede bir artışa neden olmaktadır (Deulkar, 2010).

Bu çalışmada, geçen otuz yıl boyunca burkulması önlenmiş çaprazlarla ilgili yapılan araştırmaların bir sunumu yapılacak çeşitli tiplerde düşünülen, tasarlanan, geliştirilen ve deneyleri yapılan burkulması önlenmiş çaprazlarla ilgili deneysel ve analitik sonuçlar ortaya çıkarılacaktır.

Normal ve burkulması önlenmiş çaprazlara karşılık gelen analitik formüller, analiz ve tasarımda kullanılan bir dizi denklemler sunulacak BÖÇ'lü bir yapının tasarım esasları AISC ve FEMA 450'ye göre açıklanarak BÖÇ'lü bir yapının analiz ve tasarımı yapılacaktır.

## 1.1. Literatür Çalışmaları

BÖÇ kavramı ilk kez 1980'lerin başlarında Japonya'da araştırıldı. O tarihten bu yana burkulması önlenmiş çapraz kavramı ile ilgili birçok çalışma yapılmış ve Japonya bu çalışmalarda başı çekmiştir. Günümüzde mühendislik uygulamalarında yaygın olarak kullanılan ve geçmişte bilimsel olarak çalışılan iki tip BÖÇ'ten bahsedebiliriz (Escudero, 2003).

- i. Çelik tüp (kasa) yada aynı görevi gören betonarme tüp ile çevrelenmiş BÖÇ'ler
- ii. Betonarme panellerle korunmuş BÖÇ'ler

BÖÇ'lerin bu iki tipi arasından birincisi Japonya ve Amerika'da oldukça popüler olarak kullanılmaktadır ve bununla ilgili yapılmış literatürde birçok çalışma vardır. İkinci tip ise Japonya'da kullanılmaktadır ve literatürde bu tip ile ilgili İngilizce bilgiler kısıtlıdır. Bu iki tip BÖÇ'ün yapılarda ortak kullanımlarıyla ilgili ise birçok öneri bulunmasına rağmen uygulamalarda birlikte kullanılmazlar (Escudero, 2003).

Birinci tip BÖÇ 2000'li yılların başına kadar Amerika'da kullanılmadı. 2000'li yıllardan sonra Amerika'da ve diğer ülkelerde BÖÇ'lere olan ilgi ve kullanım artış gösterdi. Günümüzde birçok ülkede BÖÇ üretimi yapan çelik firmaları bulunmakta ve onlarca farklı tip ve yapıda BÖÇ üretilmektedir. Japonya'daki Nippon Steel firması "Unbonded Brace" patent adıyla BÖÇ'lerin üreticisi ve patent sahibidir. ("Unbonded Brace" terimi çelik çelirdek ve bunu çevreleyen beton arasında kayma yüzeyi olduğunu belirtmek için BÖÇ'lerin tanımlanmasında kullanılır.)

Wakabayashi vd., (1973) BÖÇ'lü çelik çerçevelere ilişkin ilk deneysel ve kuramsal çalışmaları Japonya'da yapmışlardır. Bu çalışmada düz ve çelik plakadan yapılmış çapraz, bir çift prekast betonarme panel arasına yerleştirilmiş ve sandviç model adı verilen bir sistem gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmanın sonucunda çelik plakanın burkulmayarak basınç altında da çekmedeki gibi üniform şekil değiştirdiği ve basınçtaki dayanımının çekmedeki dayanımından büyük olduğu sonucuna varılmıştır (Karataş ve Çelik, 2009).

Watabane vd., (1988) çaprızın tümsel burkulma davranışı üzerine yaptıkları çalışmalarda dış tüpün Euler burkulma yükü  $P_e$ , çekirdek elemanın aksenal akma yükü  $P_y$  olmak üzere  $P_e/P_y$  oranı elde etmişler, malzemenin başlangıçtaki geometrik kusurlarının büyüklüğünün tümsel burkulmaların oluşmasına etkisi olduğu ve bu nedenle uygulamada  $P_e/P_y$  oranının en az 1.5 alınması gerektiği önermişlerdir (Karataş ve Çelik, 2009).

ABD'de Higgins ve Newell (2004) burkulmayı önleyici mekanizma olarak Ottawa kumundan oluşan daneli bir ortam ve çekirdek olarak A36 çekirdeğini kullanmışlardır. Yapılan deneyde çelik çekirdeğin 18. modda burkulduğu gözlemlenmiştir. Bu sonuç kohezyonsuz daneli ortamın mükemmel bir sargı ortamı sağladığının kanıtıdır (Karataş ve Çelik, 2009).

Tsai ve Lai (2002) farklı sürtünmesiz yüzey malzemeleri ile oluşturulmuş BÖÇ'lü çelik çerçevelerin tekrarlı yükler altındaki davranışlarını araştırmışlar ve en az

eksenel yük farkının 1 mm kalınlığında silikon kauçuk şeritlere ait olduğunu göstermişlerdir (Karataş ve Çelik, 2009).

Tremblay vd., (1999) BÖÇ'lü çerçevelerin birleşim deneyleri çalışmalarını yürütmüşler ve mevcut bir yapının statik karakterli yükleme deneyi ve lineer olmayan dinamik analiz sonuçları üzerinde durmuşlardır. Ayrıca bir çok açıdan BÖÇ'lü çelik çerçeve sistemi ile yönetmeliklerde belirtilen klasik dış merkez çaprazlı çerçeveler karşılaştırılmış BÖÇ'lü sistemlerin daha ekonomik sonuçlar verdiği görülmüştür. Analitik çalışmalarında kullandıkları yükleme koşulları ise AISC'ye taban oluşturmuştur (Karataş ve Çelik, 2009).

BÖÇ'ler Amerika'da elliyi aşkın binada hem yeniden inşa hem de güçlendirme aşamalarında kullanılmıştır. BÖÇ'ler Amerika'da yeni yapı sistemi olarak önerilmeye başlandıktan sonra BÖÇ'lerin tasarım ve uygulamalarına yönelik American Institute of Steel Construction (AISC) ve Structural Engineers Association of California (SEAOC) tarafından yönetmelikler hazırlanmıştır. Bu yönetmelikler hazırlanırken ABD'nin birçok üniversitesinde yapılan deneysel ve kuramsal çalışmalardan yararlanılmıştır (Karataş ve Çelik, 2009).

Bu konuda ülkemizde de çalışmalar yürütülmektedir. Çelik ve Bruneau BÖÇ'lerin köprülerdeki kullanımları üzerine analitik olarak, Karataş ve Çelik BÖÇ'lerin tasarım hesapları ve kuralları üzerine kuramsal olarak çalışmışlardır. İnci (2011) Mevcut betonarme çerçevenin BÖÇ'lerle güçlendirilmesi üzerine analitik olarak çalışmıştır.

## 2. BÖÇ KAVRAMI

### 2.1. Literatürdeki BÖÇ Uygulamaları

Yapılardaki yatay yer değiştirmeler mühendisler için büyük bir ilgi kaynağı olmaktadır. Bu etkiyi minimize etmek amacıyla pozitif etkili özel diyagonal elemanlar kullanılmaktadır. Fakat bu elemanlar basınç söz konusu olduğunda burkulma eğilimi gösterirler. Bu da yapının yanal deformasyon rijitliğini azaltarak, yapıların büyük yanal yerdeğiştirmelere maruz kalmasını sağlar. Bu davranışı geliştirmek için yıllardan beri birçok analitik ve deneysel çalışmalar yürütüldü ve basınç kuvvetinin neden olduğu bir stabilite problemi olan burkulmayı önleyen BÖÇ'ler geliştirildi. BÖÇ'ler hakkında yapılan bu çalışmalar yukarıda belirtildiği gibi farklı yapılandırmalar içeren iki geniş kategoriye ayrılır (Escudero, 2003).

- i. Çelik tüp ya da betonarme tüp elemanlar tarafından korunan çelik çaprazlar,
- ii. Betonarme paneller tarafından korunan çelik çaprazlar

Tokyo Teknoloji Enstitüsü'nden Prof. Akira Wada 1980'lerde narin elemanların burkulmada bozulma modlarını yok eden basınç elemanları geliştirmek için Nippon çelik şirketiyle ortak bir çalışmaya başladı. Doktor Wada basınç elemanlarında burkulmayı önleme düşüncesini insan vücudundaki köprücük kemiğinden ilham almıştır ve aslında Wada'nın BÖÇ tasarımı tipik bir insan kemiğine benzemektedir. Yani ortalarda azaltılmış ve başlarda daha büyük kesitler (Hussain, 2010).

Doktor Wada'nın basınç elemanlarında burkulmayı önleme fikri BÖÇ'leri sismik koruma elemanı ve enerji sönümleyici olarak kullanmak içindi. Bu elemanları "hasar kontrolü" olarak öngörmesi bu rasyonel düşünce süreci sayesinde. Böylece gerçek bir bina tasarımındaki BÖÇ'ler moment aktaran çerçeveler ile birlikte histeretik damper görevi görmektedir.

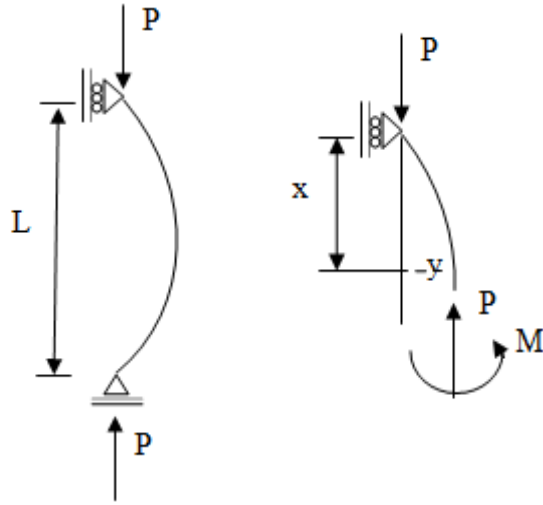


1988'lerin başlarında Japonya'da BÖÇ'ler moment korumalı çerçevelerde yanal koruyucu olarak kullanılmaya başlandı. BÖÇ'lü çerçevenin ilk testleri Nippon Steel Corporation Un-bonded Brace™ ve 1999'da Berkeley'de California Üniversitesinde yapıldı. Testler Prof. Egor Popov ve Prof. N. Markis gözetiminde yapılmıştır. Test Universty of California Davis'te önerilen bir proje için yapıldı. İlk burkulması önlenmiş çapraz UC Davis'te Amerika'da yapıldı. BÖÇ sünek, stabil ve tekrar edebilir histeretik davranışa sahip olarak sunuldu. Plastik deformasyon kapasitesi hem kümülatif plastik akma hemde en büyük deformasyon açısından gereken performansı aştı.

2000'li yıllardan sonra ABD ve diğer ülkelerde BÖÇ kullanımı ve BÖÇ'lere olan ilgi gittikçe arttı. Şu anda günümüzde onlarca farklı tip ve yapıda BÖÇ'ler üretilmektedir.

## **2.2 BÖÇ'ün Tanımlanması**

BÖÇ kavramının daha iyi anlaşılması için öncelikle burkulmanın tanımını yapmak gerekir. Burkulma bir stabilite problemidir. Örneğin aksel ya da eksantrik basınç etkisi altındaki bir çelik profil (yapma ya da hadde) yeterli narinliğe sahip ise burkulmaya maruz kalacaktır. Burkulma basınç altındaki bir elemanın yükleme öncesindeki düz halden belirli bir kritik yükte, düzlem dışına doğru yerdeğiştirmesi olarak tanımlanır. Bu durum "A" kesit alanına sahip bir çubuğun basınç etkisi altındaki taşıma gücünü çekmeye kıyasla oldukça azaltmaktadır. Şekil 2.1'de Euler burkulmasının bir modeli gösterilerek, burkulmayı ifade eden denklem elde edilmiştir.



Şekil 2. 1 Euler Burkulması

i. Kesitteki denklemden,

$$M = -Py \quad (2. 1)$$

ii. Küçük deformasyonlar teorisinden,

$$(M / EI) = (d^2 y / dx^2) \quad (2. 2)$$

iii. İki noluk denklemleri bir de yerine koyarsak;

$$(d^2 y / dx^2) = -(P / EI)y \quad (2. 3)$$

$$(d^2 y / dx^2) + (P / EI)y = 0$$

İkinci derece diferansiyel denklem. Çözümü genel ve özel çözüm olmak üzere iki kısımdan oluşur.

iv. Genel çözümü;

$$y = A \sin \sqrt{\frac{P}{EI}} x + B \cos \sqrt{\frac{P}{EI}} x \quad (2. 4)$$

v. Sınır şartlar;  $x=0$  da  $y=0$

$$y = A \sin \sqrt{\frac{P}{EI}}x + B \cos \sqrt{\frac{P}{EI}}x$$

Sınır şartlar;  $x=L$  de  $y=0$

$$y = A \sin \sqrt{\frac{P}{EI}}x + B \cos \sqrt{\frac{P}{EI}}x$$

Ya A sıfır olacak ya da ikinci terim sıfır olacak. Eğer A sıfır olursa denklemden hem A hem de B sıfır olacağından çözüm yoktur. O zaman ikinci terim sıfırdır.

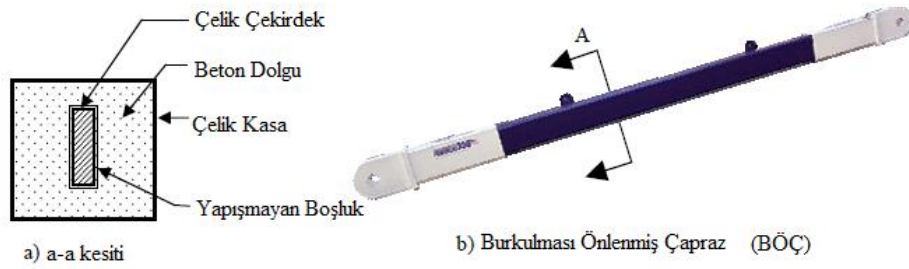
$$\sin \sqrt{\frac{P}{EI}}L = 0 \rightarrow \sqrt{\frac{P}{EI}}L = \pi$$

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L^2} \quad (2.5)$$

Yukarıda belirtildiği gibi  $P_{cr}$  yükünde eleman burkulmaya uğrayacaktır. Euler burkulma yükü formülüne göre burkulmayı önleminin yolu dönme yarıçapı açısından rijitliği ( $\pi^2 EI$ ) arttırmaktır. Bunu gerçekleştirmek için aşağıda belirtilen elemanlardan oluşan bir kompozit yapı elemanı (BÖÇ) düşünülmüştür.

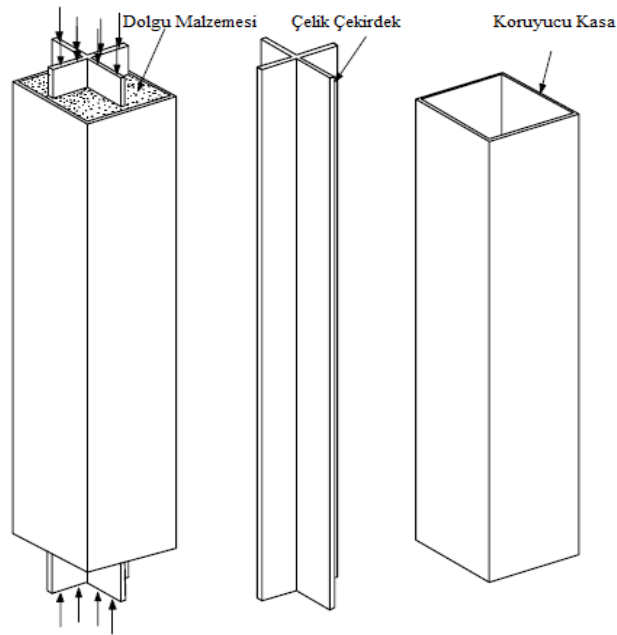
### 2.2.1. BÖÇ'ün Bileşenleri ve Çalışma Prensibi

Şekil 2.2'de gösterildiği gibi BÖÇ'ler çelik çekirdek ve çelik çekirdeği muhafaza eden kasanın oluşur. Bu muhafaza çelik çekirdeği kapsayarak burkulmasını engeller. Çelik çekirdek ile kasa arasında bir harç vardır. Bu harç ile çelik çekirdeğin birbiri ile olan aderansını engellemek için çelik çekirdek ile harç arasında ayırıcı bir yüzey bulunmaktadır.



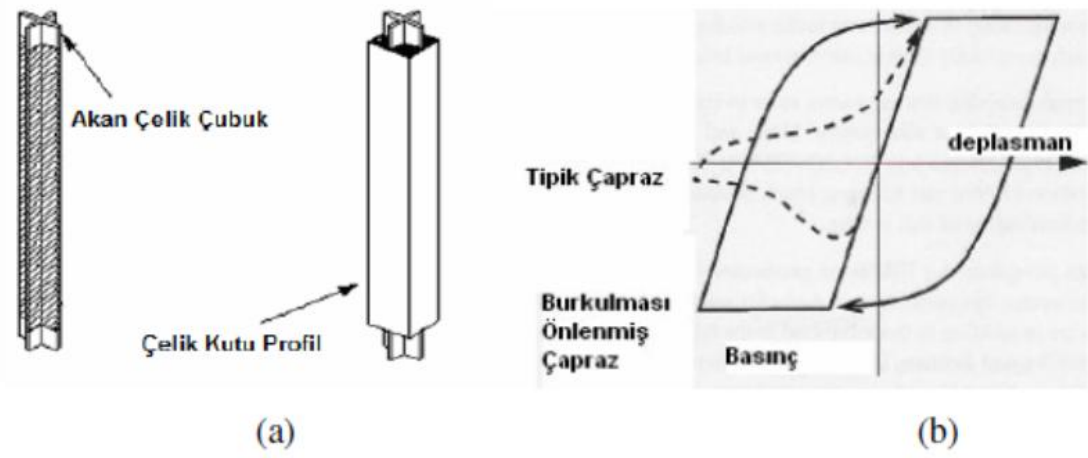
**Şekil 2. 2** Burkulması Önlenmiş Çapraz ve Enkesiti

Şekil 2. 3'te gösterildiği gibi aksenal kuvvetleri çelik çekirdek taşımaktadır. Harç ve muhafazanın aksenal kuvvet taşıma özelliği yoktur. Harç ve muhafaza çelik çekirdeğin basınç altında burkulmasını engelleyerek çelik çekirdeğin çekme gerilmesindeki gibi davranış göstermesini sağlamaktadır.



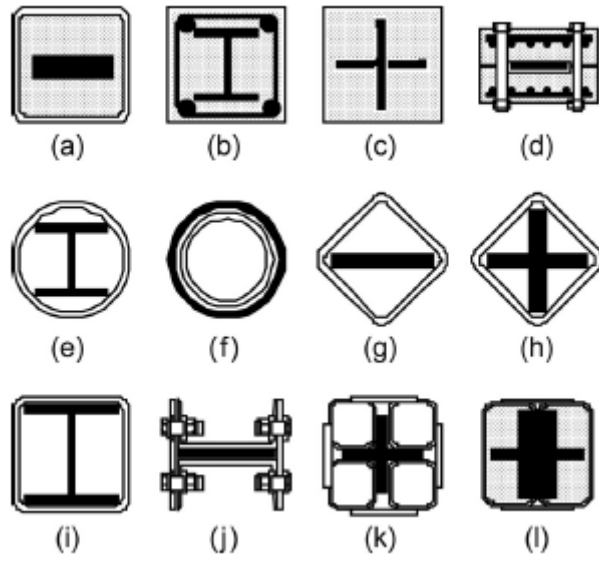
**Şekil 2. 3** BÖÇ Bileşenleri

Şekil 2. 4'te burkulmayı önleyici sistem ve dengeli histeretik eğrinin bir modeli gösterilmiştir.



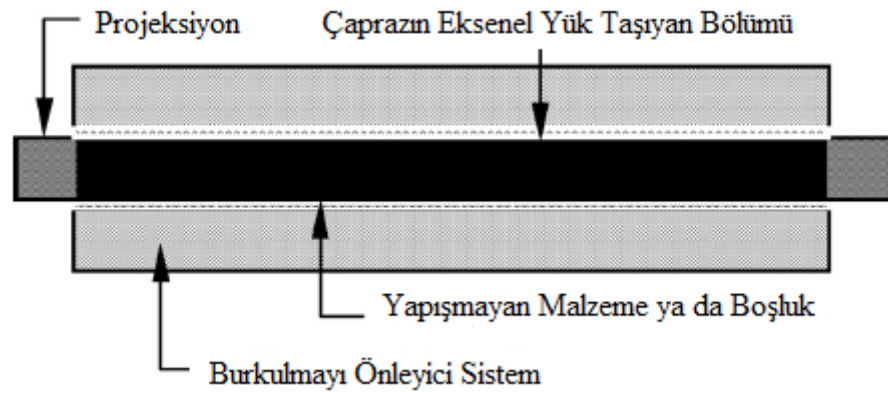
**Şekil 2. 4 (a)** Burkulması önlenmiş çapraz eleman tipi **(b)** Çapraz eleman eksenel kuvvet-deplasman davranışı (Durmuş, 2008)

Çelik çekirdeği değişik kesitlere sahip olabilen basit bir dikdörtgen plaka olarak düşünebiliriz. Çelik çekirdeğin burkulmasını engelleyen kasa içi harçla doldurulmuş tipik bir dikdörtgen borudur. Çelik çekirdek ile kasa arasında oluşabilecek normal kuvvet etkilerini ortadan kaldırmak için çelik çekirdek ayırıcı bir malzeme ile çevrelenmiştir. Ayırıcı malzeme çeşitli BÖÇ üreticilerine bağlı olarak değişebilmektedir ama hepsinin amacı aynıdır. Bu sayede çelik kasa çelik çekirdeğin etrafında yüzer vaziyettedir. Çelik çekirdek yine üreticilere bağlı olarak birçok farklı tip kesitlere sahip olabilir. Tek bir plakaya ek olarak haç şeklinde çift plakalı kesitler kullanılarak BÖÇ'ler oluşturulabilir. Şekil 2.5'te değişik kesitli ve farklı tipteki BÖÇ'ler gösterilmiştir.



Şekil 2. 5 Çeşitli BÖÇ Enkesitleri (Xie, 2004)

Şekil 2.6'da gösterildiği gibi BÖÇ'lerin çalışma şeklini şöyle özetleyebiliriz. Çelik çekirdek aksenal kuvvetlerin tamamına karşı direnir. Gövde (kasa) çelik çekirdekten ayrılır. Böylece birbiri arasında yük alışverişi olmaz. Gövdenin eğilme rijitliği sayesinde de çelik çekirdeğin burkulması engellenir. Gövde de normal kuvvet olmadığından onun eğilme rijitliğinin tamamı çelik çekirdeğin burkulmasını engellemek için kullanılır.



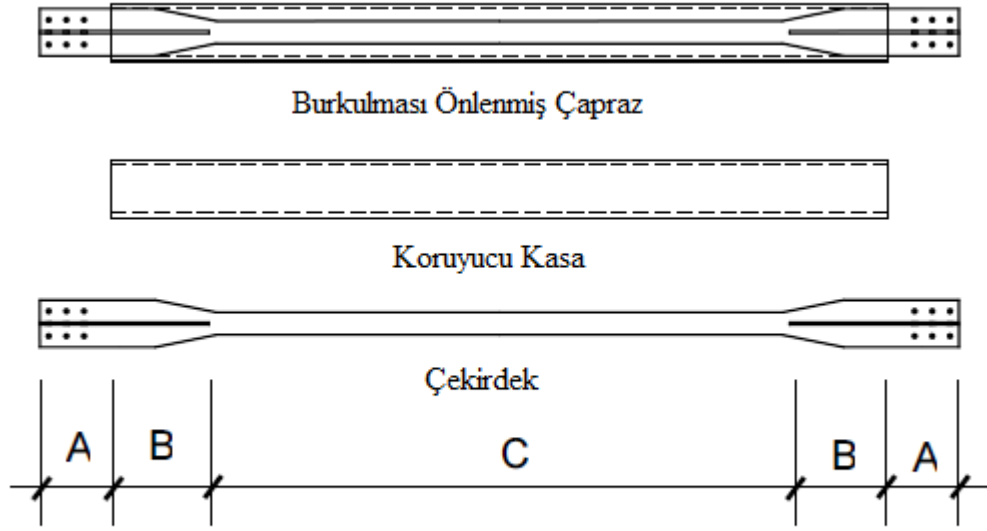
Şekil 2. 6 Tipik BÖÇ Bileşenleri (Xie, 2005)

BÖÇ'ün ucunda ve kasanın dış kısmında kalan bölge çekirdeğin projeksiyonu olarak adlandırılır. Çekirdek projeksiyonu tipik olarak akma bölgesinden önemli ölçüde daha büyük bir kesit alanına sahiptir ve genellikle projeksiyon burkulmayı engellemek için takviye edilmiştir. Ayrıca çekirdek projeksiyonu BÖÇ ile çerçeve arasındaki bağlantının sağlanması için üreticisine bağlı olarak civata delikli yada pimli olarak teşkil edilir.

Yapıyı BÖÇ kullanarak tasarlayacak yapı tasarımcısı çekirdek projeksiyonunda sağlanan bağlantı detayları, ayırıcı malzeme ve gövde detaylarını, çekirdek projeksiyonu ve çekirdeğin şekli gibi burkulması önlenmiş çaprazların detaylarını kendisi geliştiremez. Bunların yerine BÖÇ için üretim ve satış merkezleri bulunmaktadır. Bu elemanlar üreticiler tarafından belirli test ve tasarım geliştirme aşamalarından geçmiş tescilli ve patentli tasarımlardır. Bundan dolayı, yapı tasarımcısı sadece BÖÇ için gereken rijitlik ve mukavemet değerlerini kendi belirleyecek üreticide bu belirtilenlere uygun BÖÇ'ler tedarik edecektir (Engelhardt, 2007).

### **2.2.2. BÖÇ Davranışı**

Burkulması Önlenmiş Çaprazlarda aksenal yük taşıyan eleman çelik çekirdektir. Dolayısıyla BÖÇ elemanının davranışında çelik çekirdeğin geometrik ve fiziksel özellikleri etkili olacaktır. Çelik çekirdeği; akma bölgesi, güçlendirme bölgesi ve birleşim bölgesi olarak üç kısma ayırabiliriz. Şekil 2. 7'de A birleşim bölgesini, B güçlendirme bölgesini, C ise akma bölgesini temsil etmektedir (Sabelli ve Lopez, 2004).



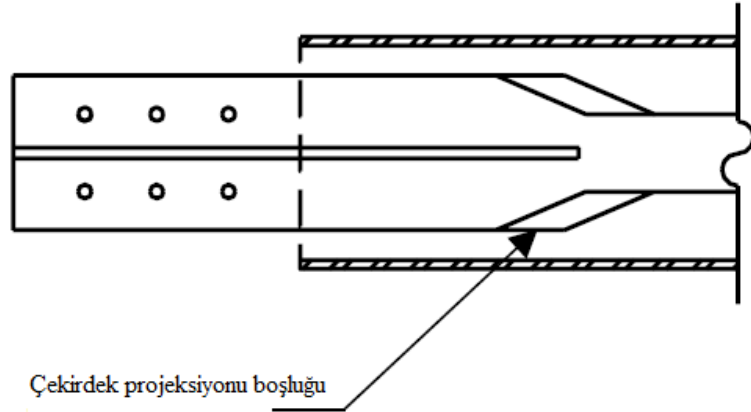
Şekil 2. 7 BÖÇ Bileşenleri ve Çekirdek Kısımları (Sabelli ve Lopez, 2004)

Akma Bölgesi; BÖÇ'lerin enerji sönümlenmesinin gerçekleştiği bölgedir. Kesit alanının en küçük olduğu bölümdür. Bundan dolayı elastik olmayan şekil değiştirmelerin bu bölümde olması beklenir. Tekrarlı yükler altında meydana gelen çok küçük yer değiştirmelerde bile tahmin edilebilir bir akma dayanımının beklediği akma bölgesinin uzunluğu kontrol edilerek sismik enerji yutma kapasitesi belirlenmektedir. Uzun akma bölgesi ile daha çabuk ve daha fazla deprem enerjisi sönümlenebilmektedir. Süneklik kapasitesinin yüksek olması için bu bölgede çoğunlukla düşük akma dayanımlı çelik malzeme (A36) tercih edilmekle birlikte, yüksek akma dayanımlı çelik malzemede (A572 Gr.50 gibi) kullanılmaktadır (Karataş ve Çelik, 2009).

Güçlendirme Bölgesi; çelik çekirdekte akmaya uğrayacak ve enerji sönümlenmesi sağlayacak kısım akma bölgesidir. Güçlendirme bölgesinin elastik sınırlar içerisinde kalması ve bu kısımlarda yerel burkulma meydana gelmemesi için en kesiti akma bölgesinden büyük tutulmaktadır. En kesit geçişlerinin pürüzsüzlüğünü sağlamak ve akma bölgesi ile birleştiği noktalardaki gerilme yığılmalarını engellemek için güçlendirme bölgesi kesiti istavroz şeklinde düzenlenmiştir. Berkitme levhaları

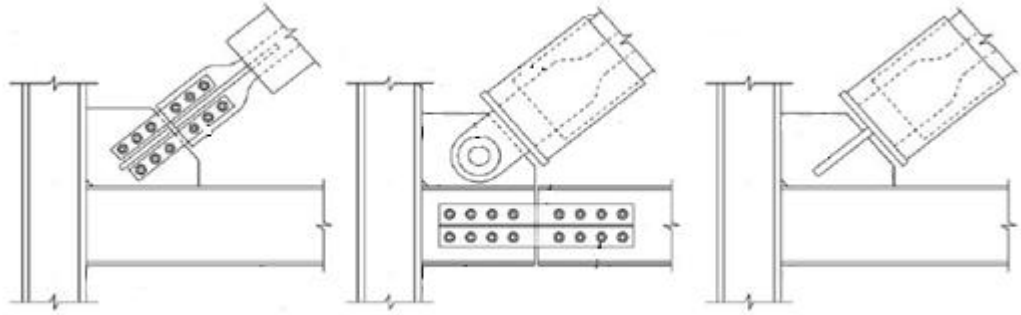


kullanılarak ta en kesit alanı arttırılabilmektedir. Çekirdek basınç etkisi altında iken akma bölgesinin uzunluğu kısalmakta ve poisson etkileri nedeniyle en kesiti artmaktadır. Bu kısalma neticesinde güçlendirme bölgesindeki çekirdek en kesitinin arttığı bölüm ile dolgu malzemesinin teması söz konusu olmaktadır. Böyle bir temas, çapraz çekirdeğine gelmesi öngörülen yükü, dolgu malzemesi ile daha büyük bir kesite ulaştırarak ve çapraz dayanımında beklenmedik bir artışa neden olmaktadır. Bu durumu engellemek için çelik çekirdek ile dolgu malzemesi arasında belli oranda boşluk bırakılmaktadır. Boşluk kısmı şekil 2. 8'de gösterilmiştir.



**Şekil 2. 8** Çekirdek Projeksiyonu ile Dolgu Malzemesi Arasındaki Boşluk (Sabelli ve Lopez, 2004)

Birleşim Bölgesi; bu bölge güçlendirme bölgesinin bir uzantısıdır. Dolgu malzemeli dış tüpün dışında kalır. Çaprazın çerçeve ile birleşiminin sağlandığı bölümdür. Elastik sınırlar içinde kalması, dengeli ve kararlı bir davranış gösterebilmesi için uzunluğu kısa tutulmaktadır. BÖÇ üreticilerine göre değişen farklı birleşim bölgesi detayları vardır. Bunlar şekil 2. 9'da gösterilmiş avantaj ve dezavantajları açıklanmıştır.



Şekil 2. 9 BÖÇ Bağlantı Detayları

### 2.2.3. BÖÇ Bağlantı Tipleri

İlk BÖÇ Nippon Steel tarafından Unbonded Brace <sup>TM</sup> patent ismi altında üretilmiştir ve şu anda dünyada üç üretici bulunmaktadır.

Son on yıl içinde BÖÇ üreticileri arasındaki rekabet artmış ve her üretici kendine has yeni bağlantı yapılandırılmaları geliştirmiştir. Şuanda BÖÇ uç bağlantıları için üç farklı yapılandırma mevcuttur. Bunlardan Nippon Steel ve CoreBrace'e ait tipik bulonlu bağlantı modelleri vardır. Ancak CoreBrace tipik bulonlu bağlantıdan önemli ölçüde daha az bulon kullanan değişik bulonlu bağlantı geliştirmiştir. Star Seismic ise koruyucu plakalar ile büyük kayma piminin oluşturduğu benzersiz gerçek pim bağlantısına sahiptir.

Her bir bağlantının iyi ve kötü yanları aşağıda listelenmiştir.

### a) Standart Bulonlu Bağlantılar



Şekil 2. 10 Standart Bulonlu Bağlantı

#### **Avantajları:**

- Büyük boy delikler tek pin bağlantısından çok daha kolay montaj toleransı sağlamaktadır.
- Çoklu civata daha çok fazladan bağlantı sağlar ve tekli pin bağlantısıyla kıyaslandığında potansiyel inelastiklik içeren guse plakası deformasyonlarını dağıtır.

#### **Dezavantajları:**

- Tekli pin bağlantısı ile kıyaslandığında BÖÇ akma uzunluğu daha kısa ve guse plakası daha büyüktür.
- Ek plaka ve civatanın büyük bir miktarı tekli pin bağlantılarından önemli derecede daha fazla emek gerektirmektedir.

**b) Geliştirilmiş Bulonlu Bağlantılar**

**Şekil 2. 11** Geliştirilmiş Bulonlu Bağlantılar

**Avantajları:**

- Yukarıda listelenmiş standart bulonlu bağlantılarla aynıdır.
- Önemli ölçüde daha az bulon ve ek plakası kullanılır. Bunlar işçilikte azalma sağlar.

**Dezavantajları:**

- Standart bulonlu bağlantılarla aynıdır.

**c) Gerçek Pimli Bağlantı:****Şekil 2. 12** Pimli Bağlantılar**Avantajları:**

- Daha uzun BÖÇ akma uzunluğu verilen talep için daha küçük zorlanmayı doğurur.
- Gerçek pimli bağlantı kayma nedeniyle düzlemdeki ikincil momentleri ortadan kaldırır.
- Tekli pim kurulum maliyetlerini ortadan kaldırır.

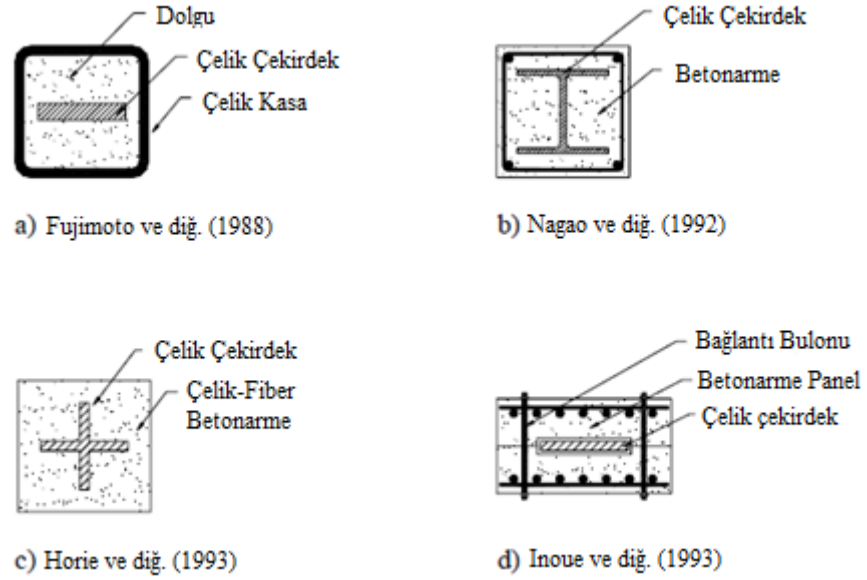
**Dezavantajları:**

- Sertleşme toleransı çok küçüktür.

Yukarıda verilen tüm bağlantı çeşitleri FEMA 450 ve 2005 AISC sismik hükümlerinin test kriterlerini karşılar.

### 3. BÖÇ'lerin GELİŞİMİ İLE İLGİLİ ÇALIŞMALARIN GÖZDEN GEÇİRİLMESİ

Geçtiğimiz yirmi yıl içinde BÖÇ'lerin davranışlarının tam olarak anlaşılması amacıyla birçok deneysel ve analitik çalışma yapıldı. Bunun sonucunda birçok yeni çapraz modeli önerildi. Şekil 3. 1'de mühendislik uygulamalarında çok kullanılan bazı BÖÇ'lere ait kesitler gösterilmiştir.

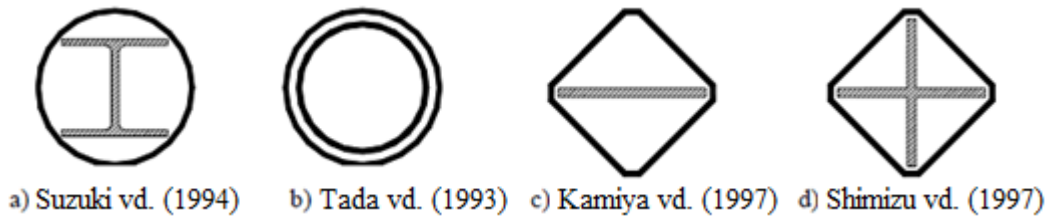


**Şekil 3. 1** Farklı Tipteki Yaygın BÖÇ Enkesitleri (Escudero, 2003)

Fujimoto vd. (1988) çelik çekirdek (plaka), çelik tüp ve dolgu malzemesinden oluşan Şekil 3.1 (a)'daki BÖÇ'ü önerdi. Dış çelik tüp burkulmaya karşı koyacak bir eğilme rijitliğine sahiptir. Eksenel kuvvetler çelik çekirdek tarafından taşınacaktır. Nagao vd. (1992) tarafından önerilen Şekil 3.1 (b)'deki BÖÇ ise kare kesitli betonarme eleman ve bunun içinde bulunan bir geniş başlıklı profilden oluşmaktadır. Eksenel yük çelik profil tarafından karşılanacak betonarme eleman ise eğilme rijitliği sağlayarak

profilin burkulmasını engelleyecektir. Horrie vd. (1993) Şekil 3.1 (c)'deki gibi haç şeklinde bir çelik çekirdek ve koruyucu eleman olarak çelik fiberden oluşmuş betonarmenin meydana getirdiği burkulması önlenmiş sistemi geliştirmişlerdir. Inoue vd. (1993) betonarme panellerle korunmuş çelik çekirdek yapılandırmasını sundular. Şekil 3.1. (d)'de gösterildiği gibi iki adet ön döküm betonarme panelin arasına aksenal yük taşıyacak çelik plaka yerleştirilmiş ve bulonlarla birleştirilmiştir (Escudero, 2003).

Bunlarla birlikte analizleri yapılmış ve test edilmiş birçok farklı düzenleme vardır. Şekil 3.2'de bunlardan bazıları gösterilmiştir.

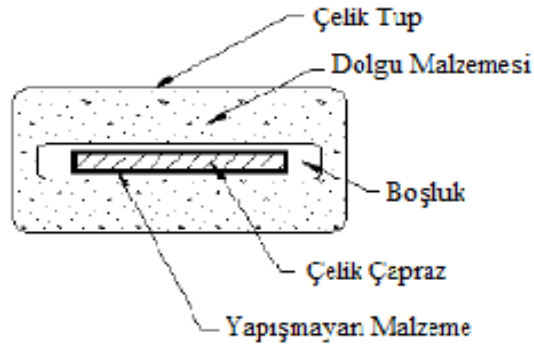


**Şekil 3. 2** Farklı Tipteki Diğçer BÖÇ Enkesitleri (Escudero, 2003)

Şekil 3.2'de gösterilen BÖÇ'lerin ortak özelliği dolgu malzemesi kullanılmamış olmasıdır. Bundan dolayı yapışmayan malzeme kullanılmamıştır. Ancak çelik çekirdek ve koruyucu tüp arasına birbirinden bağımsız deformasyon yapmasına izin veren uygun boşluklar bırakılmış ve koruyucu tüpün iç çekirdekteki burkulma etkilerini önlemesi sağlanmıştır. Fujimoto vd. (1988), Kamiya vd. (1997), Suzuki vd. (1994) 1 mm boşluk kullanmışlar, Narihana vd. (2000) 3 mm boşluk kullanmıştır. Tada vd. (1993) iki çelik tüpün iç içe geçmesiyle oluşan bir BÖÇ yapılandırması sundu. Bu yapılandırmada iç tüp burkulmaya karşı dış tüpü koruyacak dış tüp ise aksenal kuvvetlere karşı koyacaktır.

### 3.1. Çelik Tüplerle Korunan Çaprazlar

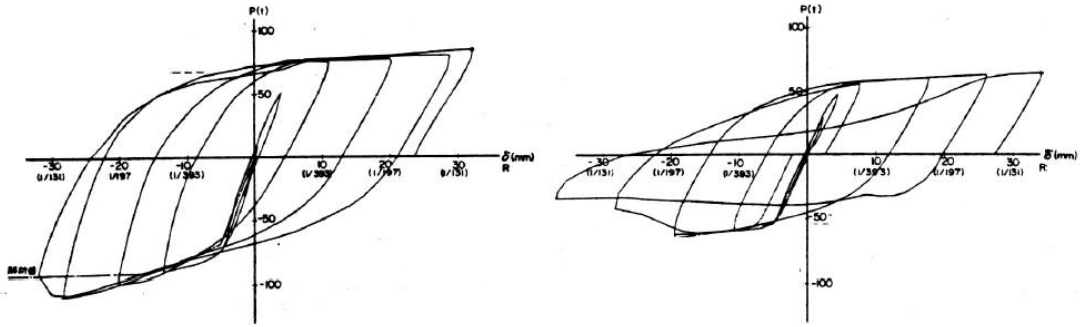
1979'da Kimura ve diğerleri döngüsel yükler altında çelik tüpün içine dolgu malzemesi doldurarak korunmuş çelik çaprazlarla ilgili ilk testleri yaptı. Şekil 3.3'de gösterilmiştir.



**Şekil 3. 3** Kimura vd. (1979) Tarafından Test Edilmiş Tipik BÖÇ Enkesiti  
(Escudero, 2003)

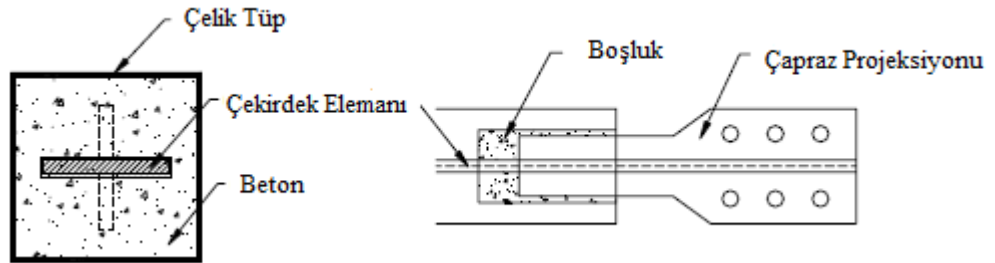
Test sonuçlarından şu neticeye varıldı. Numuneler 3.7 ve 7.8 aralığındaki yer değiştirme süneklilikleri ile çok iyi histeretik davranış gösterdi. İki malzemenin arasındaki sürtünme etkisini ortadan kaldırmak için yeterli boşluk bırakıldı. Ancak çapraz dolgu arayüzündeki boşluklar ve yapışmayan malzemeyle ilgili detaylara tam olarak değinilmedi. Şekil 3.4'de farklı beton basınç dayanımına sahip ve aynı çelik çekirdekle oluşturulan iki farklı numuneden elde edilen sonuçlar gösterilmiştir.





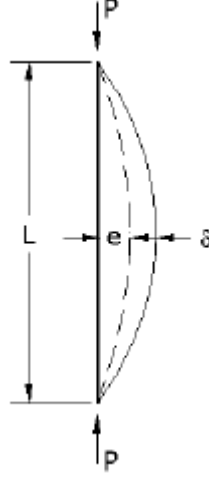
Şekil 3. 4 Kimura vd. (1979) Tarafından Elde Edilmiş Test Sonuçları (Escudero, 2003)

Fujimoto ve diğ. şekil 3.5 de gösterildiği gibi içi betonla doldurulmuş çelik tüp ile kaplanmış ve uç projeksiyonlarında rijit yapışmayan dikdörtgen çelik kesiti ile karakterize edilmiş bir çapraz tipini 1988 yılında sundular.



Şekil 3. 5 Fujimoto vd. (1988) Açıklanan Genel BÖÇ Yapısı (Escudero, 2003)

Denklem (2. 5)'de sunulan gerekli rijitlik, Euler burkulma yükü terimlerindeki koruyucu elemanın rijitliğine dayanır. Rijit çaprazın tüm burkulmasının korunması sayesinde çelik çaprazın akma kuvvetine gelmesi sağlanır. Şekil 3.6 gözönüne alınan yük altında burkulmuş çaprazı gösterir.



**Şekil 3. 6** Fujimoto vd. (1988) Burkulmuş Çapraz Modeli (Escudero, 2003)

Denklemdaki  $e$  elemanın merkezindeki başlangıç deformasyonunu gösterir,  $\delta$  ise  $P$  basınç kuvvetinin hareketi nedeniyle ek yanal deformasyonları gösterir.

Şekil 3.6 daki gibi elemanın yanal deformasyonunun sinüzoidal eğri şeklinde olduğunun kabul edilmesiyle kesitteki denge uygulanır ve aşağıdaki denklemler elde edilir.

$$v = \frac{e}{1 - \frac{P}{P_e}} \cos \frac{\pi}{L} x \quad (3.1)$$

$v$ , toplam yanal deformasyon, ve  $P_e$  Euler burkulma yükü.

$$P_e = \frac{\pi^2 EI_K}{L^2} \quad (3.2)$$

$I_K$  koruyucu elemanın eylemsizlik momenti,  $E$  koruyucu elemanın elastisite modülü.

Orta mesafedeki maksimum yer değiştirme aşağıdaki gibi bulunur.

$$v_{\max} = \frac{P_e}{P_e - P} e \quad (3.3)$$

Akma anında,  $P = P_y$  iken orta mesafede oluşan moment aşağıdaki gibi eşittir.

$$M_{\max} = P_y \cdot v_{\max} = \frac{P_e \cdot P_y}{P_e - P_y} \cdot e \quad (3.4)$$

Eğilme dayanımı, kesitin geometrik ve mekanik özelliklerine ve uygulanan momentin koşullarına bağlı olarak açıklanır.

$$\begin{aligned} \sigma_y &= \frac{M_{\max} \cdot D}{2 \cdot I_k} \Rightarrow \sigma_y \frac{P_e \cdot P_y}{P_e - P_y} e \frac{D}{2I_k} \Rightarrow \sigma_y = \frac{P_y}{P_e - P_y} \cdot \frac{\pi^2 EI_k}{L^2} \cdot e \cdot \frac{D}{2I_k} \\ \sigma_y &= \frac{P_y}{P_e - P_y} \cdot \frac{\pi^2 EeD}{2L^2} \end{aligned} \quad (3.5)$$

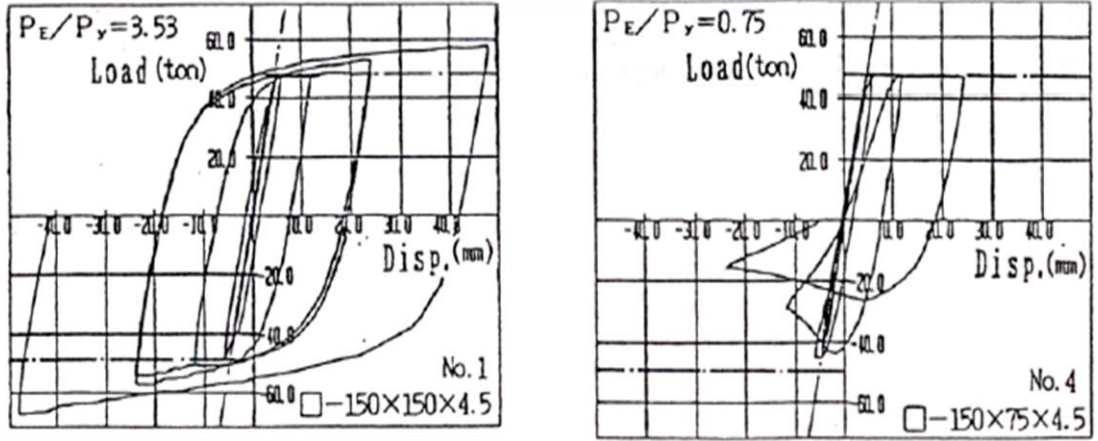
D, BÖÇ' ün kesit alanının derinliği tarafsız aks bölgesinde  $D/2$ ,  $\sigma_y$  eğime akma dayanımı.

Denklemler 3.5'ten rijitlik kriteri aşağıdaki gibi açıklanmıştır.

$$\frac{P_e}{P_y} \geq 1 + \frac{\pi^2 Ee}{\frac{2\sigma_y L}{D}} \quad (3.6)$$

5 farklı numunede gözönüne alınan malzemelerin doğrusal olmayan davranışları test edildi. Farklı yapılandırılmalar sunularak, çekirdek malzemesinin akma dayanımı ve

koruyucu tüpün rijitliğinin Euler burkulma yükü arasındaki oran  $P_E/P_y$  0,55 ten 3,82'ye kadar değişkenlik gösterir. Bu olay dış tüpün genişliği "D" ve kalınlığının değiştirilmesi ve içerideki elik çaprazın boyutlarının sabit tutulmasıyla yapılır. Numuneler tasarım yüklerine ve katlar arası yer değiştirme açısına ulaşana kadar döngüsel yükler altında test edildi. Deneylerden tatminkar sonuçlar bulundu. Çapraz elemanın akma dayanımından koruyucu elemanın burkulma dayanımının daha büyük olmasıyla elik çekirdekte burkulma gözlenmedi. Bu da B'lerin yapılarda iyi bir enerji sönümleyici eleman olduğunun bir kanıtıdır. Şekil 3. 7'de iki farklı  $P_E/P_y$  oranına sahip numune sonuçları gösterilmiştir.

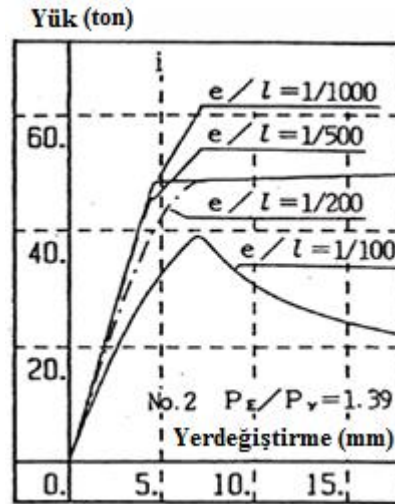


**Şekil 3. 7** Fujimoto vd. (1988) Tarafından Hazırlanan İki Farklı Yapılandırmanın Test Sonuçları (Escudero, 2003)

Akma bölgesinin 1/500 nde ortalama yerdeğiştirme gözlenmiştir. Gerçek binada bu elemanların kullanımı için 1/200 ve 1/100 aralığında katlar arası kayma gerekliliği vardır.

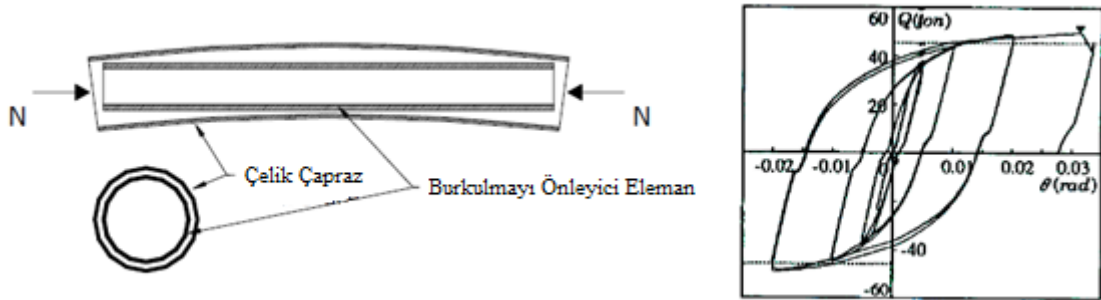
Bu test sonuçlarından şu ilave bilgilere ulaşabiliriz. Koruyucu beton ve elik çapraz arasındaki sürtünme kuvveti hemen hemen ortadan kaldırılmıştır. Önerilen yapışmayan malzeme, Vinly/Mastic band ve polisterol şekillendirici malzeme iyi bir seçim olmuştur. Yazar histeretik eğrilerden şu gerçeği tespit etti. İlk rijitlik hemen hemen elik çekirdeğin rijitliğine karşı geldi. Şekil 3. 7'den anlaşıldığı gibi koruyucu

elemanın Euler burkulma yükü çelik çekirdeğin akma yükünden daha büyüktür. Histeretik döngülerden de görüldüğü gibi iç çelik çekirdeğin akma yükünde stabil akma meydana gelir. Öte yandan, yetersiz eğilme rijitliği ile elemanda dayanım kaybı ve toptan göçme meydana gelir. Elemanın ilk yer değiştirme etkisi incelenerek Şekil 3.8'de şunlar ortaya çıktı. İlkel kusurların değerleri yüksek olduğu için ilk rijitliği oldukça bozulur. 1/100 olan ilk yer değiştirme ya da daha fazlası akmadan önce burkulmaya neden olsa bile bu etki koruyucu kasanın Euler burkulma yükünün çelik çekirdeğin akma yükünden daha fazla olmadığı durumlarda önem kazanır.



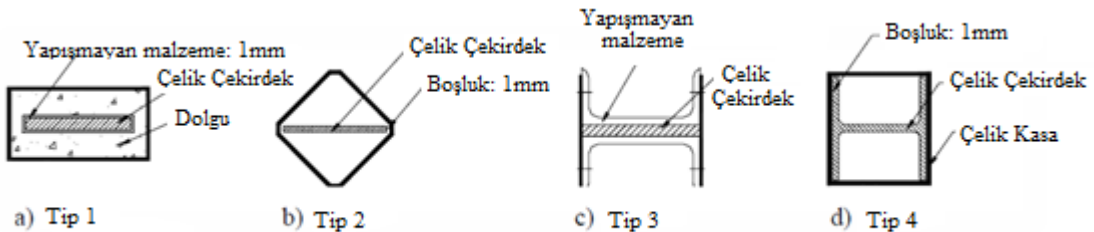
Şekil 3. 8 Fujimoto vd. (1988) Başlangıçtaki Kusurun Etkisi (Escudero, 2003)

1993 yılında Tada ve diğ. yeni tip bir çaprazın yatay yükleme testlerini yaptı. Bu yeni tip BÖÇ Şekil 3. 9 da gösterilen biri diğerini kapsayan iki adet çelik dairesel tüpten meydana gelmektedir. İç tüp yanal burkulmaya karşı gerekli korumayı sağlamakla görevli iken, dıştaki tüp ise aksel yüklerle karşı direnir. Numuneler %2 nin üzerindeki kayma ile ideal yük deformasyon ilişkisinde gösterilmiştir.



**Şekil 3. 9** Tada vd. (1993) Tarafından Hazırlanan BÖÇ Numunesinin Yapısı ve Histeretik Döngüsü

Iwata vd. (2000) şekil 3.10 da gösterilen BÖÇ'lerin ticari olarak kullanılabilen dört tipi arasında deneysel karşılaştırmaları yürütmüşlerdir. Şekil 3. 10 da test edilen dört tip numune gösterilmiştir. Bu numunelerdeki dolgu malzemesi, çelik çekirdek ile sürtünme kuvveti etkilerini azaltıcı yapışmayan malzeme ve 1-3 numunelerindeki gibi elemanlar arasındaki göreceli yer değiştirmeye uyum sağlaması için 1mm lik bir boşluk bütün numunelerde çaprazın çevresinde bırakıldı. Çelik çekirdek basınç kuvveti ile yüklendiğinde poisson oranı etkileri ile enine deformasyon nedeniyle çelik çekirdeğin enine genişlemesinin sonucu bu bağıl (göreceli) yer değiştirme oluştu. Tip 1, Fujimoto ve diğ. (1988) tarafından de yapılan araştırmalardan elde edilen bulgular sonucu tasarlandı. İçi doldurulmuş dikdörtgen çelik tüp tarafından korunan çelik çekirdeğin etrafında yumuşak lastik malzeme kullanılarak dolgu malzemesiyle olan irtibatı kesilmiştir. Maksimum akma %3 ondört döngüden sonra elde edilir.



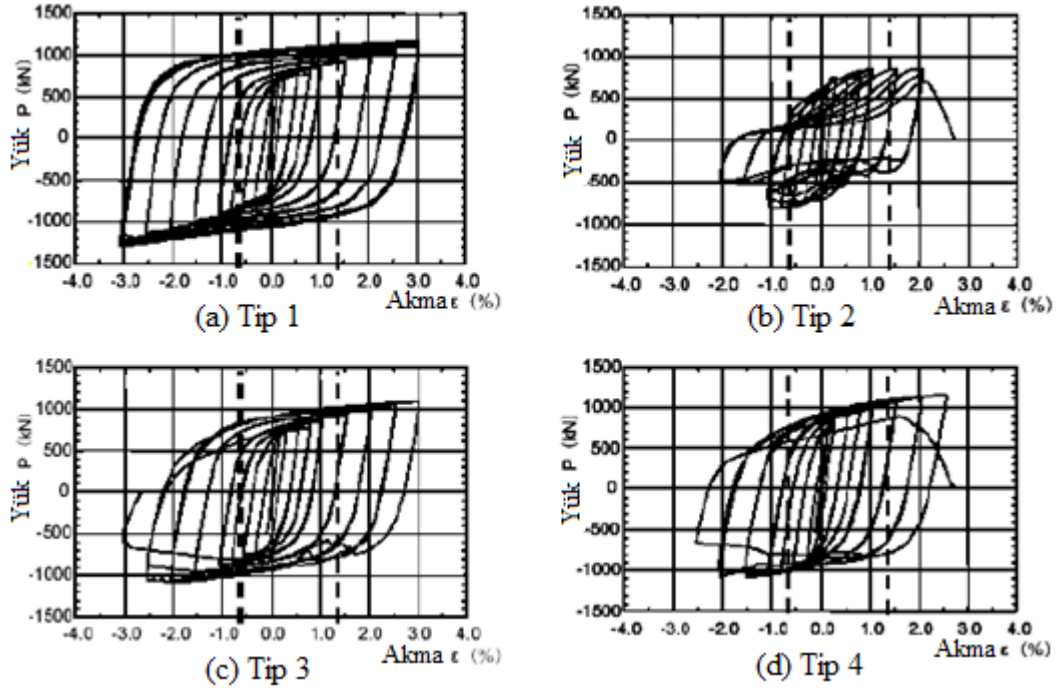
**Şekil 3. 10** Iwata vd. (2000) Tarafından Test Edilen BÖÇ Modellerinin Enkesitleri (Escudero, 2003)

Tip 2 dolgu malzemesi olmaksızın eğik konumlandırılmış dikdörtgen çelik tüp ile çevrelenmiş düz çelik çaprazdan meydana gelir. Bu tasarım Kamiya ve diğ. (1997) tarafından sunulan inelastik davranış esas alınarak düzeltilmiştir. Bu numune diğerlerine kıyasla daha düşük bir performans sergiler. %1'lik akma, ikinci döngüsel yükleme altında çelik çaprazın orta noktasında burkulma meydana gelir. %2,5'lik akmada ilk yüklemde rijitliği kaybolur. Histeretik döngüden görüldüğü gibi enerji sömümlemesi çok büyük değildir.

Tip 3 yüksek dayanımlı bulonlarla bağlanmış iki çelik kanal tarafından yanıl burkulmaya karşı önlenmiş düz çelik bar çaprazından oluşur. Bu BÖÇ Fukuta ve diğ. (1999) tarafından tasarlandı. Numune 1 de kullanılan aynı malzeme kullanılarak çelik çekirdeğin yapışmaması sağlandı. Basınç kuvveti etkisi altında %2.5 akmada uç takviyelerde local burkulma, %3 akmada ise yüksek dayanımlı bağlantılardan birinin çatlaması gözlemlendi. Testin sonuna kadar numune başarılı bir enerji sönmüleyici özellik gösterdi.

Tip 4'te düz bar çaprazın yerine geniş başlıklı çelik kesit kullanıldı. Bu kesitin burkulması dikdörtgen çelik tüp kullanılarak önlenmesi sağlandı. Suzuki ve diğ. (1994) tarafından çalışılan test sonuçlarına göre tasarlandı. Numune 2 deki gibi dolgu malzemesi kullanılmadı. %2'lik akma deformasyonuna ulaştığında, çelik çaprazın orta bölümünde local burkulma meydana geldi ve burkulmayı önleyici çelik tüpte bazı çatlaklar görüldü. İkinci yükleme döngüsünün içinde %2.5'lik akmaya ulaşıldığında ise çatlaklı kısmı kırılma (yırtık) takip etti.

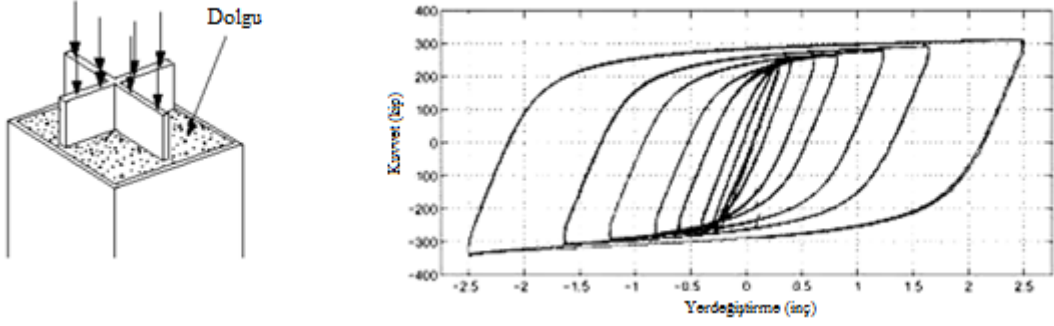
Şekil 3. 11'de gösterilen histeretik eğrilere dayanarak yazar en iyi davranışı birinci numunenin gösterdiğine karar kıldı. Bunları sırasıyla 3, 4 ve 2 nolu numuneler takip etti. Bununla birlikte bütün çaprazlar %1 akma limitinin altında iyi performans gösterdi.



**Şekil 3. 11** Iwata ve Diğ. (2000) Tarafından Dört Numune İçin Elde Edilen Histeretik Döngüler (Escudero, 2003)

Black vd. 1999 ve 2000 yıllarında ticari olarak temin edilebilecek bir BÖÇ markasının tepki ve davranışlarını karakterize edecek deneysel bir test programı yürüttüler. Farklı yapılandırılmalara sahip 5 farklı numune SEAOC tarafından sağlanan önerilere göre döngüsel yükler altında test edildi. Ayrıca numunelerden biri, deprem yükleri altında tipik beş katlı binanın kat ötelenmelerinden kaynaklanan katlar arası yer değiştirmeler altında test edildi. Test edilen BÖÇ şekil 3. 12'de gösterilmiştir. Bu burkulması önlenmiş çapraz içi doldurulmuş kare çelik tüp ile korunmuş haç şeklindeki çelik çekirdekten ibarettir. Çaprazlar döngüsel yüklemeler altında stabil histeretik davranış sergilerler.



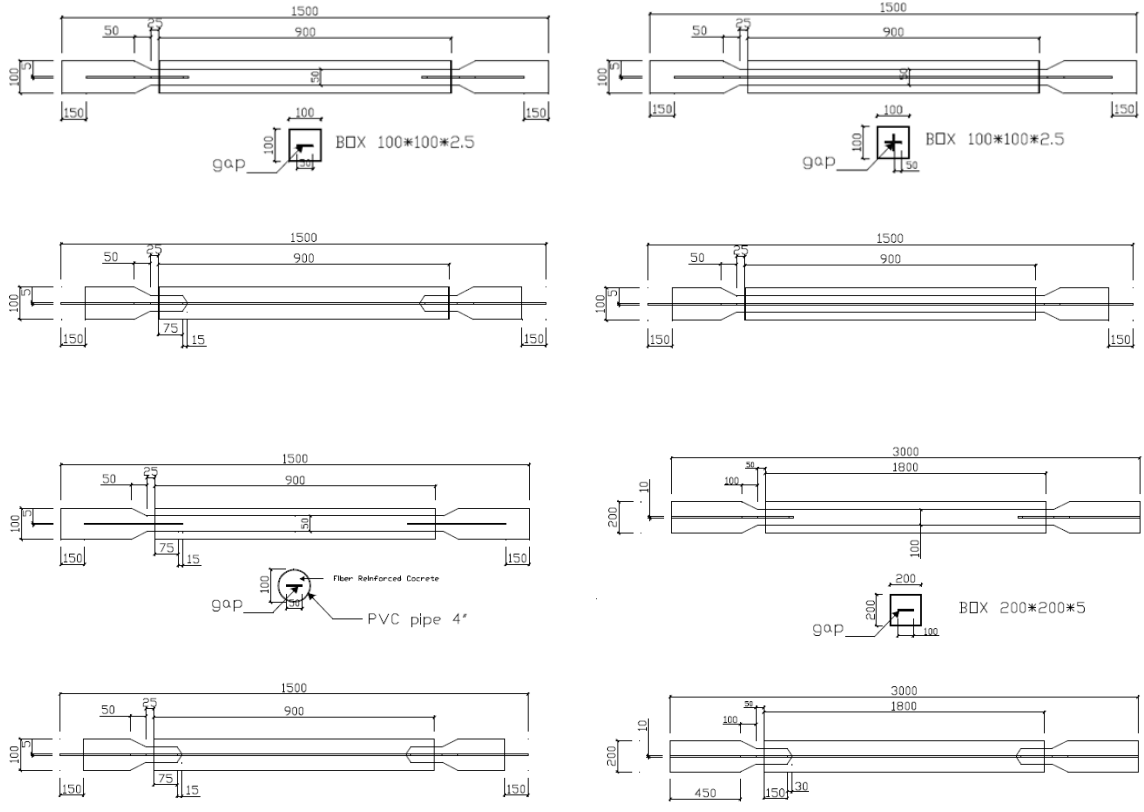


**Şekil 3.12** Black vd. (2000), Tarafından Test Edilen Numunenin Detayı ve Histeretik Döngüsü (Escudero, 2003)

Döngüsel yükler altında test edilmiş numunelerden biri yorgunluk testi çalışmasında kullanıldı. Onbeşinci yüklemede çelik çekirdekte çatlamlar görüldü. Yazarlar döngüler boyunca histeretik davranışın bozulması hakkında bir şey rapor etmedi. Elde edilen değerler ve beklenenler arasında iyi bir ilişkinin olduğu görüldü.

Karimi vd. (2008) tarafından yürütülen bu çalışmada ise İran'da yerel olarak elde edilen malzemelerle ve yine İran' da üretilen çelikten imal edilen BÖÇ yapılarının döngüsel davranışını inceler. Japonya, Amerika ve birçok Avrupa ülkesinde BÖÇ uygulamaları ile ilgili birçok araştırma ve test yapılmasına rağmen, bu çalışma İran'da var olan teknoloji ve malzemelerle onların uyumluluğuna izin veren ilk çalışmadır.

BÖÇ'lerin deprem performanslarının ve karakteristiklerinin araştırılması için bir deneysel program hazırlandı. Bu çalışma için İran daki uluslararası deprem mühendisliği ve sismoloji enstitüsünde altı farklı numune üretildi ve test edildi. 1/4 ölçekli S1, S2, S3, S4 ve 1/2 ölçekli numuneler S5 ve S6 test edildi. Bütün numuneler merkezi çelik plaka, çelik kare tüp ve içi betonla doldurulmuş şekilde oluşturulmuştur. Kabul edilen S4 numunesinin çelik çekirdeği haç şeklindedir. Çizelge 3.1'deki  $D_{bm}$  tasarım kat ötelenmesine karşı gelen deformasyondur.  $D_{by}$  test numunesinin ilk kayda değer akmasında deformasyon miktarının değeridir.  $P_{ya}$  çekirdeğin gerçek akma kuvvetidir.  $F_{ya}$  çekirdeğin gerçek akma dayanımıdır ve  $A_{sc}$  akma elemanının alanıdır.

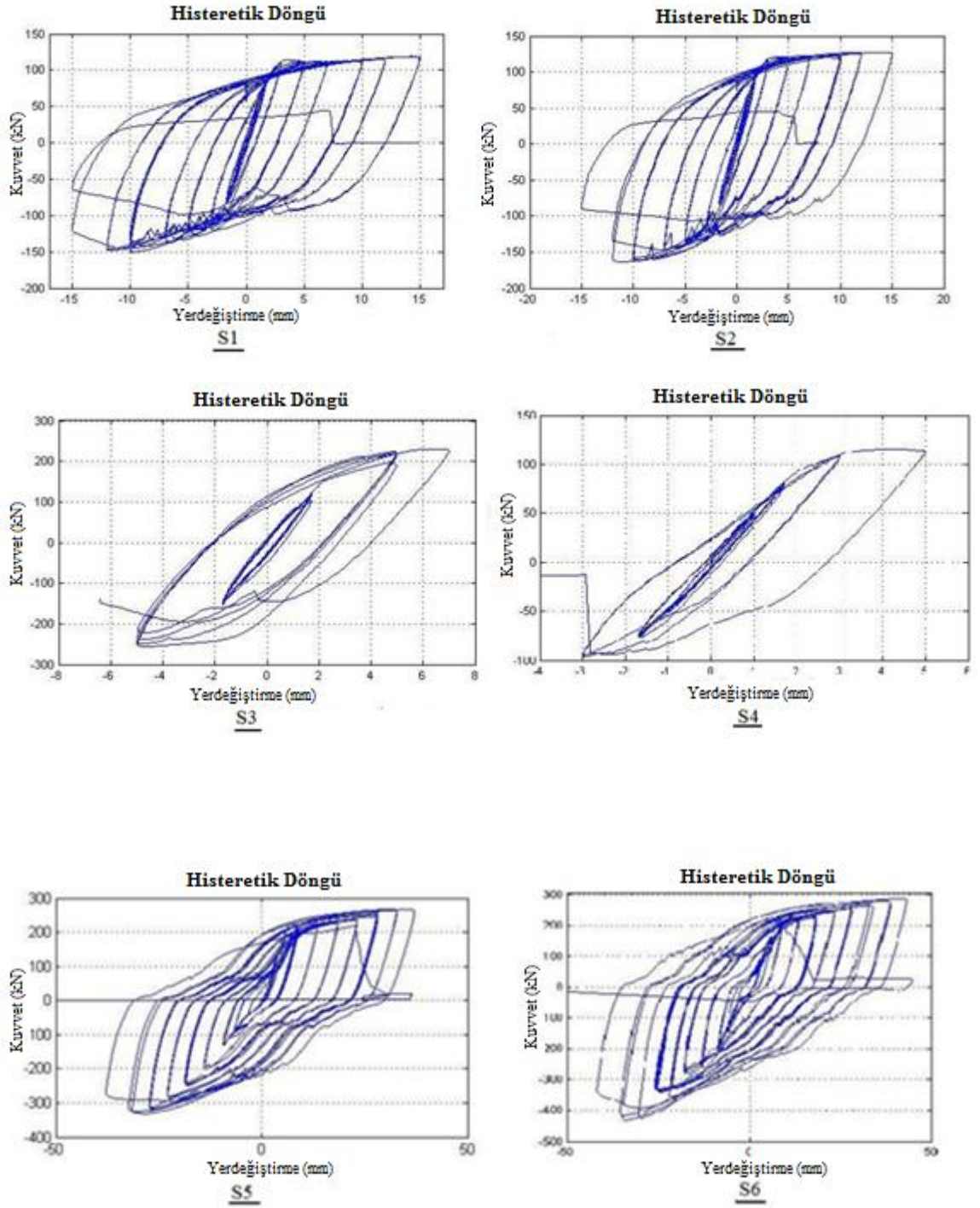


**Şekil 3. 13** Test Numunelerinin Kurulumu; Üst Sol S1 ve S2; Üst Sağ S3; Alt Sol S4; Alt Sağ S5 ve S6 (Karimi vd., 2008)

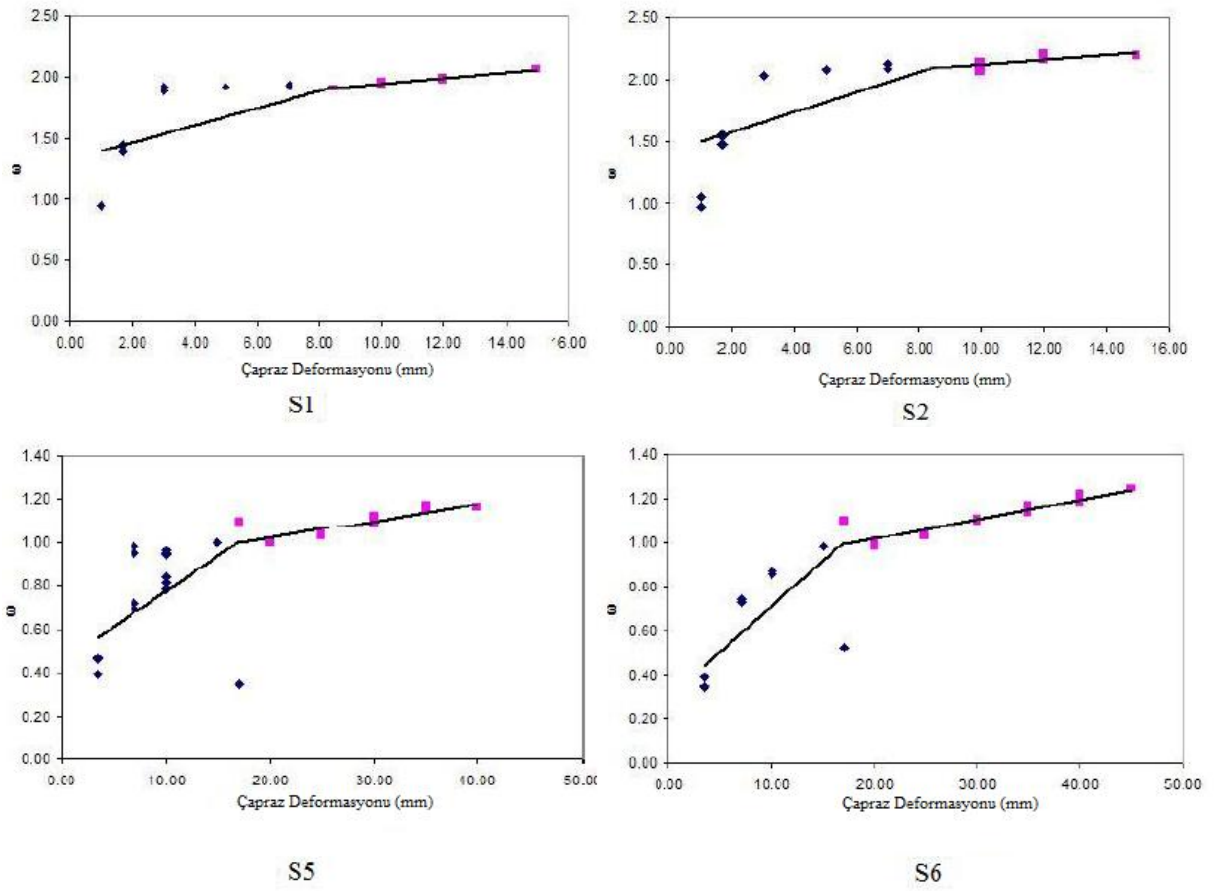
**Çizelge 3. 1** Yükleme Verileri

Numune	$D_{bm}$ (mm)	$D_{bv}$ (mm)	$P_{va}$ (kg)	$A_{sc}$ (cm <sup>2</sup> )
S1	10	1.7	5875	2.5
S2	10	1.7	5875	2.5
S3	10	1.7	11163	4.75
S4	10	1.7	5875	2.25
S5	20	3.4	23500	10
S6	20	3.4	23500	10

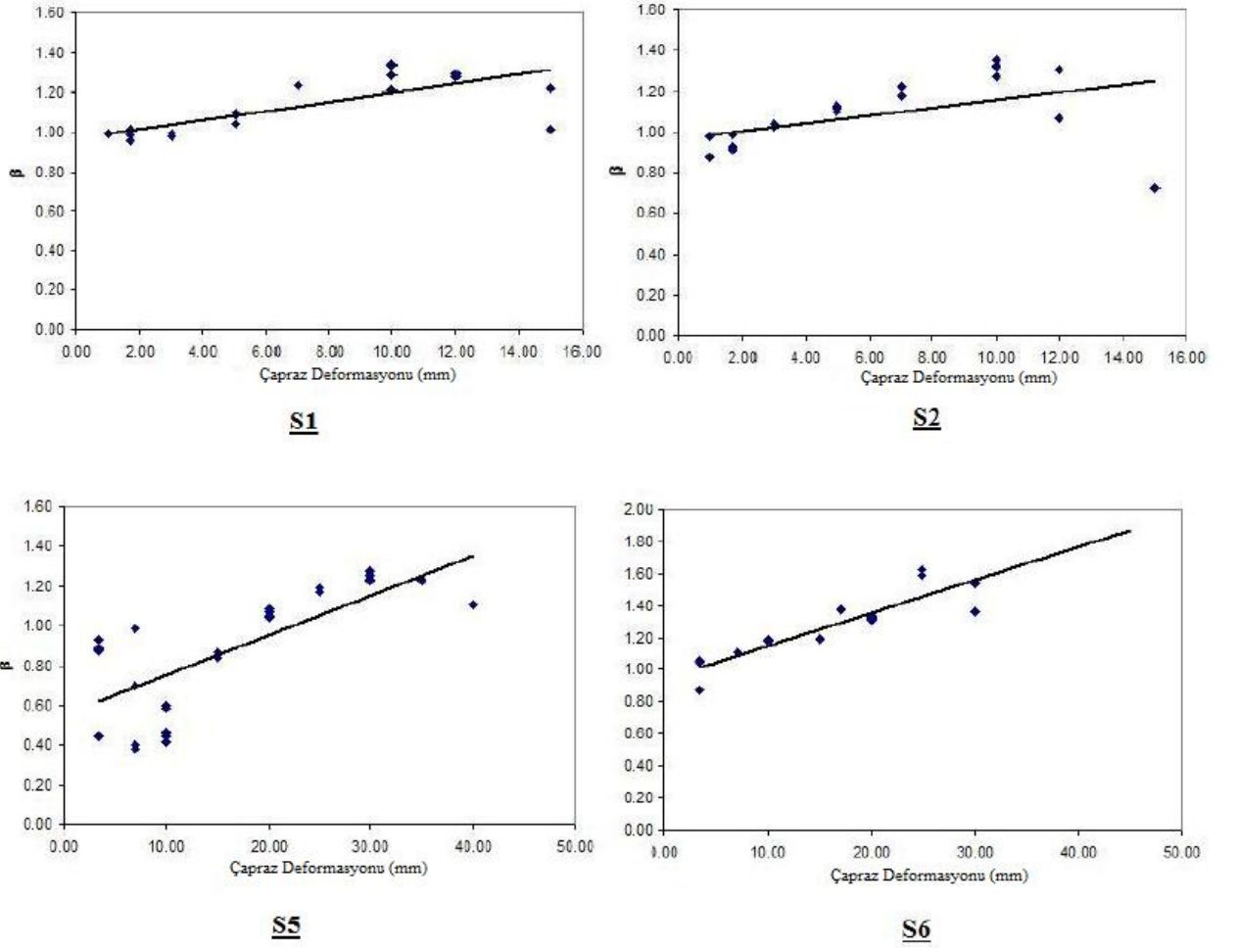
Çelik çekirdek için St 37 çeliği kullanıldı. Nominal akma dayanımı ile  $F_{yn}$  3700 kg/cm<sup>2</sup> kullanıldı. Koruyucu tüp eleman içinde aynı tip çelik kullanıldı. Tüm numunelerde boşluk elemanı bulunduruldu. Belirtilen beton dayanımı 410 kg/cm<sup>2</sup> dir. Numuneler için histeretik döngüler Şekil 3.14'de gösterilmiştir. Döngülerden görüleceği gibi numuneler oldukça stabil davranışa sahiptir. Şekil 3.15'de gösterilen S1, S2, S5 & S6 numuneleri için  $\omega$  ve  $\beta$  olarak isimlendirilen çapraz deformasyonlarına karşı gelen  $\omega$  ve  $\beta$  çizimlerini gösterir.  $\eta$  için elde edilen değerlere dayanarak,  $\eta = 150$  ortalama ile çeyrek ölçekli numunelerin ikisi en iyi performans göstermiştir. S5 ve S6 yarım ölçekli diğer iki numune ise ortalama 325  $\eta$  değeri gösterdi. Bu iki numune geçiş bölgesi etrafındaki sapmanın engellenmesi nedeniyle iyi bir performans gösteremedi. Tasarım için kritik limit durum olarak,  $1.5 D_{bm}$  ( $=7.5 D_{by}$ ) deformasyon seviyesinde SEAOC (2001) tavsiye edilen hükümler kullanıldı. Çizelge 3.2'de listelenen  $w$ ,  $\beta$  ve  $\beta w$  değerleri enterpolasyon ile bu limit durumda hesaplandı.



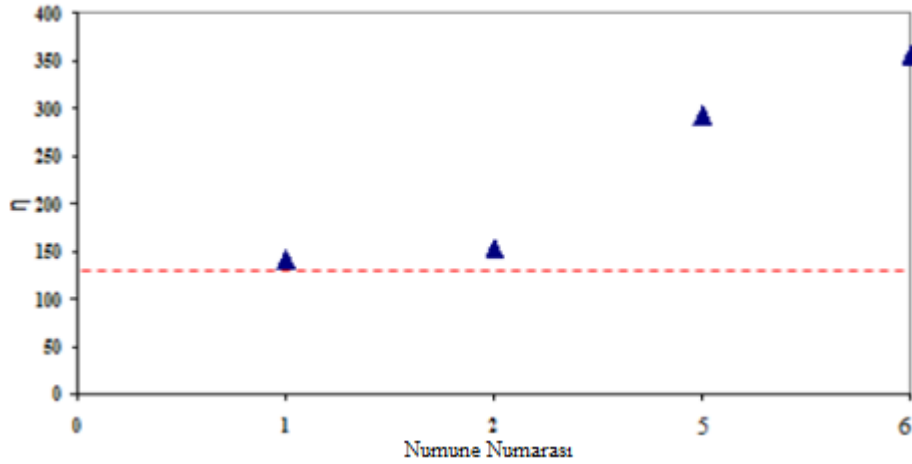
Şekil 3. 14 Numunelerden Elde Edilen Histeretik Döngüler (Karimi vd., 2008)



**Şekil 3. 15** S1, S2, S5&S6 için  $\omega$  Deformasyon Seviyelerinin Kıyaslanması  
(Karimi vd., 2008)



Şekil 3. 16 S1, S2, S5&S6 için  $\beta$  Deformasyon Seviyelerinin Kıyaslanması (Karimi vd., 2008)



Şekil 3. 17 Test Edilen Numuneler İçin Maksimum  $\eta$  Değerleri (Karimi vd., 2008)

Çizelge 3. 2 1.5  $D_{bm}$  deki Değerler

Numune	$\beta\omega$	$\omega$	$\beta$
S1	2.678	2.06	1.3
S2	2.769	2.215	1.25
S5	1.265	1.1	1.15
S6	1.441	1.1	1.31
Ortalama	2.03	1.62	1.252

İran'da gerçekleştirilen bu ilk çalışmada şu sonuçlara ulaşıldı.

- Numunelerin dördü kırık (çatlak) olmadan, standart yükleme profilleri altında iyi bir performans sergiledi. Çapraz eksenel deformasyonunun bir fonksiyonu olarak çekme dayanımı düzeltme faktörü  $\omega$ , 1.5,  $D_{bm}$  deformasyon seviyesinde test edilen numuneler için 1.62 dir. Basınç dayanımı düzeltme faktörü  $\beta$ , 1.5  $D_{bm}$  deformasyonunda ortalama 1.252 dir. Bu değer SEAOC-AISC hükümleri ile belirlenen 1.3 limit değerinden daha küçüktür.

- Kümülatif inelastik aksenal deformasyonun değeri, yaklaşık ortalama 238 değeri, 150 ila 325 aralığındadır. Testler için gereken 140 değerinden önemli ölçüde daha fazladır.
- Başlangıç sapması (dönmesi) BÖÇ'ün performansı bozdu. Bu bozulma, genellikle üreticinin zayıf hazırlaması nedeniyledir.
- Geçiş bölgesi (uç bağlantılarında ve beton tüp arasında) çaprazın performansına önemli ölçüde etki eder.
- Geçiş bölgesinde çaprazın (çelik çekirdek) kesiti, dikdörtgenden haç şekline dönüşür. Deneylelerdeki akma bölgesinden daha çok bu bölgede meydana geldi. Bunu önlemek için, geçiş bölgesi akma bölgesinden önemli ölçüde daha güçlü olmak zorundadır.

Choi vd. (2003) tarafından burkulması önlenmiş çaprazlı çelik çerçeveler için basitleştirilmiş sismik tasarım prosedürü eşit enerji varsayımı ve enerji denge kavramına dayanılarak önerilmiştir. Tasarım spektrumundan tahmin edilen sismik enerji girdileri ve elastik, histeretik enerjiler enerji denge kavramından hesaplanır. Yapının histeretik enerji talebi BÖÇ tarafından yayılan histeretik enerjiye eşit olacak şekilde çaprazların boyutlarına karar verilir.

Analiz sonuçlarına göre öngörülen genel tasarım prosedürlerine uygun tasarlanan 3 katlı yapının maksimum deplasmanları hedef deplasmanlar ile örtüştüğünü ancak 8 katlı yapının maksimum deplasmanı güvenli muhafazakar tarafta kaldığı görülmektedir.

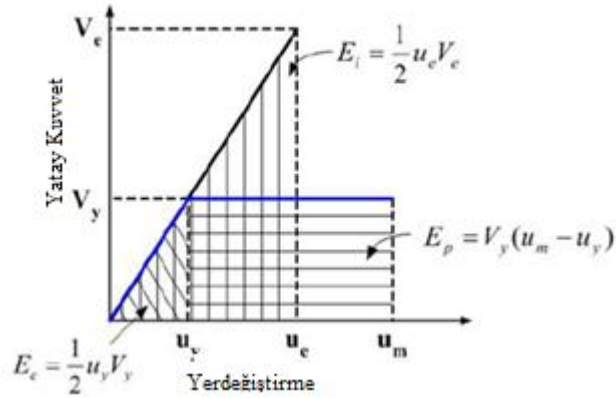
Deprem hareketleri sonucu oluşan maksimum hasar yalnızca oluşan maksimum tepkiden değil, aynı zamanda biriken plastik deformasyondan da kaynaklanmaktadır. Bununla birlikte güncel deprem tasarım uygulamalarında maksimum deplasman ve maksimum deprem yükü hesapları yapının inelastik davranışı hakkında yeterli bilgi



sağlamaz. Yazar bu çalışmada tasarım spektrumundan elde edilen deprem girdileri enerji denge kavramına dayanılarak BÖÇ'lü çerçeveler için basit deprem tasarım prosedürü geliştirdi. BÖÇ'ün tasarımı için IBC 2000'de (International Building Code 2000) sunulan tasarım spektrumundan plastik enerji ve deprem girdileri elde edilmiştir. Zaman tanım analizi yapay deprem kayıtlarının kullanılması tasarım prosedürünün doğruluğunu onaylamak için yapılmıştır.

Enerji dengesi kavramı, bir yapıyı monolitik olarak hedeflenen deplasmana ulaştırmak için gereken itme enerjisi, elastik tepki spektrumunun p-v (pseudo-velocity)' den hesaplanan eşdeğer elastik sistemin maksimum deprem giriş enerjisine eşittir, hükmüne dayanır. Şekil 3.18'deki eşdeğer elastik sistem ve bir elastoplastik yapının kuvvet yerdeğiştirme ilişkisini gösterir. Girilen deprem enerjisi  $E_i$ , denklem (3.7)'deki gibi tahmin edilir (Leelataviwat vd., 2000).

$$E_i = \frac{1}{2} MS_v^2 = \frac{MS_a^2 T^2}{8\pi^2} \quad (3.7)$$



**Şekil 3. 18** Bir Yapının Kuvvet Yerdeğiştirme İlişkisi ve Eşdeğer Elastik Sistem  
(Choi vd., 2003).

$M$ =kütle,  $S_v$  ve  $S_a$  p-v (pseudo-velocity) ve p-a (pseudo-acceleration),  $T=1$ . Temel (doğal) periyot olarak tanımlanır. Enerji denge kavramı girilen enerjinin, Şekil 3.18'de gösterildiği gibi, gerçek elastoplastik sistemdeki plastik enerji  $E_p$  ve elastik enerji  $E_e$ 'nin bir araya getirilmesiyle elde edilen eşdeğer elastik sistemin depolanmış enerjisine eşit olduğu varsayımına dayanır.

$$E_i = E_e + E_p \quad (3.8)$$

$E_e = \frac{1}{2} u_y v_y$  ve  $E_p = V_y (u_m - u_y)$   $u_y$  ve  $u_m$  sırasıyla akma deplasmanı ve maksimum deplasmandır. Elastik enerji yapının doğal periyodu kullanılarak  $E_e = \frac{T^2 V_y^2}{8\pi^2 M}$  olarak açıklanabilir. Maksimum deplasman yerine hedef deplasman kullanılarak denklem aşağıdaki şekle dönüştürülür.

$$E_i = \frac{1}{2} u_y v_y + v_y (u_i - u_y) \quad (3.9)$$

Girilen enerji için denklem (3.7)'nin yerine, bir sistemin taban kesme kuvveti, belirli deprem hareketine maruz kaldığında, hedef deplasman için deforme, denklem (3.9)'dan hesaplanabilir. O zaman BÖÇ'ler tarafından emilen plastik enerji girilen enerjiden plastik enerjinin çıkarılmasıyla elde edilir.

$$E_p = E_i - E_e = \frac{T^2}{8\pi^2 M} [M^2 S_a^2 - V_y^2] \quad (3.10)$$

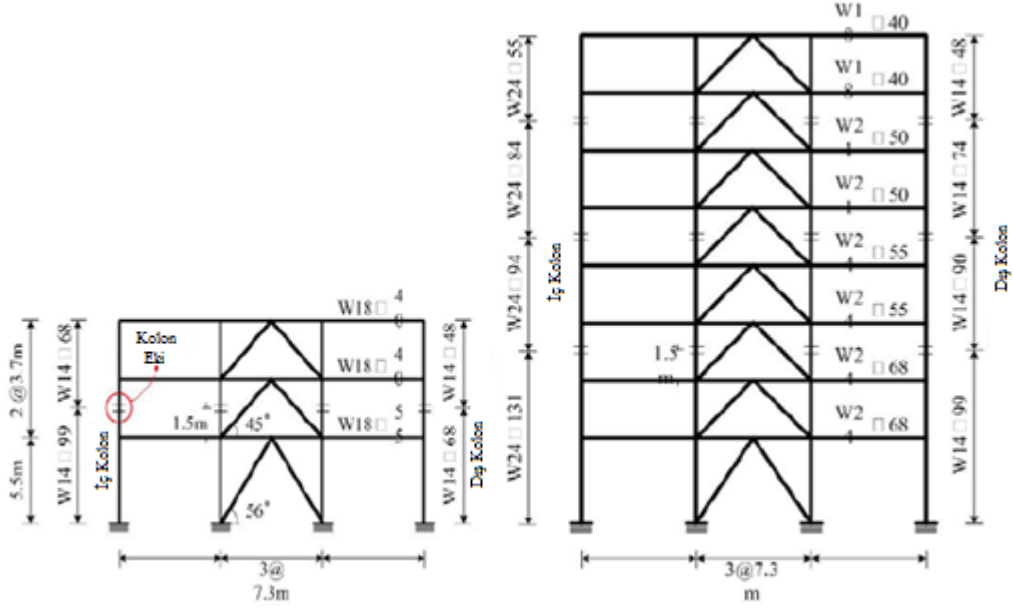
Her kattaki BÖÇ'lerin kesit alanı, yapı hedef deplasmanda deforme olduğunda, BÖÇ'deki plastik enerjiye denk bir plastik enerji elde edilir.

$$E_{pi} = F_{by} (u_{bm} - u_y) = A_{bi} \sigma_{by} \left( u_{bm} - \frac{L_{bi} \sigma_{by}}{E_b \cos \theta_i} \right) \quad (3.11)$$

$$A_{bi} = \frac{E_{pi}}{\sigma_{by} \left( u_{bm} - \frac{L_{bi} \sigma_{by}}{E_b \cos \theta_i} \right)} \quad (3.12)$$

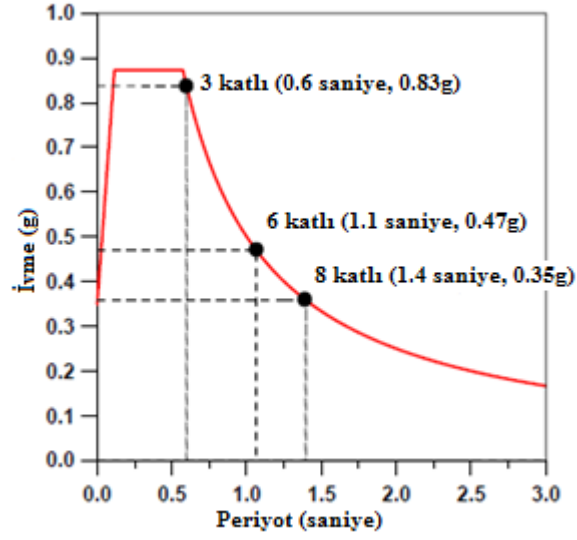
$E_{pi}$ = i. kata dağıtılan plastik enerji;  $F_{by}$  kat akma kuvveti;  $A_{bi}$ ,  $L_b$ ,  $\Theta_i$  sırasıyla i. katta bulunan BÖÇ'ün kesit alanı, uzunluğu ve eğimidir. Yukarıdaki denklemlerin türetilmesinde, BÖÇ'ün mükemmel elastoplastik kuvvet ve deformasyon ilişkisine sahip olduğu varsayıldı.

Bu çalışmada yazar tasarım prosedürünü aşağıdaki gibi uygulamıştır. Şekil 3.19'da gösterilen 3 katlı ve 3 açıklıklı BÖÇ'lü çerçeve yapısı analiz için hazırlandı. Her yapı modelinin açıklığı 7,3 m ilk katlar 5,5 m ve diğer katlar 3,7 m dir. Her katın ağırlığı 1,57 MN ve doğal modal sönümlenme oranları kritik sönümlenmenin %5'i olarak kabul edilmiştir. Sismik katsayılar  $C_a$  ve  $C_v$  sırasıyla 0,35 ve 0,5 alınarak, çaprazlar IBC 2000'e göre eşdeğer statik deprem kuvveti hesaplanarak geleneksel dayanım ve tasarım metotları kullanılarak boyutlandırılmıştır. Kirişler ve kolonlar etki eden deprem yükleri ve düşey yükler etkisi altında aynı yolla tasarlandı. BÖÇ'ün deprem yükü altında mükemmel elastoplastik davranışta olduğu varsayıldı.



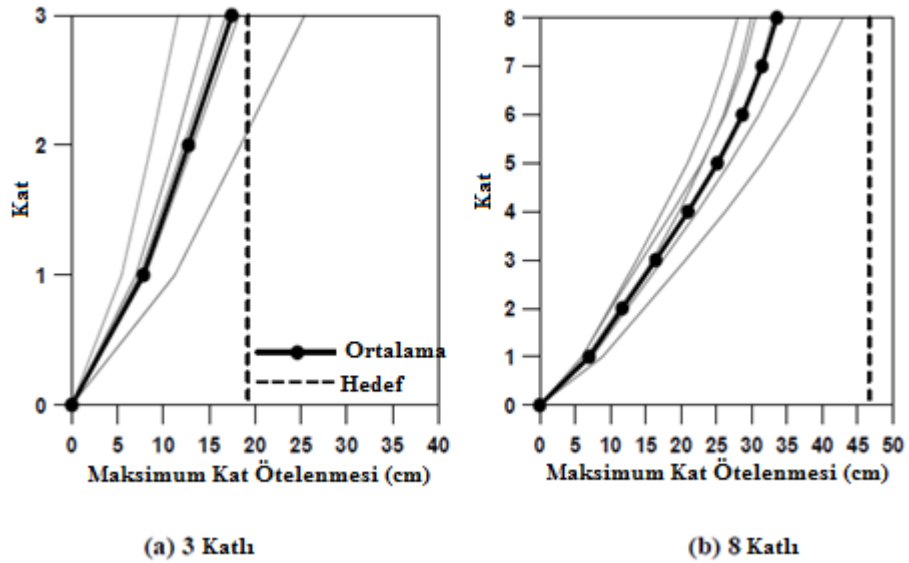
Şekil 3. 19 BÖÇ' lü Bir Yapı Modelinin Geometrisi (Choi vd., 2003)

Önerilen tasarım yöntemi verilen hedef deplasmanı karşılayacak şekilde BÖÇ'ün uygun boyutlarının belirlenmesi için model yapıya uygulandı. Hedef deplasmanlar bütün yapı modellerindeki, kat yüksekliklerinin %1,5'i alınarak belirlenmiştir. Tasarım spektrumu Şekil 3. 20'de gösterilen  $C_a=0,35$  ve  $C_v=0,5$  deprem katsayıları ile IBC2000 deki sunuldu, BÖÇ için önerilen enerji tabanlı sismik tasarım kullanılmıştır. Girilecek deprem enerjisi ve histeretik enerji talebi, sırasıyla denklem (3.9) ve (3.10) kullanılarak tasarım spektrumundan hesaplanmıştır. Yedi yapay deprem kaydı, zaman tanım alanından elde edilen tasarım prosedürünün geçerliliğini doğrulamak için (Vanmarcke ve Gasparini 1976) SIMQKE program kodu kullanılarak tasarım spektrumu elde edildi.

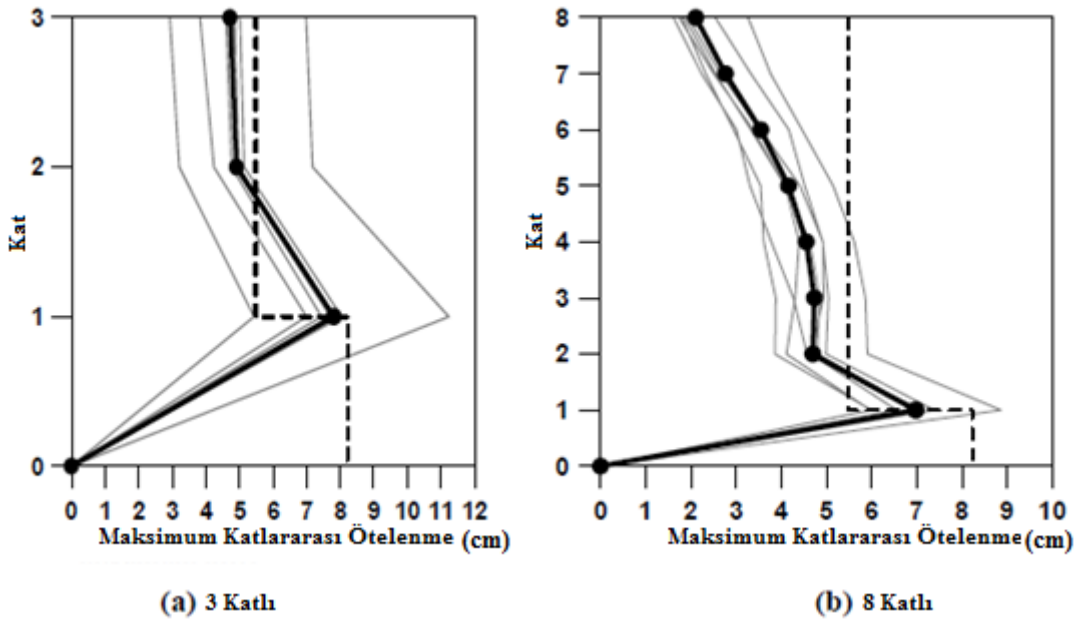


Şekil 3. 20 UBC-97' nin Tasarım Spektrumu ( $C_a=0.35$  ve  $C_v=0.5$ ) (Choi vd., 2003).

Şekil 3.21 ve 3.22'de DRAIN 2D+ (Tsai ve Li, 1997) kullanılarak zaman tanım analizinden elde edilen model yapının katlar arası maksimum ötelenme ve maksimum kat deplasmanlarını tanımlar.



Şekil 3. 21 Zaman Tanım Analizinden Elde Edilen Maksimum Kat Ötelenmeleri (Choi vd., 2003).



Şekil 3. 22 Model Yapının Maksimum Katlararası Kayma Değerleri (Choi vd., 2003).

Yedi analiz sonucunun makul (ortalama) değerleri kalın çizgiler ile çizilmiştir. Analiz sonuçlarına göre, maksimum kat deplasmanı ve maksimum katlar arası ötelenme 3 katlı yapı için genellikle hedef deplasmana göre güvenli tarafta karşılanır. Ancak 8 katlı yapının sonuçlarının biraz daha güvenli olduğu ortaya çıkmaktadır.

Sonuç olarak burkulması önlenmiş çelik çaprazlar için basitleştirilmiş bir sismik tasarım prosedürü eşit enerji varsayımı ve enerji denge varsayımına dayanılarak önerilmiştir. Analiz sonuçlarına göre nispeten kısa doğal periyotlarla alçak ya da yüksek yapılar için geçerli olabilecek sismik tasarıma dayalı enerji için basitleştirilmiş prosedürleri sağlayan enerji denge kavramı sonucuna varılabilir.

Bu gerçek göz önüne alındığında eşit enerji kavramı makuldür. Bir akma yapısındaki toplam depolanmış sismik enerji, bir eşdeğer elastik yapıdaki depolanmış elastik enerjiye eşit olduğu varsayılır. Kısa doğal periyotlarla yapıda etkili olduğu bilinir.

## 4. BÖÇ'LÜ YAPILARIN TASARIM ESASLARI

### 4.1. BÖÇ'lü Yapının Tasarım Esaslarını Belirleyen Yönetmelikler

BÖÇÇ sistemlerinin tasarımı; FEMA 450 (2003 Recommended Provisions for New Buildings and Other Structures ) ve 2005 AISC (Seismic Provisions for Structural Steel Buildings) tarafından yönetilir. Ancak FEMA 450 ve 2005 AISC sismik hükümleri (2003 IBC ve 2001 California Building Code) güncel bina kodlarına adapte edilmemiş ya da entegre olmamıştır. Son zamanlarda Amerika'da BÖÇ'lü çerçeve sistemlerini tanıyan 2005 AISC sismik hükümleri, 2006 IBC referansları ile 2005 ASC-7 gösterime sokulmuştur. Şu anda AISC sismik hükümleri ve FEMA 450 de iki tip BÖÇ'lü çerçeve sistemi tanımlıdır. İlk sistem deprem yükü azaltma katsayısı 8'e karşılık gelen kolon kiriş bağlantılı sistemdir. Diğer sistemde ise deprem yükü azaltma katsayısı olarak 7 değeri verilen pimli kolon kiriş bağlantılarına sahip sistemdir. BÖÇ'lü çerçeve sistemleri Amerika'da birçok üniversiteler ve birçok yerel ve genel devlet kurumları tarafından onaylanmaktadır.

### 4.2. 2005 AISC'ye göre BÖÇ' lü Yapı Tasarım Esasları

Bu bölümde AISC sismik hükümleri içinde BÖÇ'lerin detaylandırılması, tasarımı ve çerçeve içinde uygulanması gösterilecektir. BÖÇ'lü çerçeveleri detaylandırmak için gerekenler AISC sismik hükümlerinin 16. bölümünde açıklanır. Aşağıda 16. bölümün seçilmiş önemli kısımları açıklanacaktır.

2005 AISC Sismik Hükümleri

Bölüm 16 Burkulması Önlenmiş Çaprazlı Çerçeveler

16.1 Kapsam

16.2 Çapraz Elemanlar

16.3 Çapraz Bağlantıları

16.4 Takviye Yapılandırılmasıyla İlgili Özel Koşullar

16.5 Kirişler ve Kolonlar

16.6 Koruma Bölgesi

#### **4.2.1. Kapsam (16.1)**

Olması muhtemel depreme göre önceden tasarlanan hareketlerin sonucundaki kuvvetlere maruz kaldığında burkulması önlenmiş çaprazlı çerçevelerin önemli doğrusal olmayan deformasyonlara (yer değiştirmelere) dayanması beklenir. AISC bölüm 16.1 BÖÇ'lü çerçeveler için bir kapsam açıklamasıdır. Bu bölüm BÖÇ'lü çerçevelerin önemli elastik olmayan deformasyonlara dayanmasının beklendiğini açıklar. Sünek bir sistem amaçlaması bakımından önemlidir.

#### **4.2.2. Çapraz Elemanlar (16.2)**

AISC bölüm 16.2 BÖÇ'lerin gerekliliklerini kapsar. Belirtildiği gibi bir BÖÇ iki temel sistemden oluşur bunlar çelik çekirdek ve burkulmayı önleyici sistemdir. Çapraz elemanlar çelik çekirdek ve çelik çekirdeği burkulmadan koruyan yapısal bir sistemdir.

##### **4.2.2.1. Çelik Çekirdek (16.2a)**

AISC bölüm 16.2a çelik çekirdeğin aksenal kuvvet tasarım dayanımını tanımlar. Çelik çekirdek çaprazdaki tüm normal kuvvetlere karşı koyacak şekilde dizayn edilecektir.



$$\emptyset * P_{y_{sc}}$$

$$P_{y_{sc}} = F_{y_{sc}} * A_{sc}$$

$$\emptyset * P_{y_{sc}} = (0.9) * F_{y_{sc}} * A_{sc} \quad (4.1)$$

$$\emptyset = 0,9$$

$A_{sc}$  = Çelik çekirdeğin alanı.

$F_{y_{sc}}$  = Çekirdeğin belirlenmiş minimum akma gerilmesi ya da test kuponlarındaki gerçek akma gerilmesi.

Belirli bir projede kullanılacak BÖÇ'lerin çekirdek malzemesi için  $F_{y_{sc}}$  değerlerini gösteren kuponlar genellikle BÖÇ'ü üreten firma tarafından sağlanabilir. Bu durum daha geleneksel yapısal çelik elemanlardan meydana gelen yapıların malzeme akma dayanım varyasyonları ile ilgili belirsizliklerin en aza indirilmesi ve makul bir kesinlikle BÖÇ akma dayanımı  $P_{y_{sc}}$ 'yi tahmin etmek için tasarımcılara olanak sağlar. Bir BÖÇ'ün istenilen normal kuvvet dayanımı; şartnameye göre hesaplanan deprem yükleri ile yük kombinasyonlarını kullanarak BÖÇ'lü çerçevenin elastik analizi ile belirlenir. BÖÇ'lü çerçeve sisteminin makas gibi davranması sebebiyle, BÖÇ'deki normal kuvvetlerin belirlenmesi genellikle basittir.

BÖÇ'ün aksenal kuvvet tasarım dayanımı AISC bölüm 16.2a da belirtildiği gibi en azından gerekli olan normal kuvvet dayanımına eşit olmalıdır. Gerekli olan çekirdek alanı çerçeve dayanımından ziyade çerçevenin rijitlik gereksinimleri tarafından kontrol edilecektir. BÖÇ'ün basınç ve çekmenin her ikisinde de tam olarak akma dayanımına ulaştığı gerçeği nedeniyle, BÖÇ'ün  $A_{sc}$  çekirdek alanı geleneksel çaprazlı çelik çerçevelerdeki bir çaprazın çekirdek alanından normal olarak daha az olacaktır. Dolayısıyla BÖÇ'lü çerçeveler geleneksel çaprazlı çerçevelerden biraz daha düşük elastik rijitlik sergiler. Bu yüzden BÖÇ'lerin tasarımında rijitlik kontrolü olabilir. Bir BÖÇ'ün aksenal rijitliğini hesaplariken çekirdeğin akma bölgesindeki alanı  $A_{sc}$  çaprazın uzunluğunun tamamı boyunca meydana gelmeyeceğini kabul etmek önemlidir. Çekirdek projeksiyonlarının alanı ve bağlantı bölgeleri  $A_{sc}$ 'den önemli ölçüde daha büyük olacak ve bunlar çaprazın rijitliğinin artmasını sağlayacaktır. BÖÇ'lerin gerçek elastik rijitliklerine ait veriler üreticiler tarafından sağlanmaktadır.

#### 4.2.2.2 Burkulmayı Önleyici Sistem (16.2b)

AISC bölüm 16.2b burkulmayı önleyici sistem için gerekenleri belirler. Burkulmayı önleyici sistem çelik çekirdek için gövdenin oluşturulmasıdır. Stabilité hesaplamaları, kiriş, kolon ve çekirdek köşebent bağlantıları bu sistemin bir parçası olarak kabul edilecektir.

BÖÇ'ün kararsızlığı (instabilitesi) ancak çaprazın bağlantı bölgesinde ve çekirdek projeksiyonunda meydana gelebilir. Sonuç olarak AISC bölüm 16.2b çapraz uçlarındaki bağlantı bölgeleri de dahil olmak üzere burkulmayı önleme sistemlerini genişçe tanımlar.

Burkulmayı önleyici sistem tasarım kat ötelenmesinin iki katına karşılık gelen deformasyonlar için çelik çekirdeğin tamamının ya da bir kısmının burkulmasını engelleyemez. Burkulmayı önleyici sistem tasarım kat ötelenmesinin iki katına karşı gelen deformasyonlar içindeki (yani iki katından az olan durumlar için) çelik çekirdeğin burkulmasına izin vermeyecektir.

Bölüm 16.2b tasarım kat ötelenmesinin iki katına kadar meydana gelecek yer değiştirmeler, çerçeve deformasyonları ve kuvvetler altında BÖÇ'ün burkulmaması gerektiğini belirtir.

Tasarım kat ötelenmesi  $\Delta$ ; kodu belirtilmiş deprem kuvvetlerinin  $C_d$  kez elastik kaymayla çarpılmasıyla hesaplanır. Tipik olarak tasarım kat ötelenmesi, esas deprem tasarımı altında görülmesi beklenen maksimum çerçeve ötelenmesinin bir tahminidir. Şiddetli depremlerde gerçek kat ötelenmesi tasarım kat ötelenmesini aşabilir. Bu görüş tasarım kat ötelenmesinin iki katına kadar BÖÇ'ün dayanıklı olmasını gerektirir. Koruyucu olsa da bu özellikle bir cezai gereklilik değildir. Yapılan deneyler BÖÇ'lerin bu gereklilikleri kolayca karşılayabildiğini gösterir.

$\Delta$ = Tasarım kat ötelenmesi

$$\Delta = C_d * \Delta_E \quad (4.2)$$

$\Delta_E$ = Kodlarda belirtilmiş deprem kuvvetleri altında kat ötelenmesi

$C_d$ = Kolon-kiriş birleşim bölgesi moment aktarmıyorsa 5,5 değeri alınır.

Kolon-kiriş birleşim bölgesi moment aktarıyorsa 5 değeri alınır.

#### 4.2.2.3. Test (16.2c)

Çaprazların tasarımı; 2005 AISC Ek T deki "burkulması önlenmiş çaprazların döngüsel test yeterlilikleri" testlerini karşılamalıdır. AISC sismik hükümlerinin BÖÇ performans testleri ile doğrulanması gerekir. Bu testler için gereklilikler AISC sismik hükümleri Ek T'de belirtilir. Test etmek için çeşitli seçenekler mevcuttur. Projeler için özel testler yapılabilir. Ek T'deki gereklilikleri yerine getirdiği sürece diğer projeler için geliştirilmiş ya da literatürde bildirilen test verileri kullanılabilir. Söz konusu proje için Ek T'nin gerekliliklerini karşılayan test verileri BÖÇ üreticisinde mevcut olabilir. BÖÇ üreticilerinin kendi çaprazlarının verilerinden bir veri tabanı oluşturması gelecekte olması muhtemel bir durumdur.

EK T: Burkulması önlenmiş çaprazların döngüsel test yeterlilikleri.

#### Testin Amacı:

Burada AISC deprem hükümlerinde yer alan Bölüm 16 ile devam etmeden önce BÖÇ'lerin test gereksinimlerine göz atılacaktır. Testin öncelikli amacı BÖÇ'ün tasarım kat ötelenmesinin iki katına kadar tatmin edici bir performans sağladığının ve AISC bölüm 16.2b'nin gerekliliklerini karşıladığının doğrulanmasıdır. Testin diğer ek amacı pekleşme miktarını belirlemek ve tasarım kat ötelenmesinin 2 katındaki basınç dayanımını belirlemektir. Bu durum çapraz bağlantıları kolon ve kiriş tasarımında

kullanılan basınç ve çekme gerilmesi altındaki çaprazların maksimum mukavemeti için bir tahmin sağlar

Nitelikli (yeterli) Çaprazlar için gerekli iki test:

- i. Eksenel Kuvvet: Kırılma veya burkulma olmadan döngüsel olarak büyük eksenel çekme ve basınç gerilmelerinde sürdürülebilme yeteneğini doğrulama.
- ii. Eksenel Kuvvet ve Dönme Etkisi: Çerçeve tarafından uygulanan eksenel ve döngüsel etkileri karşılamak için çapraz ve bağlantı yeteneğini doğrulama.

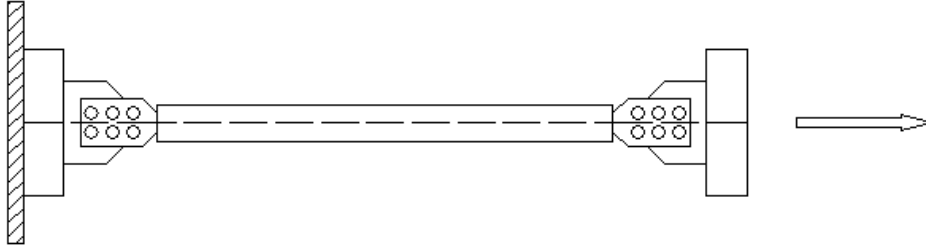
Bir BÖÇ'ün nitelikli olması için Ek T'ye göre iki test yapılması gerekir.

Bunlardan ilki çapraz test numunesine doğrudan eksenel çekme ve basınç gerilmesi uygulanır. Kırılma ya da burkulma olmaksızın normal kuvvet yada deformasyonları sürdürme yeteneğini doğrular.

İkinci test Eksenel kuvvet ve dönme test numunesinde olmalıdır. Bu numune BÖÇ'lü çerçevelerde göreceğimiz gerçek çapraz deformasyonlarını daha gerçekçi bir şekilde simüle etmek için eksenel deformasyon ve dönmelerin ikisine birden tabi tutulmalıdır. Eğer BÖÇ'lü çerçeveyi pim ile bağlanmış bir makas olarak düşünüyorsak o zaman çapraza dönme ya da moment etkimez. Yalnızca normal kuvvet etki eder. Ancak gerçekte BÖÇ'lü çerçevedeki kolon giriş birleşimlerinde önemli ölçüde dönme sabitliği vardır (ya da bu durum için diğer çaprazlı kısımlarda). Çünkü bağlantı plakasının ürettiği bağlantı rijittir. Sonuç olarak bir moment çerçevesi gibi davranan çaprazlı bir çerçeve, çerçevenin özellikle büyük kayma hareketlerini önemli ölçüde geliştirecektir. Bu çerçeve hareketleri kolon giriş bağlantı bölgesinde dönmeler üretecek, girişlerin eğilmelerine neden olacaktır. Bağlantı plakası ve çapraz arasındaki bağlantılar genellikle önemli derecede sabit olup dönme olmadığından, çerçeve tepkileri nedeniyle bağlantı plakasının dönmesi, çapraz ucunda dönmeler ve momentler meydana getirecektir. BÖÇ'ün ucuna uygulanan bu dönmeler ve momentler performans çaprazını bozabilir. Bağlantı plakası ve çapraz bağlantı bölgesi burkulması yada başka sorunlara neden olabilir. Eksenel kuvvet ve dönme test numunesinin amacı tüm bu etkilere

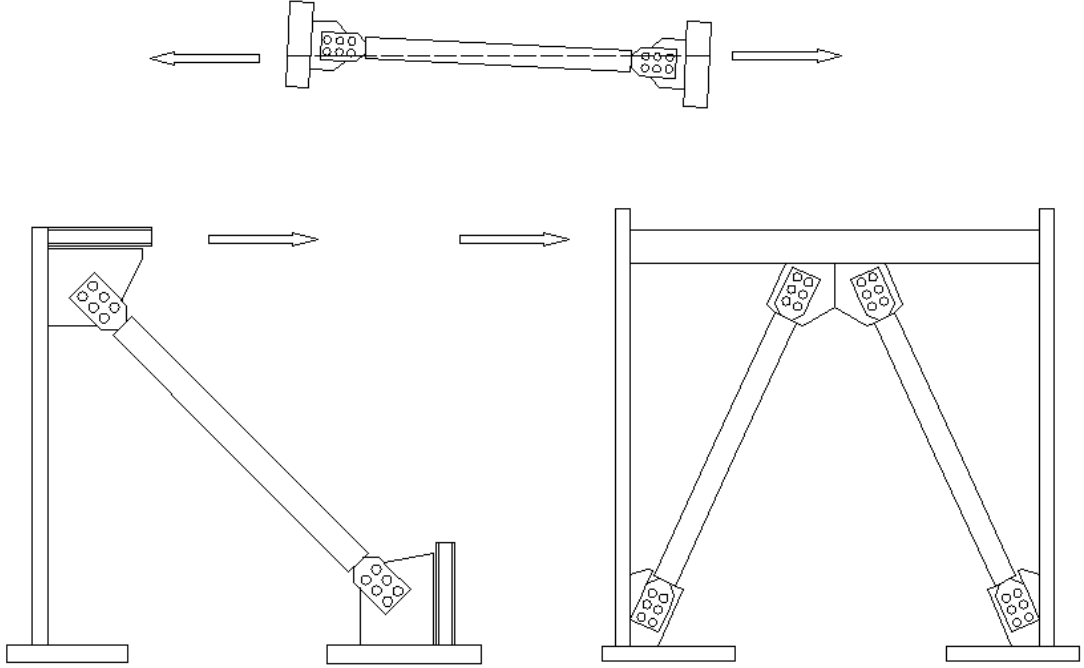
rağmen hala tatmin edici bir performans sürdüren ve bu uç dönmelere karşı koyabilen BÖÇ üretilmesini sağlamaktır.

Şekil 4.1'de çapraz test numunesinin şematik bir temsili gösterilmiştir. BÖÇ aksenal çekme ya da basınca tabi tutulur.



**Şekil 4. 1** Aksenal Kuvvet Testi Yapılan Çapraz Numunesi

Şekil 4.2'de moment çerçevesi içindeki çaprazın maruz kaldığı aksenal kuvvet ve dönme etkisinin temsili resmi gösterilmiştir.



**Şekil 4. 2** Çapraz Aksenal Kuvvet ve Dönme Testi

İnceleme altındaki gerçek çerçevedeki BÖÇ'de görülen dönmeler makul bir şekilde çoğaltılarak BÖÇ normal kuvvet ve dönmenin her ikisine de tabi tutulur.

Test Numuneleri için Gerekli Ölçekler:

i. Çapraz Test Numunesi:

$$0.5 [ P_{ysc} ]_{prototype} \leq [ P_{ysc} ]_{specimen} \leq 1.5 [ P_{ysc} ]_{prototype}$$

ii. Eksenel Kuvvet ve Dönme Test Numunesi

$$[ P_{ysc} ]_{specimen} \geq [ P_{ysc} ]_{prototype}$$

Test numuneleri gerçek inşaatın makul bir temsilini sağlamak için gerekenlerin sayısıdır. En önemli koşullardan biri test numunelerinin boyutlarıdır. Çapraz test numunesi için çekirdeğin akma dayanımı  $P_{ysc}$  prototipin %50'sinden fazla farklılık göstermemelidir. Böylece eğer gerçek çapraz 1000 kips akma dayanımına sahip bir çekirdekse, o zaman numune 500 ile 1500 kips arasında değişen akma dayanımına sahip bir çekirdek olmalıdır. Eksenel kuvvet ve dönme test numunesi için numune en az prototip kadar güçlü olmalıdır.

Prototip=asıl örnek

Ek T de test örnekleri için ek şartlarda vardır.

Tanımlamalar:

$\Delta_b$ = Testi kontrol etmek için kullanılan deformasyon miktarı

=Çapraz test örneği için çaprazın toplam eksenel deformasyonu

=Subassemblage test numunesi için çaprazın toplam uç dönmesi

$\Delta_{bm}$ = Tasarım kat ötelenmesine karşı gelen deformasyon miktarının değeri

$\Delta_{by}$ = Test numunesinin ilk akmaya başladığındaki deformasyon miktarının değeri

Tasarım kat ötelenmesi  $\geq C_d \times \Delta_E$  ;  $0.01 \times$  kat yüksekliği

$\Delta_{bm}$  hesaplanırken tasarım kat ötelenmesi kat yüksekliğinin 0,01 katından daha az alınmaz. Çaprazlar tasarım kat ötelenmesinin iki katına karşı gelen deformasyon düzeylerinde test edilmelidir. Tasarım kat ötelenmesi  $\Delta$ ;  $C_d \times \Delta_E$  olarak hesaplanır (Denklem 4.2).

Yükleme Sırası:

2 döngüde:  $\Delta_b = \pm \Delta_{by}$

2 Döngüde:  $\Delta_b = \pm 0.5 \Delta_{bm}$

2 Döngüde:  $\Delta_b = \pm 1.0 \Delta_{bm}$

2 Döngüde:  $\Delta_b = \pm 1.5 \Delta_{bm}$

2 Döngüde:  $\Delta_b = \pm 2.0 \Delta_{bm}$

Tasarım kat ötelenmesinin 1.5 katına karşı gelen deformasyon seviyelerinde çapraz test numunesi için yükleme sürdürüldükten sonra maksimum deformasyon elde edilir. Bu yükleme 200 kez  $\Delta_{by}$ 'nin kümülatif eksenel deformasyonuna kadar devam ettirilir. Bu gereklilik BÖÇ'ün düşük çevirimli yorulma yetmezliği yeteneğini inceler.

Test kriteri için temel kabul belirli bir yükleme protokolü içinde bağlantı hataları veya burkulma, çatlak ve kırılmalar numunede gözlemlenmemelidir. Ayrıca çapraz güç tükenmesi gösteremez. Yani güç tükenmesi olarak numunenin herhangi bir yerinde burkulma ya da kırılma göstermemelidir. Çapraz tarafından karşılanan maksimum çekme ya da basınç kuvvetleri en azından çekirdek akma dayanımına ( $P_{ySC}$ ) eşit olmalıdır. Bu gereksinimleri karşılayamayan bir BÖÇ'ün, BÖÇ olarak çalışması mümkün değildir. Sonuç olarak, çapraz tarafından geliştirilen maksimum basınç kuvvetinin Ek T'deki durumu, maksimum çekme kuvvetinin 1.3 ünü aşamaz. Kasadan yeterince ayrışmayan çekirdek aşırı basınçta kendi gücünün üzerinde dayanım gösterir.

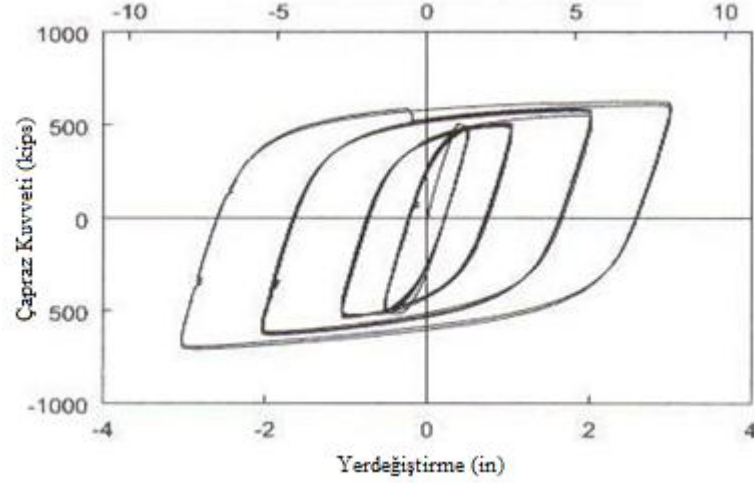
Test numunesi için kabul edilebilir kriterler:

- Kırılma çapraz instabilitesi veya çapraz sonu bağlantı hatası olmayacak.
- Pozitif artımsal rijitliği (dayanım bozulması olmayacak).

Çapraz Test Numunesi için

$$T_{\max} \geq P_{\text{ysc}} \quad \text{and} \quad C_{\max} \geq P_{\text{ysc}}$$

$$C_{\max} \leq 1.3 T_{\max}$$



Şekil 4. 3 Döngüsel Kuvvet Yerdeğiştirme Grafiği

Çapraz test numunesi için çıkan testlerin örneği; Şekil 4.3 bir BÖÇ test numunesi için başarılı test sonuçlarının bir örneğidir. Çekme ve basıncın her ikisinde de mükemmel histeretik davranışlar elde edilir. Çapraz tarafından karşılanan maksimum çekme ve basınç kuvvetleri tasarım kat ötelenmesinin iki katına karşı gelen deformasyonlarda ölçülür.

#### 4.2.2.4. Düzeltilmiş Çapraz Dayanımı (16.2d)

AISC bölüm 16.2d'de basınç ve çekmedeki düzeltilmiş çapraz dayanımları tanımlanır. Basınç düzeltme faktörü  $\beta$  ve akma gerilmesi düzeltme faktörü  $\omega$ ; bu faktörler BÖÇ test bilgisinden alınmıştır. Düzeltilmiş çapraz dayanımları, BÖÇ



tarafından sağlanabilen maksimum çekme ve basınç kuvvetlerinin tahmini olarak sağlanması için tasarlanmıştır. Düzeltilmiş çapraz dayanımları kolon kiriş ve çapraz bağlantılarının tasarımı için bir temel olarak kullanılacaktır. Yukarıda belirtildiği gibi çekirdek akma dayanımının kupon değerleri gerçek bir projede kullanılan değerler için mevcutsa düzeltilmiş çapraz dayanımının hesaplanmasında  $R_y=1.0$  alınır.

### Çekme

Düzeltilmiş Çapraz Dayanımı

$$T_{max} = \omega R_y P_{ysc} \quad (4.3)$$

### Basınç

Düzeltilmiş Çapraz dayanımı

$$C_{max} = \beta \omega R_y P_{ysc} \quad (4.4)$$

$\omega$ =pekleşme düzeltme faktörü

$\beta$ =basınç mukavemeti düzeltme faktörü

$\omega$  ve  $\beta$  değerleri Ek T'deki çapraz testlerinden belirlenir.

$P_{ysc}$  eğer  $F_{ysc}$ 'nin kupon değerleri kullanılarak hesaplanırsa,  $R_y=1.0$  olarak alınır

$$\omega = \frac{T_{max}}{F_{ysc} A_{sc}} \quad (4.6)$$

$$\beta = \frac{C_{max}}{T_{max}} \quad (4.7)$$

Yukarıdaki formüller test datalarından  $\omega$  ve  $\beta$ 'nin nasıl elde edildiğini gösterir. Burada  $T_{max}$  ve  $C_{max}$  tasarım kat ötelenmesinin iki katına karşı gelen deformasyon seviyelerinde çapraz tarafından karşılanan maksimum çekme ve basınç kuvvetleridir.  $\omega$  ve  $\beta$  'nin değerleri iki farklı çapraz sınıflandırma testinden belirlenen değerlerin daha büyüğü olarak alınmalıdır.

### 4.2.3. Çapraz Bağlantıları (16.3)

#### 4.2.3.1. Gereken Dayanım (16.3a)

AISC bölüm 16.3a'da çapraz bağlantılarının basınç altındaki düzeltilmiş çapraz dayanımının 1,1 katına eşit olan basınç ve çekmedeki normal kuvvetler için tasarlanması gerektiğini açıklar. Basınç altında düzeltilmiş çapraz dayanımı (düzeltme faktörleri vasıtası ile çekmedeki düzeltilmiş çapraz dayanımından daha büyük olan) kullanılması basınç ve çekmenin her ikisindeki bağlantı tasarımı için tasarımı basitleştirir. Aynı zamanda çekme tasarımının az bir miktarda olsa güvenli tarafta kalmasını sağlar. 1,1 faktörü çapraz bağlantı tasarımına biraz daha muhafazakarlık sağlar ve çapraz dayanımının beklenenden daha büyük olma olasılığı için hesaplanır. Bu ihtimaller belirtilenden daha büyük çekirdek alanı veya BÖÇ'lü çerçeve testlerinde kullanılanlardan daha büyük kat ötelenmesini ön görüyor.

$$P_u = 1.1 \beta \omega R_y P_{ysc} \quad (4.8)$$

#### 4.2.3.2. Guse Plakaları (16.3b)

AISC bölüm 16.3b bağlantılar ve guse plakaları tasarımında limit burkulma durumlarının düşünülmesi gerektiğini açıklar. Bu durum çaprazlı çerçevenin her türlü çapraz bağlantısı için geçerlidir. Bağlantı bölgesi ya da bağlantı plakası için kullanılacak olan ve kalite testi yapılan çaprazlar aynı zamanda gerçek bir inşaatta da kullanılmalıdır. Geleneksel çaprazlı çerçevelerin aksine BÖÇ'lü çerçeveler için bağlantı plakalarının tasarım kavramında çaprazlarda burkulma beklenmiyorsa bağlantıların güçlendirilmesine (fold-line) gerek yoktur. Bağlantıların tasarımı yerel ve genel burkulma durumlarını içermelidir. Tasarımın dayandığı testlerde çaprazların tutarlı olması gerekir.

#### 4.2.4. Çapraz Yapılandırılmasıyla İlgili Özel Koşullar (16.4)

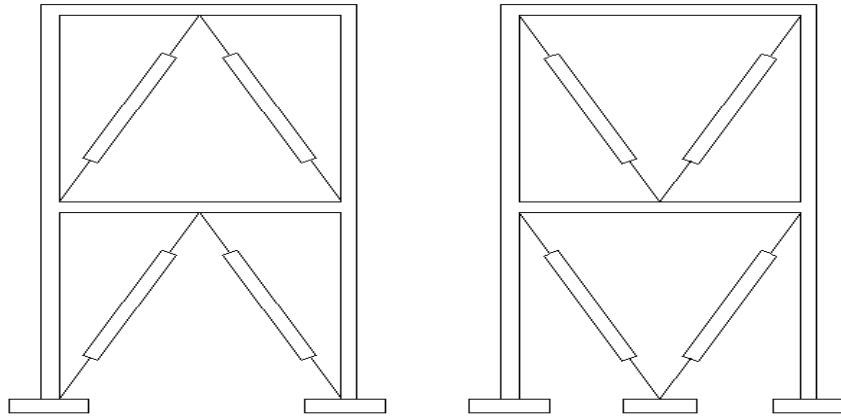
V tipi ve ters V tipi (K çaprazı) çaprazlar için:

Basınç ve çekmedeki düzeltilmiş çapraz dayanımlarından kaynaklanan dengesiz yükler için kirişlerin tasarımı ile ilgili şartları belirtir.

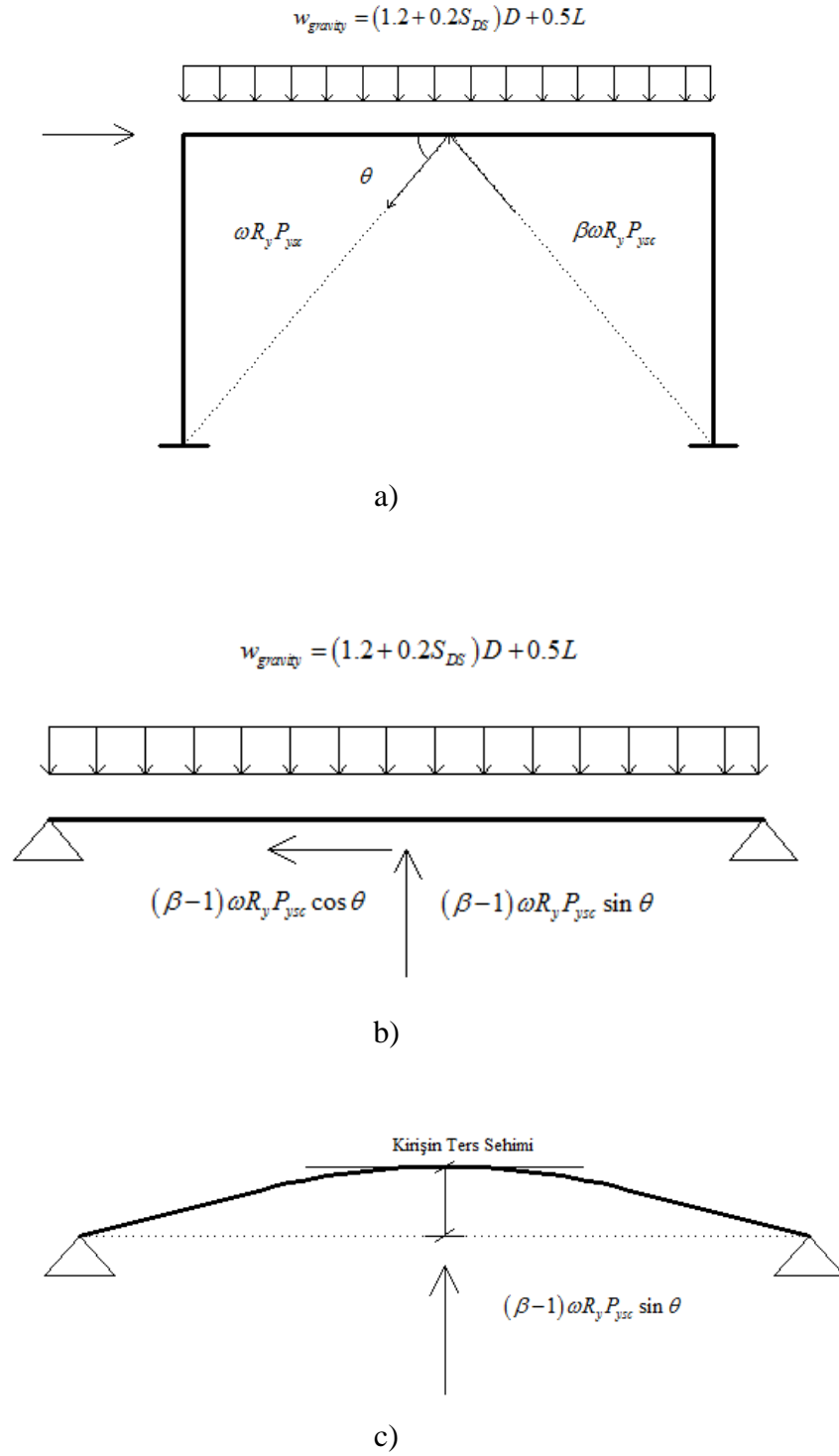
Çapraz çekme gerilmelerinde yürürlüğe girer:  $\omega R_y P_{y_{sc}}$

Çapraz basınç gerilmelerinde yürürlüğe girer:  $\beta \omega R_y P_{y_{sc}}$

Kolonlar arasında dikey kiriş desteği olmadığı varsayılır. AISC bölüm 16.4 BÖÇÇ'deki (BÖÇ'lü çerçevelerin) V tipi ve ters V (K) tipi çaprazlar için ek şartları açıklar. Bu hükümler geleneksel çaprazlı çerçevelerin V tipi ve ters V tipi şartları ile benzerlikler taşır. İki durum içinde kiriş çaprazlardan gelen dengesiz yükler için dizayn edilmelidir. GÇÇ'deki (Geleneksel Çaprazlı Çerçeve) durumunu göz önüne alırsak, geleneksel bir çaprazın basınç dayanımı ile çekme dayanımı arasında çok büyük farklar olabildiği için kirişlerdeki dengesiz yükler çok büyük olabilmektedir. BÖÇ'lü çerçevede ise BÖÇ'ün basınç ve çekme dayanımı çok yakın olduğu için kirişlerde oluşan dengesiz yüklerde çok daha küçük olmaktadır. Onlarda sadece  $\beta$  değeri farklıdır.



**Şekil 4. 4** V ve Ters V Tipi Çaprazlarla Oluşturulan Çerçeveler.



**Şekil 4. 5** Ters V Tipi Bir BÖÇ' lü Çerçeve a) Kiriş Tasarımı İçin Kullanılan Yüklemler b) Kirişteki Dengesiz Çapraz Kuvvetlerinin Yatay ve Düşey Bileşenleri c) Kirişin Düşeyde Yerdeğiştirmesi.

EkT'ye göre çaprazlar test edilirken;  $\Delta_{bm}$  belirlendiğinde düşey kiriş yerdeğiştirmesinden kaynaklanan ek çapraz uzamaları dahil olur. GÇÇ ters V tipindeki durum için dengesiz çapraz kuvvetleri, geleneksel çaprazlarda çekme dayanımı basınç dayanımından daha büyük olduğu için kirişi aşağıya çeker. Ters V tipi bir BÖÇÇ'da ise; BÖÇ'de basınç dayanımı çekme dayanımından daha büyük olduğu için kirişi yukarı doğru iter. BÖÇÇ'de tasarım kat ötelenmesine göre kullanılması düşünülen çapraz EK T testinin şartlarını sağlaması için kiriş sehiminden kaynaklanan çapraz ek uzamasını içermelidir. Kirişlerin her iki başlığı da dengesiz çapraz kuvvetlerinden kaynaklanan hesaplanmış kuvvetlere karşı yanal takviyelerle desteklenmelidir. Yanal takviyelerin tasarımı AISC şartnamesinin Ek 6 sınıfı başında bulunmaktadır. Kirişin her iki başlığı da, çaprazların kesişme noktalarında takviye edilmelidir. Bölüm 16.4 aynı zamanda V tipi ve ters V tipi BÖÇ'lü çerçevelerdeki kirişler için yanal takviye şartlarını belirtir. Yanal takviyelerin gerekli konumu ana AISC şartnamesine göre belirlenir. Bu yüzden kiriş ilave düşey yüklere ve dengesiz BÖÇ kuvvetlerinden kaynaklanan yüklere direnmesi için yeterli tasarım dayanımına sahip olmalıdır. Buna ek olarak kirişin yanal takviyesi BÖÇ ile kesişim noktasında oluşturulmalıdır.

#### 4.2.5. Kirişler ve Kolonlar (16.5)

AISC bölüm 16.5 BÖÇ' lü çerçevelerdeki kiriş ve kolonlar için sağlanması gereken şartları belirtir.

##### 4.2.5.1. Genişlik ve Kalınlık için Sınırlamalar (16.5a)

Kiriş ve kolon elemanları AISC bölüm 8.2b'nin şartlarını sağlamalıdır.

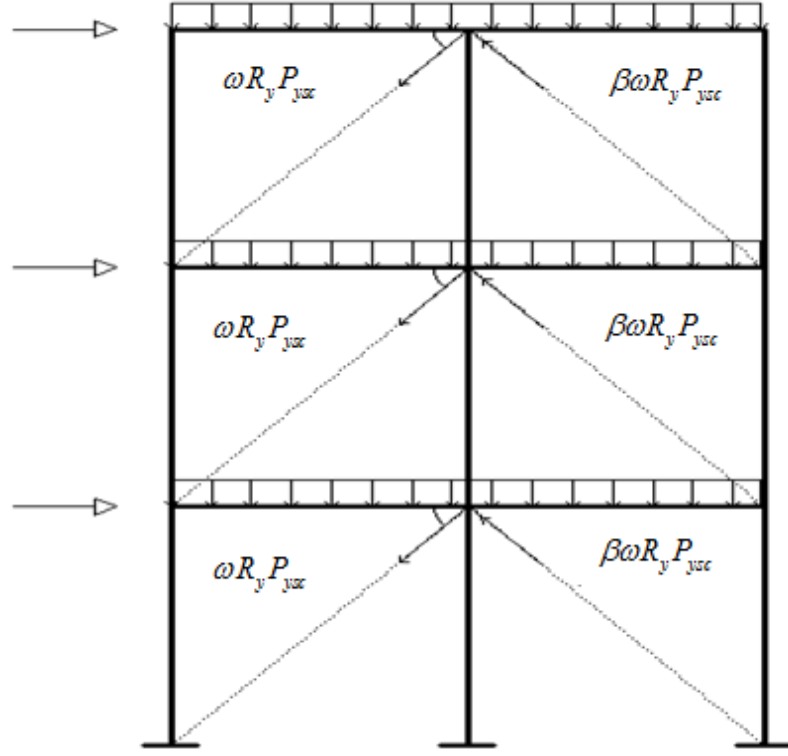
$$b/t \leq \lambda_{ps} \quad (4.9)$$

Bölüm 16.5a kiriş ve kolon kesitlerinde yerel burkulma meydana gelmemesi gerektiğini belirtir. BÖÇ'lü çerçevedeki kiriş ve kolonların elastik kalması amaçlanır. Büyük ötelenmelerde bir BÖÇ'lü çerçevedeki kolon ve kirişlerde, tasarımda göz önünde bulundurulmayan eğilme momentleri ve önemli sayılacak çerçeve hareketleri meydana gelebilir. Bu durum kolon ve kirişlerde beklenmeyen eğilme momentlerine karşı bu elemanların eğilme mukavemetlerinin artırılmasını sağlar ve ayrıca beklenmeyen momentler artarsa bu elemanların bu momentlere karşı sünek bir şekilde cevap vermesini sağlar. BÖÇ'lü çerçevenin kiriş ve kolonları geniş başlıklı kesitlerle sarılacaktır.

#### **4.2.5.2. Gereken Dayanım (16.5b)**

Kiriş ve kolonların gereken dayanımı, yerçekimi yük çarpanları ve düzeltilmiş çapraz dayanımlarından elde edilir.

AISC bölüm 16.5b kolon ve kirişlerin çaprazlar tarafından oluşturulan maksimum yükler için (düzeltilmiş çapraz dayanımı olarak tanımlanan) ve uygun ilave yerçekimi yükleri için tasarlanması gerekliliğini belirtir. Çerçevedeki tüm elemanlar ve bağlantıların BÖÇ'den daha güçlü olması gerektiği, BÖÇ'lü çerçeveler için temel kapasite tasarım felsefesidir.



**Şekil 4. 6** Düzeltmiş Çapraz Dayanımlarından Çerçeveye Gelen Yükler ve Düşey Yükler

Bu bölüm düşey yükler ile birlikte çerçevenin geri kalan yükleri olarak düzeltilmiş çapraz dayanımlarını gösterir.

#### 4.2.5.3. Ek Birleşimleri (16.5c)

AISC bölüm 16.5c BÖÇ'lü çerçevedeki kolonların ek birleşim yerleri için gereken şartları belirtir. BÖÇ'lü çerçevedeki kolon ek birleşimleri AISC bölüm 8.4'te verilen kolon ek birleşimi için genel şartları sağlamalıdır. Diğer şartların yanısıra bölüm 8.4 ek birleşimlerinin aksenal dayanımı en az kolonun aksenal dayanımı kadar alınması gerektiğini açıklar. Böylece kolon gibi kolon ek birleşim yerleri de BÖÇ'ün

maksimum dayanıma ulaştığında oluşan aksenal kuvvetler için tasarlanmış olacaktır. Yani kolon ek yerleri de BÖÇ'ün kapasitesini aşmak zorundadır. Bölüm 16.5c aynı zamanda kolon ek birleşimlerinin kesme ve eğilme dayanım şartlarını tanımlar. BÖÇ'lü çerçevelerde katlar arası büyük ötelenmeler oluştuğunda, kolonlar ve kolon ek birleşimlerinde birtakım eğilmeler görülebildiği için bu hesaplamalar yapılır.

Ek Birleşimleri için gereken şartlar:

- i. Bölüm 8.4 ün gerekliliklerini yerine getirmek
- ii. Gerekli eğilme dayanımı=  $0.5*(0,9Mpc)$
- iii. Gerekli kesme dayanımı =  $\sum Mpc/H$

#### **4.2.6. Koruma Bölgesi (16.6)**

AISC bölüm 16.6 bir BÖÇ'lü çerçeve için korunmuş bölgeyi tanımlar. Korunmuş bölge çapraz birleşim bölgesi ve BÖÇ'ün çelik çekirdeğidir. Kasanın sistemin akma elemanı olması beklenmediği için, BÖÇ kasası korunmuş bölgenin bir parçası olarak kabul edilmemektedir. Kasaya yapılacak olan ekler BÖÇ'ün performansını olumsuz yönde etkileyebildiğinden, bu durumdan kesin olarak kaçınılmalıdır. Korunmuş bölge kolon ve kirişlerin çelik çekirdeğe bağlandığı elemanları ve çelik çekirdek takviye elemanlarını içerecektir.

#### **4.3. Burkulması Önlenmiş Çaprazlı Çerçeve Sistemlerine Genel Bir Bakış**

Bir BÖÇ için tipik gerçek çekirdek akma uzunluğu, bağlantı tiplerindeki çalışma noktası uzunluğuna bağlı olarak çalışma noktasının 2/3'ü ile yarısı arasında değişmektedir. Böylece bir BÖÇ onun fiziksel olarak onun analitik modelinden daha kısadır. Bu gerçek BÖÇ'ü önemli ölçüde daha sert hale getirir. Tasarım mühendisi tarafından oluşturulmuş olandan daha yüksek gerilmelere maruz kalması için onu zorlar. Ayrıca analitik ve fiziksel uzunluklar arasındaki farklılıklar, analiz yazılımları



tarafından eleman mesafeleri merkezi boyutlara otomatik atandığından ortadan kalkmaz. Böyle önemli farklılıkların BÖÇ'ün tasarım ve analizi içinde dikkate alınması gerekir. Daha önce açıklandığı gibi farklı üreticiler farklı bağlantı detaylarına sahiptir. Hangi çaprazın kullanılacağı belirlendikten sonra tasarım mühendisi tarafından gerekli görülen çapraz tasarımı hesaplanır. ETABS'te liner elastik analiz yaptığımızda uzunluk ayarları doğru ve hesaplanmış bir BÖÇ modelini prizmatik olmayan çerçeve elemanı olarak kullanabiliriz. Öte yandan doğrusal olmayan performans analizleri de yapılabilir. Prizmatik olmayan eleman burada da kullanılır ve tek eksenli doğrusal olmayan mafsal tanımı yapılır. ETABS'te doğrusal olmayan mafsal bölgesi ve özellikleri kolayca atanabilir. Bu özellikler ilk dayanım, akma dayanımı ve akma sonrası dayanım olarak girilebilir. Çekme ve basınç için değerlerin farklı girilmesi, test edilmiş doğrusal olmayan davranışı karşılaştırmak için mafsal elemanının özelliğine eklenebilir.

#### **4.3.1. Potansiyel Akma Damperleri Olarak BÖÇ' lü Çerçeveler**

BÖÇ'lü çerçeveler çelik çekirdeğin döngüsel akma kararlılığı sayesinde tamamlayıcı bir sönümlenme sunabilir. Önemli miktarda enerji bu olgu sayesinde dağıtılır. Önemli ölçüde eşdeğer viskoz sönüm yapısal sisteme eklenebilir. Bu özellik BÖÇ'lü çerçeveleri yapılara eklenen sönüm ve rijitlik cihazları ile aynı kefeye koyar.

En zayıf yapı elemanı olması ve karalı akma potansiyelleri nedeniyle BÖÇ'lü çerçeveler temel deprem tasarım sürecinde etkili hasar sigortaları olarak hizmet verebilirler. BÖÇ'lü çerçevedeki inelastik davranış içeriği ve sınırlanması sayesinde geleneksel çerçeve elastik kalacaktır. Ayrıca BÖÇ'ün akması ve yumuşaması yapının etkili periyodunu azaltır. Bu sayede taban kesme kuvveti de azalmış olacaktır.

BÖÇ'lü bir çerçevede istenen performansa ulaşmak için çelik çekirdeğin uygun bir şekilde boyutlandırılması en önemli adımlardan biridir. Bir çelik çekirdek alanının çok büyümesi tasarım taban kesme kuvvetini arttırırken, çapraz akmasını sınırlandırabilir ve hatta önleyebilir. Öte yandan çelik çekirdek alanının çok küçük

olması, kayma ötelenmelerini arttırırken yapı için gereken dayanıklılık ve rijitliği sağlamayabilir.

İstikrarlı ve tutarlı bir davranış sağlamak için, yanal destek ile sürekli olarak korunmaya ihtiyaç duyar. Dolayısıyla BÖÇ'lü çerçeveler birbirine eklenmiş olamaz. Çaprazların kaynaklanmış ya da bulonlanmış eklerinin olması durumuna, inelastik taleplere maruz kalması olasılığı nedeniyle izin verilmez. Çünkü gevrek kırılma olasılığının başı çekmesi istenmeyen sonuçlara neden olabilir. Bu nedenle uzun ve ağır çaprazların birleştirilmesiyle güçlendirilen mevcut binalarda problemler doğurabilir.

Berkeley'de yapılan testler BÖÇ'lü çerçeve montajındaki bir dizi hataları ortaya çıkardı. Beton doldurulmuş HSS arasındaki bağlantıların düzlem dışı burkulmasının ortaya çıkarıldığı bir dizi test yapıldı. Diğer bir test tam tutulu kolon kiriş bağlantılarının bir testi olan bağlantı plakalarından yayılan ve kiriş başlıklarında gelişen düzlem yırtılmadır. Kırıkların çoğu BÖÇ takviye elemanlarında bulundu. Bağlantıların düzlem dışı burkulması BÖÇ yapılandırılmasının doğrudan bir sonucudur. Star Seismic bu potansiyel BÖÇ bağlantısının burkulmasını engeller. Star Seismic LLC bir dizi test göndermiştir ki onların BÖÇ montajı kendi düzlemleri dışında burkulmaz (Benzoni ve Innamorato, 2007).

Gelecek araştırmalar, bitişik kolon veya kirişlerde çatlaklara neden olan gerilme yığılmalarını engellemek için bağlantı plakalarının geliştirilmiş tasarım ve detaylandırılmasını belirlemek için gerekli olacaktır. Bağlantı plakasında çerçevenin büyük kayma hareketleri nedeniyle kiriş kolon döner. Bağlantı plakalarının talebi, bağlantı plakasının son sınırındaki kolon kiriş birleşim yerlerinde önemli gerilme yığılmalarının sonucudur. Kaynaklı birleşim ve kalite kontrolü kolon veya kirişlerdeki gevrek çatlakları azaltabilir. Ayrıca bağlantı plakası araştırmaları gelecekte BÖÇ'lü çerçeve sistemlerinin performanslarına olumlu düzeyde katkı sağlayacaktır.

#### 4.3.2. BÖÇ' ler le Oluşturulan Çerçevelerin Özellikleri

- BÖÇ kullanımı mükemmel süneklik ve yüksek elastik rijitliğin birleştiği bir çerçeve oluşturur.
- BÖÇ'lü çerçeveler süneklik düzeyi yüksek çerçeveler olarak kabul edilir.
- Sistem yüksek süneklik ile yüksek rijitliğin bir birleşimidir.
- BÖÇ'ler üreticiler tarafından belirli test ve tasarım geliştirme aşamalarından geçmiş tescilli ve patentli tasarımlardır. BÖÇ kullanan yapı tasarımcısı çekirdek projeksiyonunda sağlanan bağlantı detayları, çekirdek projeksiyonu ve çekirdeğin şekli gibi burkulması önlenmiş çapraz detaylarını normal olarak geliştiremez. Yapı tasarımcısı, BÖÇ için gereken rijitliği ve gerekli olan mukavemet değerlerini kendi belirleyecek üretici de bu belirtilenlere uygun BÖÇ'ler tedarik edecektir.
- Yapıya gelmesi muhtemel maksimum deprem hareketi sonunda kolonlar ve kirişler elastik kalacak plastikleşmenin çaprazlarda olması sağlanacaktır. Çaprazlar basınç ve çekmenin her ikisinde de sünek bir şekilde akacaktır. BÖÇ'lü çerçevenin yanal mukavemeti BÖÇ'ün yanal mukavemeti ile direkt ilişkilidir. BÖÇ'lü çerçevenin inelastik davranışı her iki yanal yük doğrultusu içinde aynıdır.
- BÖÇ'ler çerçevenin sigorta elemanıdır. Deprem kuvvetlerinin kod seviyelerine göre tasarlanmışlardır. Diğer tüm çerçeve elemanları kolonlar, kirişler ve bağlantıları BÖÇ'lerden daha güçlü olacak şekilde tasarlanırlar. Bunun için çerçeve elemanları ve bağlantıları deprem kuvvetleri seviye kodlarına göre hesaplanmaz. Aksine onlar BÖÇ'ler tarafından oluşturulmuş maksimum kuvvetlere göre tasarlanırlar. Belirtilmiş kuvvet kodları için BÖÇ çekirdeği boyutlandırılır. Testler tarafından doğrulanmış performansa sahip BÖÇ tasarımı seçilir. Tamamiyle akma durumunda olan ve yüksek seviyede zorlanmış BÖÇ'ler tarafından oluşturulan maksimum kuvvetler için kirişler, kolonlar, çapraz bağlantıları, kolon temeli ve diğer çerçeve elemanları tasarlanırlar.

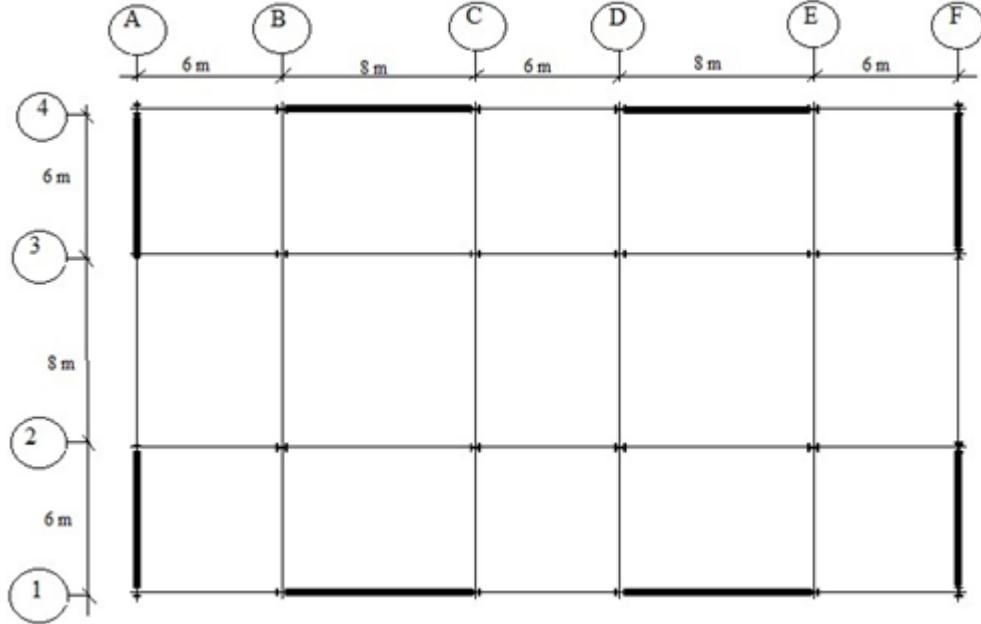
## 5. BÖÇ'LÜ BİR YAPININ TASARLANMASI

Burkulması önlenmiş çaprazlı çerçeveleri eşdeğer deprem yükü yöntemi kullanarak tasarlayabiliriz. Diğer geleneksel çerçevelerin tasarımında olduğu gibi, azaltılmış bir deprem yükü çerçeveler için gereken rijitlik ve dayanımı belirlemek için bir lineer elastik modele uygulanır (Deulkar vd.,2010). Ortak bina tipleri için bu sistem dayanım tarafından yönetilme eğilimindedir. Bu yöntemle göre orantılandırılmış çaprazlarla oluşturulan BÖÇ'lü çerçeve için elastik ve inelastik deformasyon modları arasındaki fark çok azdır (Deulkar vd.,2010 ). Bu nedenle, doğrusal olmayan analiz çapraz süneklik taleplerinin tahminini çok daha iyi verebilmesine rağmen genellikle gerekli değildir. Çerçeveler elle ya da yazılımlar kullanarak modellenmelidir. Sismik yükler çerçevelerdeki ya da çapraz elemanlardaki eksenel kuvvetler tarafından önlenir. Sismik yükü önleyen çerçevelerdeki kolon kiriş bağlantılarının rijit olması gerekir. Bağlantı plakasının belirgin olarak modellenmesi tipik tasarım için gerekli değildir. Ancak onun rijit bir çıkıntı olarak modellenmesi yararlıdır. Üreticilere bağlı olarak bağlantı plakalarına yapılan çapraz bağlantısı pimli ya da sabit bir şekilde olabilir. Bağlantı plakaları ile ilgili bir parantez açmak gerekirse şunları söyleyebiliriz. Bu elemanlar çerçeve elamanları ve çapraz arasındaki yanal kuvvetlerin uygun ve ekonomik bir biçimde transfer edilmesini sağlar. Şu anda kullanılmakta olan tasarım hükümleri çok güçlü bağlantı plakaları sunmasına rağmen, onlar inelastik taleplerin gerçekçi bir şekilde öngörülmesini sağlamaz. Aynı şekilde sistem performansı ve bağlantılarda da güvenilir sonuçlar sağlamaz. Çapraz bağlantılarının sadece çaprazlardan daha güçlü olması gerektiği için, bağlantıların deformasyon gerekliliklerini sağlayabildiğine dair bir güvence yoktur (Christopoulos, 2005).

Deprem yüklerinin taleplerine dayanacak yeterli süneklik derecesini sağlamak için çaprazlar başarılı test sonuçlarına dayandırılarak tasarlanır. Kararlı bir histeretik davranış sergileyebilen, belirli miktardaki enerjiyi yutabilen ve gereken sünekliği sergileyebilen çaprazlar üretilir.

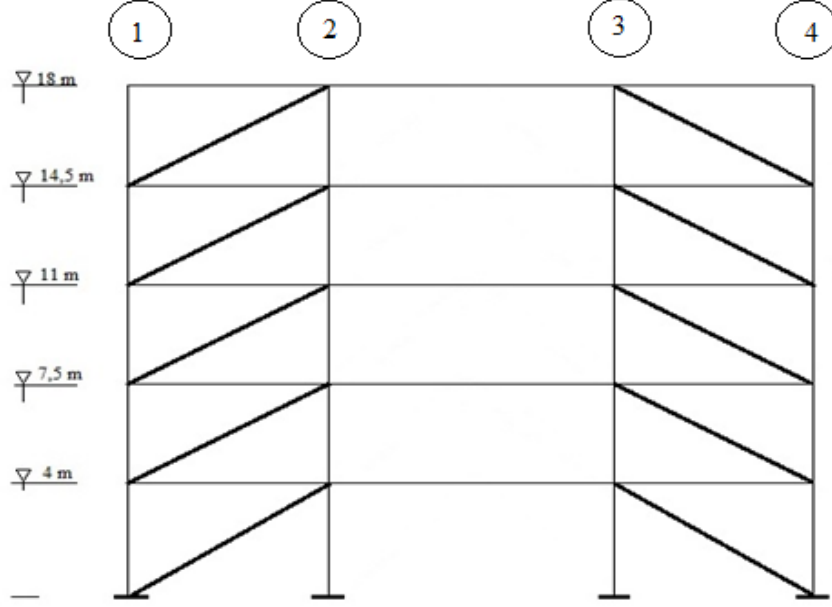
Diğer çerçeve elemanları kapasite tasarım prensipleri kullanılarak tasarlanırken BÖÇ'ler yapı içinde yeterli sayılabilecek dayanım için tasarlanmaktadır. Çaprazların beklenen deformasyon durumlarına göre geliştirilebildiğinden, maksimum beklenene karşılık gelen kuvvetler kiriş, kolon ve çapraz bağlantılarının dayanımları gerektiği gibi kullanılır. Tekrarlı döngüsel inelastik yüklemeler altında ve büyük deformasyonlarda çaprazların pekleşmesi, çaprazın basınç dayanımının üstünlüğü, bir koruma faktörünün kullanımı ve rijitlik için çaprazın boyutlarının büyümesi nedeniyle bu maksimum beklenen çapraz kuvvetleri çapraz tasarım kuvvetlerinden önemli ölçüde büyük olabilmektedir.

Şekil 5.1'de hesabı yapılacak yapının planı gösterilmiştir. Açıklıklar ve aks isimleri şekilde belirtilmiştir. Koyu kısımlar çaprazları ifade etmektedir.



Şekil 5. 1 Yapı Planı





Şekil 5. 3 A-A Aksı.

### 5.1. Yapısal Malzemeler

W kesitleri: ASTM A992  $F_y=50 \text{ ksi} = 0.345 \text{ kN/mm}^2$ ,  $F_u=65 \text{ ksi} = 0.449 \text{ kN/mm}^2$

$F_y$ : Akma gerilmesi;  $F_u$ : en büyük gerilme

BÖÇ Çelik Çekirdek: ASTM A36 veya JIS 63136 SN400B destekli akma gereklilikleri

$F_{y\text{sc}}= 42 \text{ ksi} = 0.290 \text{ kN/mm}^2$  ( $\pm 4 \text{ ksi} = \pm 0,0276 \text{ kN/mm}^2$ ) kupon test gereklilikleri

BÖÇ Çelik Kasa: ASTM A500 kalitesi B yada JIS G 3466 STKR 400

Guse Plakaları: ASTM A572 kalite 50 ( $F_y=50 \text{ ksi} = 0.345 \text{ kN/mm}^2$ ,  $F_u=65 \text{ ksi} = 0.449 \text{ kN/mm}^2$ )

Kaynak Elektrotları: E70XX (Çentik darbesi, 20 ft-lb -20 derece fahrenheit)

Çapraz bağlantısı için hem bulon hemde pin kullanılabildiği için özellikler her ikisi içinde verilmiştir.

Yüksek Dayanımlı Bulonlar (Kullanılırsa): ASTM 325 ya da A490 SC

Tasarım notu: Yük tasarım dayanımları faktörünün kullanılması maliyetler ve bağlantı uzunluklarının azaltılmasını sağlar.

Pinler (Kullanılırsa): ASTM A354 round stock

Tasarım notu: Pim bağlantıları AISC yükleri ve çelik yapıların manuel tasarım direnç faktörüne uymalıdır. (AISC LRFD) (2001) Şartname D3

Yukarıda BÖÇ'lü çelik yapıda kullanılan malzemeler açıklanmıştır. ASTM malzeme standartlarından alınmıştır.

- i. Kiriş ve kolon kesitleri: W profilleri
- ii. BÖÇ' ün çelik çekirdeği: ASTM 36' ya göre seçildi.
- iii. BÖÇ çelik kasanın özellikleri: ASTM A500
- iv. Guse plakalarının özellikleri: ASTM A572
- v. Kaynak elektrotları
- vi. Hafif Beton Dolgusu
- vii. Yüksek dayanımlı bulonlar
- viii. Pinler

## 5.2. Yüklerin Belirlenmesi

Çatı yükleri ve kat yüklerinin belirlenmesi, yapının bulunduğu yerin deprem özelliklerinin belirlenmesi, yapının deprem yükünü önleyici sisteminin ve parametrelerinin belirlenmesi.



### 5.2.1. Düşey Yükler

#### Çatı Döşemesi Yükleri

Çatı Kaplaması:	0.9 kN/m <sup>2</sup>
İzolasyon :	0.3 kN/m <sup>2</sup>
Trapez saç + betonarme döşeme:	2.2 kN/m <sup>2</sup>
Asma tavan+tesisat :	0.5 kN/m <sup>2</sup>
Çelik Konstrüksiyon :	0.5 kN/m <sup>2</sup>
<hr/>	
G=	4.3 kN/m <sup>2</sup>
Q=	1.0 kN/m <sup>2</sup>

#### Normal Kat Döşeme Yükleri

Kaplama:	0.5 kN/m <sup>2</sup>
Trapez saç + betonarme döşeme:	2.2 kN/m <sup>2</sup>
Asma tavan+tesisat:	0.5 kN/m <sup>2</sup>
Bölme Duvarları:	1.0 kN/m <sup>2</sup>
Çelik Konstrüksiyon (Kolonlar dahil):	0.8 kN/m <sup>2</sup>
<hr/>	
G	5.0 kN/m <sup>2</sup>
Q	2.0 kN/m <sup>2</sup>

Merdiven ve asansör boşlukları da döşeme elemanı gibi kabul edilmiştir. Normal katlarda dış duvar yükü  $G_d = 3,0$  kN/m dir.

Normal Katların Ağırlığı:  $34*20*(5+0,3*2)+2*(34+20)*3= 4132$  kN

Çatı Katı Ağırlığı:  $34*20*(4,3+0,3*1)= 3128$  kN

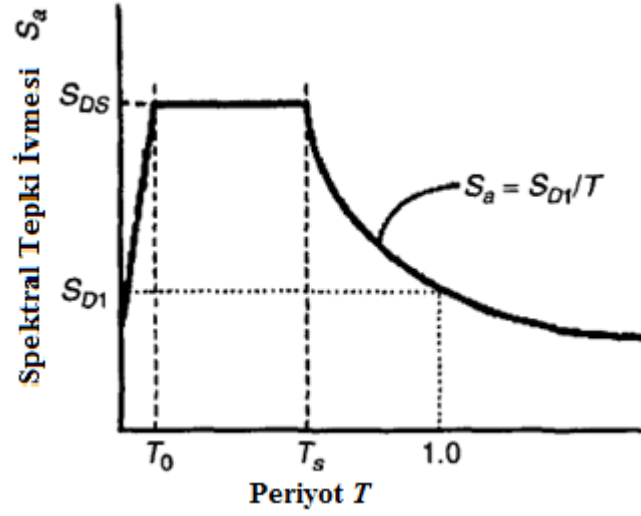
Toplam Yapı Ağırlığı: 19656 kN

**Çizelge 5. 1** Katlara Göre Kütle ve Ağırlıklar

Kat	Wi (kN)	Mi (kN/m.s <sup>2</sup> )
Çatı	3128	318.8
4	4132	421.2
3	4132	421.2
2	4132	421.2
1	4132	421.2
Σ	19656	2003.6

### 5.2.2. Deprem Yükleri

Respons Spektrumu ASCE 7-02 9.4.1.2.6'nın başında yapılandırılmış ve Şekil 5.5'da verilmiştir. Bu tasarım sürecindeki tüm denklemler ve atıflar ASCE 7-02'ye göre yapılacaktır.



Şekil 5. 4 Tasarım Tepki Spektrumu

Tasarım tepki spektrumu

$T$  = Yapının esas periyodu

$$T_0 = 0,2 S_{D1} / S_{DS}$$

$$T_s = S_{D1} / S_{DS}$$

Yapının yapılacağı mekanın depremselliğini belirlemek gerekir. Bunun için yapının San Francisco sınırları içinde yapıldığını varsayıyoruz. Tablo 9.4.1.2.4a'dan  $F_a=1$ ; Tablo 9.4.1.2.4b'den  $F_v=1,5$  alınır. Zemin sınıfı D olarak seçilmiştir. ( $S_s=1,5419$ ;  $S_1=0,8879$ )

$$S_{MS} = F_a * S_s \text{ (Denklem 9.4.1.2.4-1)}$$

$$S_{M1} = F_v * S_1 \text{ (Denklem 9.4.1.2.4-2)}$$

$$S_{DS} = 2/3 * S_{MS}$$

$$S_{D1} = 2/3 * S_{M1}$$

$$S_{MS} = F_a * S_s \rightarrow 1 * 1,541 = 1,541$$

$$S_{M1} = F_v * S_1 \rightarrow 1,5 * 0,887 = 1,331$$

$$S_{DS}=2/3*1,541= 1,027$$

$$S_{DI}=2/3*1,331= 0,887$$

$$T_o= 0,2*( S_{DI}/ S_{DS})= 0,2*(0,887/1,027)= 0,172 \text{ sn}$$

$$T_s= ( S_{DI}/ S_{DS})= 0,863 \text{ sn}$$

**Çizelge 5. 2 Sistem Parametreleri**

Parametre	Değer	Referans
Yapı Yüksekliği	18 m	
Yapı Kullanma Kategorisi	2	Tablo 1-1
Sismik kullanım Grubu	1	Tablo 9.1.3
Sismik Tasarım Kategorisi	E	Tablo 9.4.2.1.9.b
Bina Önem Faktörü	1,0	Tablo 9.1.4
Sismik Ağırlık	19656 kN	Hesaplandı
Deprem Koruma Sistemi	BÖÇ' lü çerçeve ve Rijit kolon kiriş bağlantıları	
R	8,0	FEMA 450
Cd	5	FEMA 450
Ct (Cr)	0,03 (0,0731 metrik)	FEMA 450
x	0,75	FEMA 450
Cu	1,4	Tablo 9.5.5.3.1

R= Tepki düzenleme faktörü

Cd= Sehim büyütme faktörü

Ct (Cr)= Yaklaşık periyot parametresi

x= Yaklaşık periyot parametresi

Cu= Hesaplanan periyodun üst limit katsayısı

### 5.2.2.1. Deprem Kuvvetinin Hesaplanması

#### Esas periyot

$$T_a = C_t \times h_n^x \text{ (Denklem 9.5.5.3.2-1)}$$

$T = C_u \times T_a$  (Tablo 9.5.5.3.1) yapının gerçek periyodu değerini aşmamalıdır.

$$T_a = 0,0731 \times 18^{0,75} = 0,638 \text{ sn}$$

$C_s$  değeri hesaplanırken yapının gerçek periyodu (  $T$  ) 1,15 sn den daha büyük alınamaz.

#### Taban Kesme Kuvveti:

Taban kesme kuvveti  $V$ ;

$$V = C_s \times W \text{ (Denklem 9.5.5.2-1)}$$

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\frac{R}{I}} \text{ (Denklem 9.5.5.2.1-1)}$$

$$C_s \geq \frac{0,5 \cdot S_1}{\frac{R}{I}} \text{ (Denklem 9.5.5.2.1-2)}$$

$$C_s \geq 0,044 \cdot I \cdot S_{DS} \text{ (Denklem 9.5.5.2.1-3)}$$

E ve F sismik tasarım kategorileri için;

$$C_s \geq \frac{0,5 \cdot S_1}{\frac{R}{I}} \text{ (Denklem 9.5.5.2.1-4)}$$

$$C_s = \frac{1,027}{8} = 0,128$$

$$C_s = 0,128$$

$$C_s \leq 0,134$$

$$C_s \geq 0,045$$

$$C_s \geq 0,055 \text{ ( E ya da F sismik kategorileri için)}$$

$C_s$  değerinin yukarıdaki formüllerde gösterilen min. değerleri sağladığı görülmektedir.

$$V = C_s \cdot W = 0,128 \cdot 19656 = 2515,9 \text{ kN}$$

### Deprem Kuvvetlerinin Katlara Dağıtılması

Kat Kuvvetleri: (9.5.5.4)

Her kat için kuvvetler:

$$F_x = C_{vx} \cdot V \text{ (Denklem 9.5.5.4-1)}$$

$$C_{vx} = \frac{w_x \cdot h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i \cdot h_i^k} \text{ (Denklem 9.5.5.4-2)}$$

k: k değeri yapı periyodunun 0,5 ve 2,5 sn aralıklarına 1 ve 2 arasında enterpole edilmesi sonucu yakın olan değer olarak alınacaktır. Bu örnek için  $k = 1,028$  dir.

$$C_{vx1} = 0,076$$

$$C_{vx2} = 0,146$$

$$C_{vx3} = 0,217$$

$$C_{vx4} = 0,288$$

$$C_{vx5} = 0,272$$

**Çizelge 5. 3** Deprem Kuvvetlerinin Katlara Göre Dağılımı

Kat	wi (kN)	hi (m)	wi.hi <sup>k</sup>	C <sub>vx</sub>	Kat Kuvvetleri Fx(kN)	Kat kesme Kuvveti Vx (kN)
5	3128	18	61050,17	0,272	684,3	
4	4132	14,5	64572,3	0,288	724,57	684,3
3	4132	11	48608,5	0,218	548,46	1408,87
2	4132	7,5	32788,6	0,146	367,32	1957,73
1	4132	4	17182,16	0,076	191,20	2325,05
Zemin	-	-	-	-	-	2515,9
Toplam	19656		182171,21	1,00	2515,9	

#### 5.2.2.2. Yapının Deprem Yüğü Analizi ve Taleplerin Belirlenmesi

- Tasarım kat kesme kuvvetleri çaprazlar ve çaprazlı çerçeve kolonları arasında onların görelî rijitlikleriyle orantılı paylaşılacaktır. Bu yapının deprem önleme sistemi çift sistem (yani moment aktaran kolon kiriş birleşimi ve çaprazların birlikte kullanıldığı sistem) olarak modellenmedi. Etabs'taki yapı modelinde kolon kiriş birleşimleri mafsallı olarak tanımlandı. Ancak tasarım detaylandırılırken kolon kiriş bağlantıları moment aktaracak şekilde detaylandırılacaktır. Bundan dolayı R=8 değeri kullanılacaktır. Bu durum yapının daha güvenli tarafta kalmasını sağlayacaktır.
- Çaprazlı çerçeve kolonlarının temeli, çapraz hesapları ve bağlantı plakaları büyük ve artan deprem kuvvetlerini önlemek için yapıda olması gerekenlerdir. Deprem yükünün önlenmesi için kullanılan açıklıkların sayısından ve standartlarda ön görülen kapasite tasarım yaklaşımından dolayı BÖÇ'lü çerçeve kolonları yüksek çekme kuvvetlerini önler. Bunun sonucunda tam penetrasyonlu bağlantı kaynakları ve kalın plaklar normal olarak kolon tabanında belirtilmiştir. Bir kalın temel plakasına tamamen kaynaklanmış bir

kolon, detaylandırılmış kolon temel bağlantısı ve dikey rijit bağlantı plakasından meydana gelmektedir. Detaylandırılmış kolon temel bağlantısında olduğu gibi bir dikey rijit bağlantı plakasıyla kalın temel plakasına tamamen kaynaklanmış bir kolon oluşmaktadır. Bu nedenle analiz yaparken kolon temelinin sabit olduğunu kabul etmek uygundur. Kolon temelinde oluşan moment beton içindeki basınç ankraj çubuğundaki çekme çifti tarafından karşılanır. Kolon tabanında oluşan kesme kuvveti çelik elemanlar, çerçeveye paralel çelik elemanlar ve yalnızca çekmeyi önleyen temel plakasının üzerine kaynaklanmış ankraj çubuğu tarafından engellenecektir. Bu işlemlerden dolayı basit kafes kuvvet modeli yeterli değildir ve eğilme özelliklerini içeren bir model gereklidir. Temel ankastre olarak modellenmiştir.

### 5.3. Bilgisayar Modeli Tanımlamaları

- Yapı ağırlığı hesaplanırken hareketli yük katılım katsayısı olarak  $n = 0.3$  kullanılmıştır.
- Yapının kendi öz ağırlığı verilen kat ağırlıkları içine dahildir. Etabs tarafından hesaplanmaz.
- Rüzgar yüklemesi Çizelge 5.3'de hesaplanan deprem taban kesme kuvvetinden daha küçük olduğundan ikisinin aynı anda etkilediği varsayılmış ve esas olarak deprem yükleri kullanılmıştır.
- Çaprazların uçları mafsallı olarak modellenmiştir.
- Şekilde gösterildiği gibi çelik çekirdeğin gerçek uzunluğu yapı modelinde belirtilen çalışma aralıkları içindeki uzunluğundan daha kısadır. Bu yüzden çaprazın gerçek rijitliği yalnızca çelik çekirdek alanı kullanılarak hesaplandan daha büyüktür. Bu örnek için BÖÇ'ün etkili rijitliği yalnızca çelik çekirdek kullanılarak hesaplanan rijitliğin 1.4 katı olarak hesaplanır.



- Deprem kuvvetleri nokta tekil yük olarak her diyaframdaki kütlenin merkezine uygulanır. Buna ek olarak %5 eksantrisite için dış merkezlik hesaplanarak ilave bir moment uygulanır.
- Çerçeve kolonları temele sabit olarak modellenir.

#### 5.4. Yük Faktörü $\rho$ ' nun Hesaplanması

$$\rho = 2 - \frac{20}{r_{\max} \sqrt{AB}} \quad (5.1)$$

$r_{\max}$  = Eleman kat kesme oranlarının en büyük değeridir. Yapının üçte iki seviyesinin altında ya da seviyesindeki katların herhangi birinde meydana gelen "ri" eleman kat kesme oranlarının en büyüğüdür.

AB= Yapının yer seviyesindeki kat alanıdır.

Aşağıda yapılanların bir örneği SEAOC manual sy 48 örnek 15' te bulunmaktadır.

**Çizelge 5. 4 X Yönü İçin  $r_{\max}$  Değeri**

Kat	Toplam Kat Kesme Kuvveti $V_i$ (kN)	Çapraz Eksenel Kuvveti (kN)	Yatay Bileşeni $F_x$ (kN)	$r_i = F_x / V_i$
1	1258	414	293	0,232
2	1163	391	294	<b>0,253</b>
3	979	323	243	0,248
4	705	230	173	0,245
5	342	117	88	0,257

$$r_{\max} = 0,253$$

$$AB = 20 \cdot 34 = 680 \text{ m}^2 = 7318,14 \text{ ft}^2$$

$$\rho_x = 2 - \frac{20}{0,253 \sqrt{7318,14}} = 1,08$$

**Çizelge 5. 5 Y Yönü İçin  $r_{\max}$  Değeri**

Kat	Toplam Kat Kesme Kuvveti $V_i$ (kN)	Çapraz Eksenel Kuvveti (kN)	Yatay Bileşeni $F_x$ (kN)	$r_i = F_x/V_i$
1	1258	654	543	0,431
2	1163	686	590	0,507
3	979	563	484	<b>0,494</b>
4	705	391	336	0,476
5	342	212	182	0,532

$$r_{\max} = 0,494$$

$$AB = 20 \cdot 34 = 680 \text{ m}^2 = 7318,14 \text{ ft}^2$$

$$\rho_y = 2 - \frac{20}{0,494 \sqrt{7318,14}} = 1,53$$

### 5.5. Yük Kombinasyonlarının Uygulanması

$$\rho_y = 1,53; \rho_x = 1,08$$

$$LC1: 1,41D + 0,5L + 1,08 \cdot POSECCEQX$$

$$LC2: 1,41D + 0,5L - 1,08 \cdot POSECCEQX$$

$$LC3: 0,69D + 1,08 \cdot POSECCEQX$$

$$LC4: 0,69D - 1,08 \cdot POSECCEQX$$

$$LC5: 1,41D + 0,5L + 1,08 \cdot NEGECCEQX$$

- LC6:  $1,41D+0,5L-1,08*NEGECCEQX$   
 LC7:  $0,69D+1,08*NEGECCEQX$   
 LC8:  $0,69D-1,08*NEGECCEQX$   
 LC9:  $1,41D+0,5L+1,53*POSECCEQY$   
 LC10:  $1,41D+0,5L-1,53*POSECCEQY$   
 LC11:  $0,69D+1,53*POSECCEQY$   
 LC12:  $0,69D-1,53*POSECCEQY$   
 LC13:  $1,41D+0,5L+1,53*NEGECCEQY$   
 LC14:  $1,41D+0,5L-1,53*NEGECCEQY$   
 LC15:  $0,69D+1,53*NEGECCEQY$   
 LC16:  $0,69D-1,53*NEGECCEQX$

Yukarıda bulunan  $\rho_x$  ve  $\rho_y$  değerlerine göre onaltı adet yük kombinasyonu oluşturulmuştur. Ancak katlar arası kayma oranlarını hesaplamak için ASCE 7-02'nin 9.5.5.7.1 bölümünde açıkça belirtildiği gibi,  $\rho$ 'nun kayma hesaplarının dışında tutulması gerekir. Bundan dolayı katlar arası kayma değerlerini hesaplariken  $\rho$  değerleri 1 ile düzeltilmiştir.

Bu yaptığımız işlemlere alternatif olarak kayma hesapları için yapının gerçek periyodunu hesaplamak ve buna göre azaltılmış bir taban kesme kuvveti hesaplamak mümkündür. Ancak burada böyle bir yaklaşım takip edilmemiştir. Bu belirttiğimiz durum bu yapıdan daha yüksek ve daha hassas kayma hesabı gerektiren yapılarda avantajlı olabilmektedir. Tasarım kat ötelenmesini hesaplamak için, en büyük deplasmanla hesaplanan yük kombinasyonları için elastik kat ötelenmelerinin hesaplanması gerekir. Daha sonra elastik kat ötelenmesi  $\Delta_x$  dikkate alınan katın altındaki ve üstündeki deformasyon farklılıkları olarak hesaplanır

### 5.6. Kat Ötelenmelerinin Belirlenmesi (ASCE 9.5.5.7.1)

Tasarım kat ötelenmesi ( $\Delta$ ): Dikkate alınan katın alt ve üstündeki sapmaların farkı olarak hesaplanır. Kütle merkezi x seviyesinin sapmaları  $\delta_x$  aşağıdaki denkleme göre belirlenecektir.

$$\delta_x = \frac{C_d \cdot \delta_{xe}}{I} \quad (5.2)$$

$C_d$ : Tablo 9.5.2.2 deki sapma büyütme faktörü 5 olarak alındı.

$\delta_{xe}$ : Bir elastik analiz sonucu belirlenmiş sapmadır.

$I$ : Bölüm 9.1.4'e göre belirlenmiş önem faktörü

$h_{sx}$ : Kat yüksekliği (inç)

$\Delta_x$ : Elastik kat ötelenmesi

$\Delta = \Delta_M$ : Tasarım kat ötelenmesi

$\Delta_d =$  İzin verilebilen kat ötelenmesi ASCE 7.02 sy. 168 grup 1 deki all structures 0,020. $h_{sx}$  formülü kullanıldı.

**Çizelge 5. 6 X Yönündeki BÖÇ'lü Çerçeve İçin Tasarım Kat Ötelenmesi**

Kat	Kat Yüksekliği $h_{sx}$ (inç) / (m)	Elastik Kat Kayması $\Delta_x$ (inç) / (mm)	Tasarım Kat ötelenmesi $\Delta=\Delta_M$ (inç) / (mm)	İzin Verilen Kat Kayması $\Delta_a$ (inç) / (mm)	Katlar arası kayma oranı $\Theta_x$ (%)	Tasarım Kayma Oranı $\Theta_M$ (%)	İzin Verilebilen Kayma Oranı $\Theta_a$ (%)
5	137,8 / 3.5	0,326 / 8.28	1,63 / 41.4	2,76 / 70.1	0,24	1,2	2,00
4	137,8 / 3.5	0,380 / 9,65	1,90 / 48.2	2,76 / 70.1	0,28	1,4	2,00
3	137,8 / 3.5	0,394 / 10	1,97 / 50	2,76 / 70.1	0,29	1,45	2,00
2	137,8 / 3.5	0,368 / 9.34	1,84 / 46.7	2,76 / 70.1	0,27	1,35	2,00
1	157,48 / 4	0,272 / 6.9	1,36 / 34.5	3,15 / 80	0,17	0,85	2,00

**Çizelge 5. 7** Y Yönündeki BÖÇ'lü Çerçeve İçin Tasarım Kat Ötelenmesi

Kat	Kat Yüksekliği $h_{sx}$ (inç) / (m)	Elastik Kat Kayması $\Delta_x$ (inç) / (mm)	Tasarım Kat ötelenmesi $\Delta = \Delta_M$ (inç) / (mm)	İzin Verilen Kat Kayması $\Delta_a$ (inç) / (mm)	Katlar arası kayma oranı $\Theta_x$ (%)	Tasarım Kayma Oranı $\Theta_M$ (%)	İzin Verilebilen Kayma Oranı $\Theta_a$ (%)
5	137,8 / 3.5	0,310 / 7.87	1,55 / 39.4	2,76 / 70.1	0,225	1,12	2,00
4	137,8 / 3.5	0,336 / 8.53	1,68 / 42.7	2,76 / 70.1	0,244	1,22	2,00
3	137,8 / 3.5	0,325 / 8.25	1,62 / 41.2	2,76 / 70.1	0,236	1,18	2,00
2	137,8 / 3.5	0,311 / 7.9	1,55 / 39.4	2,76 / 70.1	0,226	1,13	2,00
1	157,48 / 4	0,276 / 7	1,38 / 35	3,15 / 80	0,175	0,87	2,00

Sonuçların Elde Edildiği Çapraz Alanları

Yukarıdaki sonuçlar aşağıdaki çapraz alanları kullanılarak elde edildi.

## X Yönü Ters V Çaprazlar İçin

TersV 1:	3,5 in <sup>2</sup>	(22.6 cm <sup>2</sup> )
TersV 2:	2,5 in <sup>2</sup>	(16.3 cm <sup>2</sup> )
TersV 3:	2 in <sup>2</sup>	(12.9 cm <sup>2</sup> )
TersV 4:	1,5 in <sup>2</sup>	(9.7 cm <sup>2</sup> )
TersV 5:	1 in <sup>2</sup>	(6.45 cm <sup>2</sup> )

## Y Yönü Tekil Diagonal Çaprazlar İçin

TEK 1:	8 in <sup>2</sup>	(51.6 cm <sup>2</sup> )
TEK 2:	8 in <sup>2</sup>	(51.6 cm <sup>2</sup> )
TEK 3:	7 in <sup>2</sup>	(45.16 cm <sup>2</sup> )
TEK 4:	5 in <sup>2</sup>	(32.26 cm <sup>2</sup> )
TEK 5:	3 in <sup>2</sup>	(19.35 cm <sup>2</sup> )

## 5.7. Y Yönündeki Tekil BÖÇ'lerin Tasarımı

### 5.7.1. Çapraz Talepleri ve Çapraz Kapasiteleri

A aksı doğrultusunda ve 3-4 aksları arasındaki birinci kattaki BÖÇ'ün tasarımı gösterilecektir. ETABS programı kullanılarak gerekli çapraz dayanımları bulunur. Burada  $\rho$  katsayıları ile elde edilen kombinasyonlar kullanılarak gerekli dayanımlar bulunacaktır. H aksı doğrultusunda ve 3-4 aksları arasındaki çapraz için bilgisayardan okunan değer 261,45 kips.

$$\rho_y = 1,53$$

$$P_E = -159,07 \text{ kips, } (-707.5 \text{ kN})$$

$$P_D = -11,56 \text{ kips, } (-51.42 \text{ kN})$$

$$P_L = -3,67 \text{ kips, } (-16.33 \text{ kN})$$

LC9 Yük kombinasyonu için;

$$P_u = 1,41 \cdot (-11,56) + 0,5 \cdot (-3,67) + 1,53 \cdot (-159,07) = 261,45 \text{ kips, } (1163 \text{ kN})$$

Tasarım mukavemeti malzeme değişkenliği dikkate alınarak hesaplanır. Bu yapıda kullanılan çapraz malzemesinin özellikleri  $F_{ysc} = 42 \text{ ksi}$ ,  $\pm 4'$ lük toleranslarla yukarıda çekirdek alanları gösterildiği gibi kayma hükümleri ile uyması gereken minimumdur. BÖÇ tasarım dayanımı hesaplanırken  $F_{ysc}$  değişkenliği için müsaade edilen en düşük  $F_{ysc} = 38 \text{ ksi}$  alınarak hesaplanır. Düzeltilmiş BÖÇ dayanımı hesaplanırken ise müsaade edilen en büyük  $F_{ysc}$  değeri yani  $46 \text{ ksi}$  kullanılır.

$$\phi \cdot P_n = \phi \cdot P_{ysc} = \phi \cdot F_{ysc} \cdot A_{sc}$$

$$= 0,9 \cdot 38 \cdot 8 = 273,6 \text{ kips}$$

$$DCR = \frac{P_u}{\phi \cdot P_n} = \frac{261,45}{273,06} = 0,957 < 1,00 \quad \text{OK}$$

$$F_{ysc} = 42 \text{ ksi kullanılırsa; } DCR = 0,865 < 1,00 \quad \text{OK}$$

$$F_{ysc} = 46 \text{ ksi kullanılırsa; } DCR = 0,789 < 1,00 \quad \text{OK}$$

### 5.7.2. 2 $\Delta_{bm}$ 'nin Hesaplanması, Düzeltilmiş Çapraz Dayanımları ve Çapraz Akmaları

Bu bölümde aşağıdaki adımlar uygulanacaktır.

- En büyük elastik kat ötelenmeleri ( $\Delta_x$ ) üreten yük kombinasyonları için,  $P_{bx}$  aksel yükü bilgisayar programından elde edilir. Yük kombinasyonlarındaki  $\rho_x$  ve  $\rho_y$  katsayıları 1 olarak kullanıldığı için  $P_{bx}$  değeri  $P_u$  dan azdır.
- BÖÇ akma uzunluğu tahmin edilir. BÖÇ akma uzunluğu üretici ile birlikte değiştiği için yapı mühendisi BÖÇ akmasını hesaplamadan önce uzunluk tahminleri yapmalıdır. Çalışmanın son bölümünde akma uzunluğunun yapı üzerindeki etkileri araştırılacaktır.
- Bu örnek için dayanımın çapraz boyutlandırılmasından sonra olduğu varsayılır. Burada hesaplanan BÖÇ için akma uzunluğu çalışma noktasından çalışma noktasına  $L_{ysc} = 0,66.L_1$  yani toplam uzunluğun yaklaşık olarak 2/3 ü olarak belirlenir.

$$\Delta_{bx} = \frac{P_{bx} \cdot L_{ysc}}{E \cdot A_{sc}}$$

$$E = 29000 \text{ ksi}$$

$A_{sc}$  = Çelik çekirdek alanı

- Tasarım kat ötelenmesine karşı gelen BÖÇ aksel deformasyonunun ( $\Delta_{bm}$ ) hesabı aşağıdaki formüle göre yapılacaktır.

$$\Delta_{bm} = C_d \cdot \Delta_{bx}$$

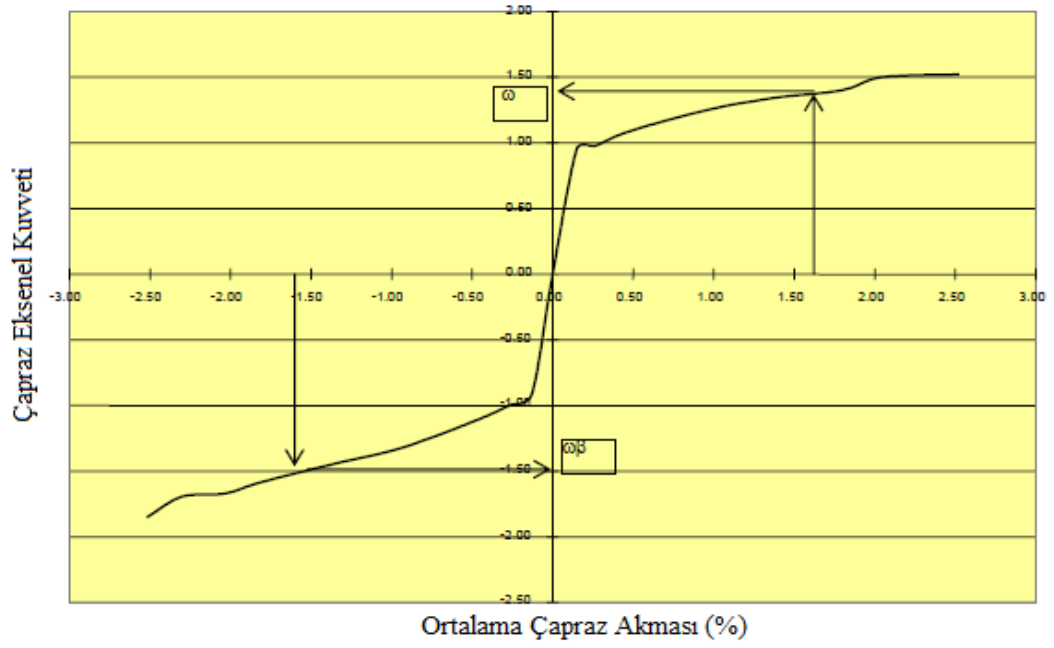
- Ortalama çapraz akmasının hesabı  $\epsilon_{BRC}$  aşağıdaki formüle göre yapılacaktır.

$$\epsilon_{BRC} = \frac{2\Delta_{bm}}{L_{ysc}}$$

- Çapraz akmalarını hesaplanır. Test sonuçlarından elde edilen omurga eğrisinden (backbone)  $\omega$  ve  $\omega\beta$  elde edilir. Bu hesaplama için backbone eğrisi Şekil 5.6'da gösterildiği gibidir.
- Düzeltilmiş çapraz dayanımları hesaplanır.  $T_{max}$  ve  $C_{max}$  bu örnek için  $F_{ysc} = 46$  ksi malzeme özellikleri için izin verilen üst sınırdan hesaplanmıştır.



- Pbx değerleri en büyük elastik kat ötelenmesi üreten LC13 yk kombinasyonuna göre bulunmuştur.



şekil 5. 5 Backbone Eğrisi

**Çizelge 5. 8 Y Yönü BÖÇ için Düzeltilmiş dayanım faktörü**

Kat	Asc (in <sup>2</sup> ) / (cm <sup>2</sup> )	Pbx (kips) / (kN)	Lysc (in) / (m)	Δbx (in) / (mm)	Δbm (in) / (mm)	2Δbm (in) / (mm)	ε <sub>BRC</sub> (%)	Düzeltilme Faktörleri		
								ω	ωβ	β
5	3 / 19.4	54,17 / 241.7	180,5/ 4.58	0,112/ 2.84	0,56/ 14.22	1,12/ 28.44	0,62	1,104	1,123	1,017
4	5 / 32.3	104,73/ 467	180,5/ 4.58	0,130/ 3.3	0,65/ 16.51	1,30/ 33.02	0,72	1,138	1,161	1,020
3	7 / 45.2	147,46/ 657	180,5/ 4.58	0,131/ 3.32	0,66/ 16.76	1,32/ 33.5	0,74	1,144	1,167	1,020
2	8 / 51.6	176,50/ 785.8	180,5/ 4.58	0,137/ 3.48	0,69/ 17.52	1,38/ 35	0,76	1,160	1,185	1,021
1	8 / 51.6	177,17/ 787.5	187,4/ 4.76	0,143/ 3.63	0,72/ 18.28	1,44/ 36.58	0,77	1,150	1,174	1,021

**Çizelge 5. 9 Y Yönü BÖÇ'lü Çerçeve için Düzeltilmiş BÖÇ Dayanımları**

Kat	Asc (in <sup>2</sup> ) / (cm <sup>2</sup> )	F <sub>y</sub> sc = 46 ksi		
		P <sub>y</sub> sc (kips) / (kN)	T <sub>max</sub> ω.P <sub>y</sub> sc (kips) / (kN)	C <sub>max</sub> ω.β.P <sub>y</sub> sc (kips) / (kN)
5	3 / 19.4	138 / 614	152,3 / 677	154,9 / 689
4	5 / 32.3	230 / 1023	261,74 / 1165	267,03 / 1188
3	7 / 45.2	322 / 1432	368,37 / 1639	375,77 / 1671
2	8 / 51.6	368 / 1637	426,88 / 1899	436,08 / 1940
1	8 / 51.6	368 / 1637	423,2 / 1882	432,03 / 1922

## 5.8. Kiriş Tasarımı

A aksı doğrultusunda bulunan 3 ve 4 aksları arasındaki birinci kattaki kirişin tasarımı gösterilecektir. Tasarım iki aşamalı olarak yapılacaktır.

Birinci aşamada tanımlanan yük kombinasyonları etkisinde oluşan taban kesme kuvveti ve kesit tesirleri sonucu gerekli olan kesme, eğilme ve eksenel dayanımlara karşı kiriş tasarım dayanımlarının kontrolü yapılacaktır.

İkinci aşamada ise  $2.0\Delta_{bm}$  yerdeğiştirmesi altında düzeltilmiş BÖÇ kuvvetleri etkisi altında kalan kirişlerin eksenel dayanımlarının kontrolü yapılır. Eğer nonliner dinamik analiz yapılacaksa yerdeğiştirme  $1.0\Delta_{bm}$  olarak alınır. Düzeltilmiş BÖÇ dayanımları  $T_{max}$  ve  $C_{max}$  Çizelge 5.9'da gösterilmiştir.  $T_{max}$  değerleri BÖÇ'ler için yönetici değerlerdir. Çünkü onlar kirişlerde basınca neden olur ki bu durum kirişte burkulmaya sebep olabilir.  $C_{max}$  değerleri ise kirişlerde yüksek çekme kuvvetleri üretirler.

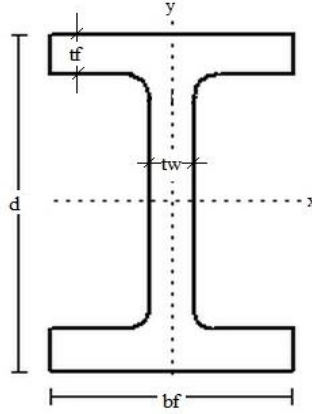
### 5.8.1. Taban Kesme Kuvveti Tesir Etmiş Durumdaki Dayanımlar İçin Tasarım Kontrolü

Gereken eğilme momentleri, normal ve kesme kuvvetleri bilgisayar modelinden çıkartılarak kiriş tasarım dayanımları elle hesaplanır.

LC13 yük kombinasyonu için gereken iç kuvvetler;

$P_u = 74.11 \text{ kip} = 330 \text{ kN}$  ;  $V_u = 19,14 \text{ kip} = 85 \text{ kN}$  ;  $M_u = 84,33 \text{ kip - ft}$  ;  $114.3 \text{ kN.m}$

Deneme Kesiti W18 X 50



Şekil 5. 6 W profili

$E = 29000 \text{ ksi}$  ;  $F_y = 50 \text{ ksi}$  ;  $\phi_b = 0.9$  ;  $L = 230 \text{ in}$  ;  $A_g = 14,7 \text{ in}^2$  ;  $r_x = 7,38$  ;  $r_y = 1,65$

$Z_x = 88,9 \text{ in}^3$  ;  $d = 17,99 \text{ in}$  ;  $t_f = 0,570 \text{ in}$  ;  $t_w = 0,355 \text{ in}$  ;  $b_f = 7,495 \text{ in}$

Aşağıdaki değerler LRFD üçüncü düzenleme "Tablo 5-3 Eğilme Elemanlarının Tasarımı" bölümünden alınmıştır.

$$L_p = 5,83 \text{ ft} ; L_r = 15,6 \text{ ft} ; \phi_b \cdot M_r = 267 \rightarrow M_r = \frac{267}{0.9} = 297 \text{ kip - ft}$$

Kontroller W profillerinin özelliklerine göre yapılmıştır.

**FEMA 450 Bölüm 8.6.3.6.1 Tablo I-8-1'deki Genişlik Kalınlık Oranlarına Uygunluk Kontrolleri**

$$\text{Başlık: } \lambda_{ps} = 0.3 \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad \lambda_{ps} = 7.22$$

$$\frac{b_f}{2t_f} = \frac{7.495}{2 \cdot (0.570)} = 6.57 \quad \frac{b_f}{2t_f} < \lambda_{ps} \quad \checkmark$$

$$\text{Gövde: } \frac{P_u}{\phi_b \cdot A_g \cdot F_y} = \frac{74.11}{0.9 \cdot 14.7 \cdot 50} = 0.11$$

$$\lambda_{ps} = 1.12 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \cdot \left( 2.33 - \frac{P_u}{\phi_b \cdot A_g \cdot F_y} \right) \rightarrow \lambda_{ps} = 59.93$$

$$\frac{h}{t_w} < \lambda_{ps} \quad \checkmark$$

$L_p$  = Üniform moment durumunda, tam plastik eğilme dayanımı için desteksiz yanal limit uzunluk ( $C_b > 1$ ; ft)

$L_r$  = İnelastik yanal burkulma için desteksiz yanal limit uzunluk.

### **Eksenel Basınc Kapasitesi (AISC LRFD Bölüm 16, Kısım E)**

$L$  = Kiriş uzunluğu 236 inç = 6 m

$l_x = L$        $l_y = L / 4$        $k = 1$       ( $k_y = 1,0$ ,  $k_x < 1,0$ ,  $k_y$  etkilidir)

$$\lambda_{c1} = \frac{k \cdot l_x}{\pi \cdot r_x} \cdot \sqrt{\frac{F_y}{E}}, \quad \lambda_{c1} = \frac{1 \cdot 230}{\pi \cdot 7.38} \cdot \sqrt{\frac{50}{29000}} = 0.41 \quad \lambda_{c1} = 0.41$$

$$\lambda_{c2} = \frac{k \cdot l_y}{\pi \cdot r_y} \cdot \sqrt{\frac{F_y}{E}}, \quad \lambda_{c2} = \frac{1 \cdot 57.5}{\pi \cdot 1.65} \cdot \sqrt{\frac{50}{29000}} = 0.46 \quad \lambda_{c2} = 0.46$$

$$\lambda_c = \max(\lambda_{c1} : \lambda_{c2}) \Rightarrow \lambda_c = 0.46$$

$$F_{cr} = 0.658^{\lambda_c^2} \cdot F_y \quad \lambda_c \leq 1.5 \quad (\text{E2-2})$$

$$F_{cr} = 0.658^{0.46^2} \cdot 50 \quad F_{cr} = 45.76$$

$$P_n = F_{cr} \cdot A_g \quad (\text{E2-1}) \quad \phi_c = 0.85 \quad (\text{E2-1})$$

$$14.7 \cdot 45.76 \cdot 0.85 = 571.77 \text{ kips}$$

$$\frac{P_u}{\phi_c \cdot P_n} = \frac{74.11}{571.77} = 0.13 \quad \checkmark$$

**Eğilme Kapasitesi (AISC LRFD Bölüm 16 Kısım F)**

$$L_b = \frac{19.6}{4} \rightarrow L_b = 4.9 \text{ feet} \quad L_p = 5.83 \text{ feet} \quad L_r = 15.6 \text{ feet}$$

$$M_p = F_y \cdot \frac{Z_x}{12} \quad (\text{F1-1}) \quad M_p = 50 \cdot \frac{88.9}{12} = 370.41 \text{ kip-feet}$$

$$M_n = M_p \quad L_b \leq L_p \quad (\text{F1-1})$$

$$\phi_b = M_n = 0.9 \cdot 370.41 = 333.37 \text{ kip-feet}$$

$$\frac{M_u}{\phi_b \cdot M_n} = 0.25$$

**Kesme Kapasitesi (AISC LRFD Bölüm 16 Kısım F)**

$$\phi_v = 0.9, \quad A_w = d \cdot t_w = 18 \cdot 0.355 = 6.39 \text{ in}^2$$

$$V_n = 0.6 \cdot F_y \cdot A_w \Rightarrow 0.6 \cdot 50 \cdot 6.39 = 191.7$$

$$\frac{h}{t_w} \leq 2.45 \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad \frac{18}{0.355} \leq 59 \Rightarrow 50.7 \leq 59$$

$$\phi_v \cdot V_n = 172.53 \text{ kips}$$

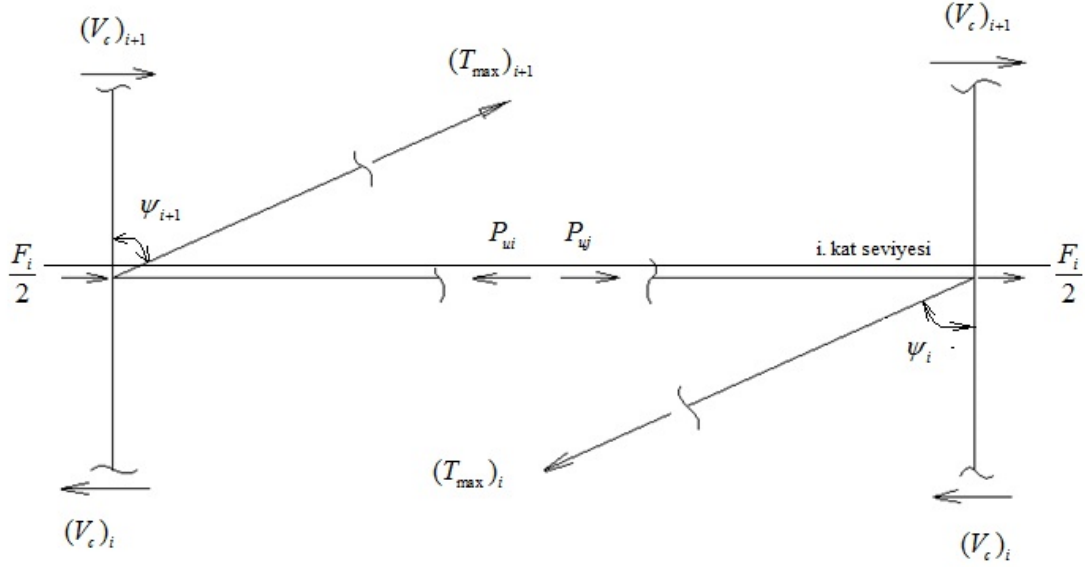
$$\frac{V_u}{\phi_v \cdot V_n} = 0.11$$

**Eğilme - Eksenel Kuvvet Etkileşimi (AISC LRFD Bölüm 16 Kısım H)**

$$R = \frac{P_u}{\phi_c \cdot P_n} + \frac{M_u}{\phi_b \cdot M_n}, \quad \frac{P_u}{\phi_c \cdot P_n} > 0.2 \quad (\text{H1-1b})$$

Kapasite Talebi: 0,38 W18 X 50 Kesitini sağlıyor.

### 5.8.2. 2.0 $\Delta_{bm}$ Deformasyonları Etkisinde Gerekli Eksenel Dayanım İçin Tasarım Kontrolü



Şekil 5. 7 Birinci Kat Kirişinin Gerekli Eksenel Dayanımı

Bu hesap modeli yalnızca elastik analiz için uygundur. Çerçeve kirişlerinde eksenel kuvvet hesaplanması için belirli varsayımlar yapılmalıdır. Bu varsayımlar daha fazla güvenli tarafta kalıcı sonuçlar üretirler.

- Kolonlardaki kesmelerin sıfır olduğu varsayılır.  $(V_c)_{i+1} = (V_c)_i = 0$
- $F_i$  kontrol altındaki mekanizmalara karşılık gelen kat toplayıcı kuvvetlerin toplamıdır. Toplayıcı kuvvetlerin çerçevenin her iki ucunda da eşit olduğu kabul edilmektedir.

Bu yapılan hesaplara bir alternatif olarak nonlineer analiz yapılarak elemanlardaki gerçek talepler ortaya çıkarılabilir.

$$F_i = T_{\max i} \cdot \sin(\psi_i) - T_{\max i+1} \cdot \sin(\psi_{i+1})$$

$$P_{ui} = T_{\max i+1} \cdot \sin(\psi_{i+1}) + \frac{F_i}{2}$$

$$P_u = P_{ui}$$

Bu örnekte birinci kat için Çizelge 5.9'dan aşağıdaki değerler alınır.

$$T_{\max i+1} = 426.88 \text{ kips} = 1899 \text{ kN} \quad \psi_{i+1} = 63.43'$$

$$T_{\max i} = 423,2 \text{ kips} = 1822 \text{ kN} \quad \psi_i = 56.30'$$

$$P_u = P_{ui} = 392,54 \text{ kip} = 1749 \text{ kN}$$

Mu ve Vu düşey yük faktörleri nedeniyle bilgisayar modelinden elde edilir. 1.4D+0.5D

$$Mu = 84,33 \text{ kip-ft} ; Vu = 19.14 \text{ kips} ; Pu = 392.54 \text{ kip}$$

Deneme Kesiti W18 X 50

$$E = 29000 \text{ ksi} ; F_y = 50 \text{ ksi} ; \phi_b = 0.9 ; L = 230 \text{ in} ; A_g = 14,7 \text{ in}^2 ; r_x = 7,38 ; r_y = 1,65$$

$$Z_x = 88,9 \text{ in}^3 ; d = 17,99 \text{ in} ; t_f = 0,570 \text{ in} ; t_w = 0,355 \text{ in} ; b_f = 7,495 \text{ in}$$

Aşağıdaki değerler LRFD üçüncü düzenleme "Tablo 5-3 Eğilme Elemanlarının Tasarımı" bölümünden alınmıştır.

$$L_p = 5,83 \text{ ft} ; L_r = 15,6 \text{ ft} ; \phi_b \cdot M_r = 267 \rightarrow M_r = \frac{267}{0.9} = 297 \text{ kip - ft}$$

Bu gövdenin kompaktlığı daha yüksek deformasyon seviyelerinde ele alınmalıdır.  $P_u$   $2\Delta_{bm}$  deformasyon seviyelerine karşılık gelen olarak alınmalıdır ( yükseltilmiş deprem yüklerinin BÖÇ'lü çerçeve eşdeğeri). Bu yaklaşım çerçeve kirişlerinin izin verilen eğilme akmasını tavsiye edilmiş hükümlerde karşılamak için seçilir. Ama bu durum yüksek aksel kuvvetler altındaki basınç kararsızlığını engellemeye yeterli olmayabilir. Çevrimsel stabilite için daha özel kriterler geliştirilmiştir. Gerekirse aşağıdaki denklem revize edilmelidir.



$$\text{Gövde: } \frac{P_u}{\phi_b \cdot A_g \cdot F_y} = 0.593$$

$$\lambda_{ps} = 1.12 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \cdot \left( 2.33 - \frac{P_u}{\phi_b \cdot A_g \cdot F_y} \right) \rightarrow \lambda_{ps} = 52,32$$

$$\frac{h}{t_w} = 50.7 \quad \frac{h}{t_w} < \lambda_{ps} \quad \checkmark$$

### **Eksenel Basınc Kapasitesi (AISC LRFD Bölüm 16 kısım E)**

$$\phi_c \cdot P_n = 571,77 \text{ kips}$$

$$\frac{P_u}{\phi_c \cdot P_n} = \frac{392.54}{571.77} = 0.68 \quad \checkmark$$

### **Eğilme Kapasitesi (AISC LRFD Bölüm 16 Kısım F)**

Kiriş çeyrek noktalarda yanal desteğe sahip;

$$\phi_b \cdot M_n = 0.9 \cdot 370.41 = 333.37 \text{ kips}$$

$$\frac{M_u}{\phi_b \cdot M_n} = \frac{84.338}{333.37} = 0.253 \quad \checkmark$$

### **Kesme Kapasitesi (AISC LRFD Bölüm 16 Kısım F)**

$$\phi_v \cdot V_n = 172.53 \text{ kips}$$

$$\frac{V_u}{\phi_v \cdot V_n} = \frac{19.14}{172.53} = 0.11 \quad \checkmark$$

### **Eğilme - Eksenel Kuvvet Etkileşimi (AISC LRFD Bölüm 16 Kısım H)**

$$R = \frac{P_u}{\phi_c \cdot P_n} + \frac{8}{9} \cdot \left( \frac{M_u}{\phi_b \cdot M_n} \right) \quad R = 0,9 \leq 1$$

$$R = 0,9 \leq 1 \quad \checkmark \quad \text{W18x50 uygun}$$

### 5.9. Kolon Tasarımı

Bu bölüm 1. kattaki A3 kolonunun tasarımını gösterecektir. Bu tasarım 2 aşamada yapılacaktır. Birinci aşamada LC1 den LC16 ya kadar taban kesme kuvveti ile ilişkilendirilmiş gerekli aksel, eğilme ve kesme dayanımlarına karşı kolon tasarım mukavemetinin kontrolü yapılacaktır. İkinci aşamada ise  $2\Delta_{bm}$ 'de düzeltilmiş BÖÇ kuvvetleri etki ettirilmiş kolonun aksel kuvvetlere karşı dayanımı kontrol edilecektir.

FEMA 450 bölüm 8.6.3.5.3'te kolonlar tüm bağlanmış BÖÇ'lerin düzeltilmiş dayanımlarından belirlenen aksel yüklere karşı tasarlanması gerektiğini bildirir. BÖÇ'lü çerçevedeki bir kolonun gerekli aksel dayanımı tüm bağlanmış BÖÇ'lerin düzeltilmiş akma kapasitesinin düşey bileşenlerinin toplamıdır. Kapasite tasarım gereklilikleri eksantrik çaprazlı çerçevelerdeki kolonlardan birine eşdeğerdir ve yapının birinci modunun varsayımına dayanır. Daha yüksek mod derecelerinin bir binanın sismik tepkisine katılması için BÖÇ'lü çerçeve kolonlarındaki talepler FEMA 450 de belirtilenlerden daha düşük olması beklenebilir. Bu nedenle BÖÇ'lü çerçeve kolonlarının kapasite tasarımı için gerekenler daha düşük yapılar için uygun olabilir. Ama yüksek olan binaların güvenli tarafta kalması için daha yüksek modlardan daha çok katılıma sahip olması gerekir.

Eksel tasarım mukavemetlerini gerekli aksel mukavemetlere karşılık kontrol edilir. Gerekli aksel mukavemetler FEMA 450 bölüm 8.6.3.5.3' te  $2\Delta_{bm}$  de ayarlanan BÖÇ düzeltilmiş dayanımları, kolonların tüm bağlanan BÖÇ'lerin düzeltilmiş dayanımlarından belirlenen aksel kuvvetleri taşıyacak şekilde tasarlanması gerektiğini belirtir. Bunun anlamı şudur bir BÖÇ'lü çerçevede gerekli aksel dayanım BÖÇ'lerin düzeltilmiş çapraz dayanımlarının düşey bileşenlerinin toplamından oluşur. Bu kapasite tasarım şartı eksantrik kuşaklanmış çerçevenin kolonlarına eşittir ve yapının ilk respons mod kabulüne dayandırılır. Daha yüksek dereceden modların katıldığı sismik responslu binalarda BÖÇ'lü çerçeve kolonlarındaki gereksinimin FEMA 450 de belirtilenlerden daha düşük olduğu beklenebilir. Bundan dolayı BÖÇ'lü çerçeve kolonlarının kapasite tasarımı için şart az katlı binalar için uygun olabilir. Fakat daha fazla modun katılımının gerçekleştiği çok katlı binalar için konservatif (çok emniyetli tarafta) olabilir. Yüksek

binalarda belirli kolonlar için büyük kolon seçimine (over design) neden olur. Gerekli kolon boyutunu tahmin eden kabul edilmiş bir hesap henüz oluşturulmamıştır ve bu elemanlar için geçici bir kapasite tasarım prosedürü gereklidir.

Düzeltilmiş BÖÇ dayanımları  $T_{max}$  ve  $C_{max}$ 'lar Çizelge 5.9'da gösterilmiştir.  $T_{max}$  kuvvetleri BÖÇ için yönetici kuvvetlerdir. Çünkü birinci kat A/2 kolonunda basınca neden olurlar.  $C_{max}$  ise kolonlarda çekmeye neden olur. Kolonlarda burkulma gözönüne alınarak tasarım yapıldığı için  $T_{max}$  kuvvetleri önemli olmaktadır.

### **5.9.1. Sismik Taban Kesme Kuvveti Altında Gerekli Dayanımlar İçin Tasarım Kontrolü**

Gerekli eğilme, eksenel ve kesme dayanımları ilk olarak bilgisayar modelinden elde edilir ve daha sonra kolon tasarım dayanımları elle hesaplanır.

3 aksı ve A aksının kesiştiği kolon için;

LC16 kombinasyonundan maksimum eksenel kuvvet;

$$P_u = 647,76 \text{ kip} = 2881 \text{ kN}, V_u = 14.60 \text{ kip} = 64.94 \text{ kN}, M_u = 91.80 \text{ kip-ft} = 117 \text{ kN.m}$$

Deneme Kesiti: Kolon Boyutları W12X96

$E=29000 \text{ ksi}$ ;  $F_y= 50 \text{ ksi}$ ;  $\phi_b=0,9$ ;  $L=118,11 \text{ in} = 984 \text{ ft}$  ;  $A_g= 28,2 \text{ in}^2$  ;  $r_x= 5.44 \text{ in}$  ;  
 $r_y= 3.09 \text{ in}$  ;  $Z_x = 131 \text{ in}^3$  ;  $Z_y= 44.4 \text{ in}^3$  ;  $d= 12.71 \text{ in}$  ;  $t_w= 0.55 \text{ in}$  ;  $t_f= 0.9 \text{ in}$  ;  $b_f= 12.16 \text{ in}$

Aşağıdaki değerler LRFD 3. düzenleme Tablo 5-3'den alınmıştır.

$$L_p= 10.9 \text{ ft} ; L_r= 41.3 \text{ ft} ; M_r= 436.7 \text{ kip-ft}$$

**FEMA 450 Bölüm 8.6.3.5.1 Tablo I-8-1' daki Genişlik Kalınlık Oranlarına**

**Uygunluk Kontrolleri**

$$\text{Başlık: } \lambda_{ps} = 0.3 \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad \lambda_{ps} = 7.22 \quad \frac{b_f}{2t_f} = \frac{12.16}{2 \cdot (0.9)} = 6.76 \quad \frac{b_f}{2t_f} < \lambda_{ps} \quad \checkmark$$

$$\text{Gövde: } \frac{P_u}{\phi_b \cdot A_g \cdot F_y} = \frac{647.76}{0.9 \cdot 28.2 \cdot 50} = 0.51$$

$$\lambda_{ps} = 1.12 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \cdot \left( 2.33 - \frac{P_u}{\phi_b \cdot A_g \cdot F_y} \right) \rightarrow \lambda_{ps} = 49.09$$

$$\frac{h}{t_w} < \lambda_{ps} \quad \checkmark$$

**Eksenel Basınc Kapasitesi (AISC, LRFD Bölüm 16, Kısım E)**

$$L = 157.48 \text{ inç} = 4 \text{ m}$$

$$l_x = L \quad l_y = L \quad k = 1 \quad (k_y = 1.0, k_x < 1.0, k_y \text{ etkilidir})$$

$$\lambda_{c1} = \frac{k \cdot l_x}{\pi \cdot r_x} \cdot \sqrt{\frac{F_y}{E}}, \quad \lambda_{c1} = \frac{1 \cdot 157.48}{\pi \cdot 5.44} \cdot \sqrt{\frac{50}{29000}} = 0.37 \quad \lambda_{c1} = 0.37$$

$$\lambda_{c2} = \frac{k \cdot l_y}{\pi \cdot r_y} \cdot \sqrt{\frac{F_y}{E}}, \quad \lambda_{c2} = \frac{1 \cdot 157.48}{\pi \cdot 3.09} \cdot \sqrt{\frac{50}{29000}} = 0.671 \quad \lambda_{c2} = 0.671$$

$$\lambda_c = \max(\lambda_{c1} : \lambda_{c2}) \Rightarrow \lambda_c = 0.671$$

$$F_{cr} = 0.658^{\lambda_c^2} \cdot F_y \quad \lambda_c \leq 1.5 \quad (\text{E2-2})$$

$$F_{cr} = 0.658^{0.671^2} \cdot 50 \quad F_{cr} = 41.41$$

$$P_n = F_{cr} \cdot A_g \quad (\text{E2-1}) \quad \phi_c = 0.85 \quad (\text{E2-1})$$

$$\phi_c \cdot P_n = 992.6 \text{ kips}$$

$$\frac{P_u}{\phi_c \cdot P_n} = \frac{647.76}{992.6} = 0.651 \quad \checkmark$$

### **Eğilme Kapasitesi (AISC LRFD Bölüm 16 Kısım F)**

$L_b = L \rightarrow L_b = 157.48 \text{ in} = 13.12 \text{ feet} = 4 \text{ m}$   $L_p = 10.9 \text{ feet}$   $L_b > L_p$  ise yanal burulmalı burkulma kontrolü.  $L_b \leq L_p$

$C_b = 2.26$  (Dikkate alınan yük kombinasyonu için programdan elde edildi.)

$$M_n = M_p \leq 1.5M_y \text{ AISC Eq. (F1-1)}$$

$$M_p = F_y \cdot \frac{Z_x}{12} \text{ (F1-1)} \quad M_p = M_n = 50 \cdot \frac{131}{12} = 545.83 \text{ kip-feet}$$

$$M_{n1} = C_b \left[ M_p - (M_p - M_r) \cdot \left( \frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \quad L_p \leq L_b \leq L_r \text{ (F1-2)}$$

$$M_{n1} = 1213.6 \text{ kip-feet}$$

$$M_n = \min(M_p, M_{n1})$$

$$\phi_b \cdot M_n = 0.9 \cdot 545.83 = 491 \text{ kip-feet}$$

$$\frac{M_u}{\phi_b \cdot M_n} = 0.19$$

### **Kesme Kapasitesi (AISC LRFD Bölüm 16 Kısım F)**

$$\phi_v = 0.9 \quad A_w = d \cdot t_w = 12.71 \cdot 0.55 = 6.99 \text{ in}^2 \text{ (F.2.1)}$$

$$V_n = 0.6 \cdot F_y \cdot A_w \Rightarrow 0.6 \cdot 50 \cdot 6.99 = 209.07$$

$$\frac{h}{t_w} \leq 2.45 \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}} \text{ (F2-1)} \quad \frac{12.71}{0.55} \leq 59 \Rightarrow 23.1 \leq 59$$

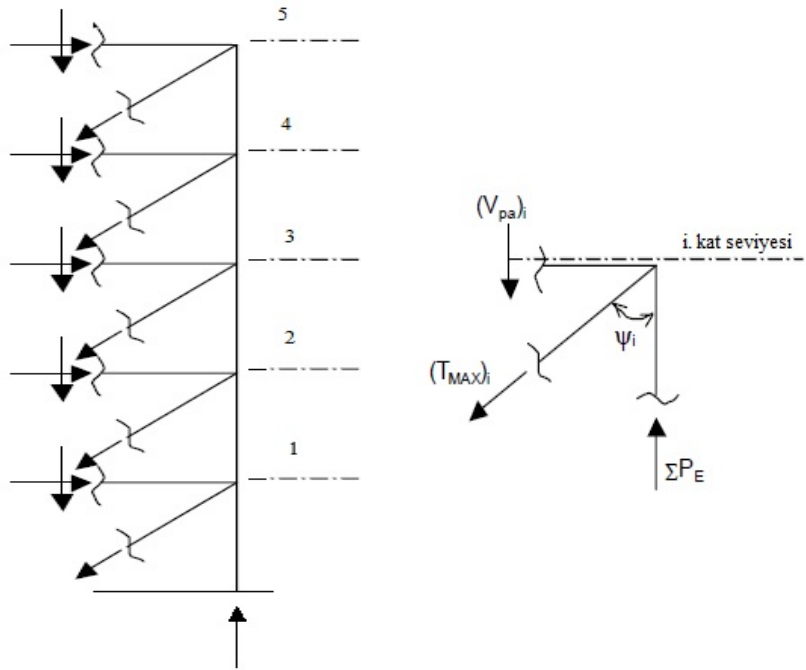
$$\phi_v \cdot V_n = 188.73 \text{ kips} \quad \frac{V_u}{\phi_v \cdot V_n} = \frac{14.6}{188.73} = 0.07$$

### Eğilme - Eksenel Etkileşimi (AISC LRFD Bölüm 16, Kısım H)

$$R = \frac{P_u}{\phi_c \cdot P_n} + \frac{8}{9} \cdot \frac{M_u}{\phi_b \cdot M_n} \quad \frac{P_u}{\phi_c \cdot P_n} > 0.2 \quad (H1-1b)$$

Kapasite Talebi: 0,81 W12 X 96 Kesitini sağlıyor.

### 5.9.2. 2.0 $\Delta_{bm}$ Deformasyonları Etkisinde Gerekli Eksenel Dayanım İçin Tasarım Kontrolü



Şekil 5. 8 Tekil Diyagonal BÖÇ'lü Çerçeve Kolonlarındaki Eksenel Basınç Talebi

Gerekli eksenel dayanım FEMA 450 Bölüm 8.6.3.5.3 de tanımlanmıştır. Gerekli eksenel dayanım hesabı Şekil 5.8 ve Çizelge 5.10'da gösterilmiştir. Çizelge 5.10'daki hesaplamada aşağıdakiler kullanıldı.

- Bütün seviyelerdeki kiriş boyutları W18x50  $M_p=371$  kip-ft;  $P_y= 735$  kips (3270 kN)

- $M_{pa} = 1.18 \cdot \left(1 - \frac{P_u}{P_y}\right) \cdot M_p ; \frac{P_u}{P_y} > 0.15$
- $R_y = 1.1$  ASTM A992 için (Sismik Hükümler Tablo I-6-1)
- $L =$  Kiriş açıklığı = 20 ft = 6 m
- $L' =$  Merkez doğru mesafesi- kolon derinliği-2\*guse plakası yatay uzunluğu = 15 ft
- $V_{pa} = \frac{2R_y M_{pa}}{L'}$
- $P_E = V_{pa} + T_{max} \cdot \cos \psi$
- Gerekli basınç dayanımı  $P_u = 1.41 \cdot \Sigma P_D + 0.5 \cdot \Sigma P_L + \Sigma P_E$

**Çizelge 5. 10** 2Δbm de Gerekli Kolon Eksenel Dayanım Tablo

Kolon üst seviyesi	Kiriş			BÖÇ Tmax*cos (kip)/ (kN)	Kolon $\Sigma P_E$ (kip)/ (kN)	Modelden Çıkarılanlar		Kolon Pu (kip)/ (kN)
	Pu (kip)/ (kN)	Mpa (kip.ft)	Vpa (kip) (kN)			$\Sigma P_D$ (kip)/ (kN)	$\Sigma P_L$ (kip)/ (kN)	
5	65.48/ 291	371	54.4/ 245	76.6/ 342.5	131/ 583	8.75/ 40	2.06/ 9	142/ 632
4	178/ 791	332	48.7/ 218	132/ 587	312/ 1388	26.58/ 120	7.34/ 33	346/ 1539
3	271/ 1205	276	40.5/ 180	185.9/ 827	538.1/ 2398	44.87/ 200	12.78/ 57	596/ 2651
2	343/ 1526	233	34.2/ 152.13	215.37/ 961	787.67/ 3505	63.27/ 280	18.25/ 81.2	870/ 3870
1	392.54/ 1748	204	30/ 133.5	213.5/ 952	1032/ 4590	81.41/ 365	23.61/ 105	1137/ 5057

Önce bölüm 5.8.2'da hesaplanan kiriş için aksenal kuvvet olan  $P_u$  değeri alınır.

$$P_{u1} = 392.54 \text{ kip}$$

$$P_2 \rightarrow T_{\max i} = 426.88 ; \sin \psi = 0,86 ; \psi_i = 59,7'$$

$$T_2 = 426,88$$

$$T_3 = 368.37$$

$$F_i = T_{\max i} \cdot \sin(\psi_i) - T_{\max i+1} \cdot \sin(\psi_{i+1})$$

$$P_{ui} = T_{\max i+1} \cdot \sin(\psi_{i+1}) + \frac{F_i}{2}$$

$$F_2 = 426.88 \cdot \sin 59.7 - 368.37 \cdot \sin 59.7 = 50.51$$

$$P_{u2} = 343.30$$

$$P_3 \rightarrow T_3 = 368.37 ; T_4 = 261.74 ; \sin \psi = 0,86' ; \psi_i = 59,7'$$

$$F_i = T_{\max i} \cdot \sin(\psi_i) - T_{\max i+1} \cdot \sin(\psi_{i+1})$$

$$P_{ui} = T_{\max i+1} \cdot \sin(\psi_{i+1}) + \frac{F_i}{2}$$

$$F_3 = 368.37 \cdot \sin 59.7 - 261.74 \cdot \sin 59.7 = 91.70$$

$$P_{u3} = 270.94$$

$$P_4 \rightarrow T_4 = 261.74 ; T_5 = 152.3 ; \sin \psi = 0,86 ; \psi_i = 59,7'$$

$$F_i = T_{\max i} \cdot \sin(\psi_i) - T_{\max i+1} \cdot \sin(\psi_{i+1})$$

$$P_{ui} = T_{\max i+1} \cdot \sin(\psi_{i+1}) + \frac{F_i}{2}$$

$$F_4 = 261.74 \cdot \sin 59.7 - 152.3 \cdot \sin 59.7 = 94.11$$

$$P_{u4} = 178$$

$$P_5 \rightarrow T_5 = 152.3 ; T_6 = 152.3 ; \psi_5 = 59,7' ; \psi_6 = 0$$

$$F_i = T_{\max i} \cdot \sin(\psi_i) - T_{\max i+1} \cdot \sin(\psi_{i+1})$$



$$P_{ui} = T_{\max i+1} \cdot \sin(\psi_{i+1}) + \frac{F_i}{2}$$

$$F_5 = 130.97$$

$$P_{u5} = 65.48$$

$P_u = 1137$  kip; Tablodan

Deneme kesiti kolon boyutları: W12x96

$E = 29000$  ksi ;  $F_y = 50$  ksi ;  $\phi_b = 0.9$  ;  $L = 118.11$  ;  $A_g = 28.2$  in<sup>2</sup> ;  $r_x = 5.44$  in ;  $r_y = 3.09$  in ;  $d = 3.09$  in ;  $d_f = 12.71$  in ;  $t_w = 0.55$  in ;  $t_f = 0.9$  in ;  $b_f = 12.6$  in

#### **FEMA 450 Bölüm 8.6.3.5.1 'e uygun Genişlik Kalınlık Oranları**

$$\text{Başlık: } \frac{P_u}{\phi_b \cdot A_g \cdot F_y} = \frac{1137}{0.9 \cdot 28.2 \cdot 50} = 0.89$$

$$\lambda_{ps} = 1.12 \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}} \cdot \left( 2.33 - \frac{P_u}{\phi_b \cdot F_y \cdot A_g} \right) = 38.84$$

$$\frac{h}{t_w} = 23.1$$

$$\frac{h}{t_w} < \lambda_{ps} \text{ OK}$$

#### **Eksenel Basınc Kapasitesi ( AISC LRFD Bölüm 16 Kısım F)**

$\phi_c \cdot P_n = 966$  kips Maksimum yük olan  $P_u$  dan az olduğu için kesit arttırmamız gerekir.

W12x170 seçilirse,  $\phi_c \cdot P_n = 1740$  (AISC- LRFD Tablo 4-2)

$$\frac{P_u}{\phi_c \cdot P_n} = \frac{1137}{1740} = 0.65 \text{ Bu kesit üstteki koşulları da sağlayacaktır.}$$

### **Eksenel Basıncı Stabilitesi (AISC-LRFD Bölüm 16 Kısım C)**

$$\phi_c = 0.85; A_g = 50 \text{ in}^2; F_y = 50$$

$$\frac{P_u}{0.85 \cdot \phi_c \cdot A_g \cdot F_y} = \frac{1137}{0.85 \cdot 0.85 \cdot 50 \cdot 50} = 0.63 < 1 \quad \checkmark$$

### **5.10. Ters V Çaprazların Tasarımı**

#### **5.10.1. Çapraz Talepleri ve Çapraz Kapasiteleri**

1 aksı doğrultusunda ve D-E aksları arasındaki birinci kattaki BÖÇ'ün tasarımı gösterilecektir. ETABs programı kullanılarak gerekli çapraz dayanımları bulunur. Burada  $\rho$  katsayıları ile elde edilen kombinasyonlar kullanılarak gerekli dayanımlar bulunacaktır. 1 aksı doğrultusunda ve D-E aksları arasındaki çapraz için bilgisayardan okunan değer 100 kips = 445 kN

$$\rho_x = 1,08$$

$$P_E = -86.26 \text{ kips}$$

$$P_D = -2.77 \text{ kips}$$

$$P_L = -0.20 \text{ kips}$$

LC5 Yük kombinasyonu için;

$$P_u = 1,41 \cdot (-2.77) + 0,5 \cdot (-0,20) + 1,08 \cdot (-86.26) = 100 \text{ kips}$$

$$\phi \cdot P_n = \phi \cdot P_{ysc} = \phi \cdot F_{ysc} \cdot A_{sc}$$

$$= 0,9 \cdot 38 \cdot 3,5 = 119,7 \text{ kips} = 532,45 \text{ kN}$$

$$DCR = \frac{P_u}{\phi \cdot P_n} = \frac{100}{119,7} = 0,835 < 1,00$$

$$F_{ysc} = 42 \text{ ksi kullanılırsa; DCR} = 0,75 < 1,00$$

$$F_{ysc} = 46 \text{ ksi kullanılırsa; DCR} = 0,69 < 1,00$$

### 5.10.2. 2.0 $\Delta_{bm}$ ' nin Hesaplanması, Düzeltilmiş Çapraz Dayanımları ve Çapraz Akmaları

Bu bölümde aşağıdaki adımlar uygulanacaktır.

- En büyük elastik kat ötelenmeleri ( $\Delta_x$ ) üreten yük kombinasyonları için,  $P_{bx}$  aksenal yükü bilgisayar programından elde edilir. Yük kombinasyonlarındaki  $\rho_x$  ve  $\rho_y$  katsayıları 1 olarak kullanıldığı için  $P_{bx}$  değeri  $P_u$  dan azdır.
- BÖÇ akma uzunluğu tahmin edilir. BÖÇ akma uzunluğu üretici ile birlikte değiştiği için yapı mühendisi BÖÇ akmasını hesaplamadan önce uzunluk tahminleri yapmalıdır.
- Bu örnek için dayanımın çapraz boyutlandırılmasından sonra olduğu varsayılır. Burada hesaplanan BÖÇ için akma uzunluğu çalışma noktasından çalışma noktasına  $L_{ysc}=0,66.L_1$  yani toplam uzunluğun yaklaşık olarak 2/3'ü olarak belirlenir. Çalışmanın son bölümünde akma uzunluğu seçiminin yapı üzerindeki etkileri araştırılacaktır.
- $P_{bx}$  değerleri en büyük elastik kat ötelenmesi üreten LC5 yük kombinasyonuna göre bulunmuştur.

**Çizelge 5. 11 X Yönü BÖÇ İçin Düzeltilmiş Dayanım Faktörü**

Kat	Asc (in <sup>2</sup> ) / (cm <sup>2</sup> )	Pbx (kips) / (kN)	Lysc (in) / (m)	Δbx (in) / (mm)	Δbm (in) / (mm)	2Δbm (in) / (mm)	ε <sub>BRC</sub> (%)	Düzeltilme Faktörleri		
								ω	ωβ	β
5	1 / 6.45	27,97 / 124	138/ 3.5	0,133/ 3.37	0,665/ 16.9	1,33/ 33.8	0,96	1,25	1,33	1,064
4	1,5 / 9.7	54.50/ 242	138/ 3.5	0,173/ 4.4	0,865/ 22	1,73/ 44	1.25	1,3	1,43	1,10
3	2 / 12.9	76.2/ 339	138/ 3.5	0,181/ 4.6	0,905/ 23	1,81/ 46	1.31	1,31	1,46	1,11
2	2.5 / 16.3	91.65/ 407	138/ 3.5	0,174/ 4.42	0,87/ 22.1	1,74/ 44.2	1.26	1,29	1,44	1,12
1	3.5 / 22.6	92.11/ 410	147/ 3.73	0,133/ 3.37	0,665/ 16.9	1,33/ 33.8	0.904	1,22	1,27	1,04

**Çizelge 5. 12 X Yönü BÖÇ' lü Çerçeve İçin Düzeltilmiş BÖÇ Dayanımları**

Kat	Asc (in <sup>2</sup> )/ (cm <sup>2</sup> )	Fysc = 46 ksi		
		Pysc (kips)/(kN)	Tmax ω.Pysc (kips)/ (kN)	Cmax ω.β.Pysc (kips)/ (kN)
5	1 /6.45	46/ 205	56.58/ 252	58/ 258
4	1.5/ 9.7	69/ 307	88.32/ 393	90.39/ 402
3	2/ 12.9	92/ 409	122.36/ 544	125.12/ 557
2	2.5/ 16.3	115/ 512	150.65/ 670	154.1/ 685
1	3.5/ 22.6	161/ 717	189.98/ 845	195/ 867

## 5.11. Kiriş Tasarımı

Bu bölüm 1. kat 1-1 aksı doğrultusunda ve D-E aksları arasında kalan kiriş ve kolonların tasarımını gösterecektir. Ters V çaprazlı kirişlerin tasarım esasları daha önce AISC ve FEMA 450 ye göre açıklanmıştı.

### 5.11.1. Taban Kesme Kuvveti Tesir Etmiş Durumdaki Dayanımlar İçin Tasarım

$$\lambda_{ps} = 1.12 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \cdot \left( 2.33 - \frac{P_u}{\phi_b \cdot A_g \cdot F_y} \right) \rightarrow \lambda_{ps} = 62.57$$

$$\frac{h}{t_w} < \lambda_{ps} \quad \checkmark$$

$L_p$ = Üniorm moment durumunda, tam plastik eğilme dayanımı için desteksiz yanal limit uzunluk ( $C_b > 1$ ; ft)

$L_r$ = İnelastik yanal burkulma için desteksiz yanal limit uzunluk.

### Eksenel Basınç Kapasitesi (AISC LRFD Bölüm 16, Kısım E)

$$l_x = L = 315 \text{ in} = 8 \text{ m} ; l_y = L / 4 = 78.75 \text{ in} = 2 \text{ m}$$

$$k = 1 \quad (k_y = 1,0 , k_x < 1,0, k_y \text{ etkilidir} )$$

$$\lambda_{c1} = \frac{k \cdot l_x}{\pi \cdot r_x} \cdot \sqrt{\frac{F_y}{E}} , \quad \lambda_{c1} = \frac{1 \cdot 315}{\pi \cdot 7.38} \cdot \sqrt{\frac{50}{29000}} = 0.56 \quad \lambda_{c1} = 0.56$$

$$\lambda_{c2} = \frac{k \cdot l_y}{\pi \cdot r_y} \cdot \sqrt{\frac{F_y}{E}} , \quad \lambda_{c2} = \frac{1 \cdot 78.75}{\pi \cdot 1.65} \cdot \sqrt{\frac{50}{29000}} = 0.63 \quad \lambda_{c2} = 0.63$$

$$\lambda_c = \max(\lambda_{c1} : \lambda_{c2}) \Rightarrow \lambda_c = 0.63$$

$$F_{cr} = 0.658^{\lambda_c^2} \cdot F_y \quad \lambda_c \leq 1.5 \text{ (E2-2)}$$

$$F_{cr} = 0.658^{0.63^2} \cdot 50 \quad F_{cr} = 42.34 \text{ ksi} = 0.2915 \text{ kN/mm}^2$$

$$P_n = F_{cr} \cdot A_g \quad (\text{E2-1}) \quad \phi_c = 0.85 \quad (\text{E2-1})$$

$$14.7 \cdot 42.34 \cdot 0.85 = 529 \text{ kips} = 2353 \text{ kN}$$

$$\frac{P_u}{\phi_c \cdot P_n} = \frac{8.64}{529} = 0.016 \quad \checkmark$$

### **Eğilme Kapasitesi (AISC LRFD Bölüm 16 Kısım F)**

$$L_b = \frac{26.3}{4} \rightarrow L_b = 6.5 \text{ feet} \quad L_p = 5.83 \text{ feet} \quad L_r = 15.6 \text{ feet}$$

$$M_p = F_y \cdot \frac{Z_x}{12} \quad (\text{F1-1}) \quad M_p = 50 \cdot \frac{88.9}{12} = 370.41 \text{ kip-feet}$$

$C_b$  = Bilgisayar programından 1.33 olarak seçildi.

$$M_{n1} = C_b \cdot \left[ M_p - (M_p - M_r) \cdot \left( \frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] = 485.9 \text{ kip-feet} \quad L_p \leq L_b \leq L_r \quad (\text{F1-2})$$

$$M_n = \min(M_p, M_{n1}) = 370.41$$

$$\frac{M_u}{\phi_b \cdot M_n} = 0.035 \quad \checkmark$$

### **Kesme Kapasitesi (AISC LRFD Bölüm 16 Kısım F)**

$$\phi_v = 0.9 \quad A_w = 18 \cdot 0.355 = 6.39 \text{ in}^2$$

$$V_n = 0.6 \cdot F_y \cdot A_w \Rightarrow 0.6 \cdot 50 \cdot 6.39 = 191.7$$

$$\frac{h}{t_w} \leq 2.45 \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad \frac{18}{0.355} \leq 59 \Rightarrow 50.7 \leq 59$$

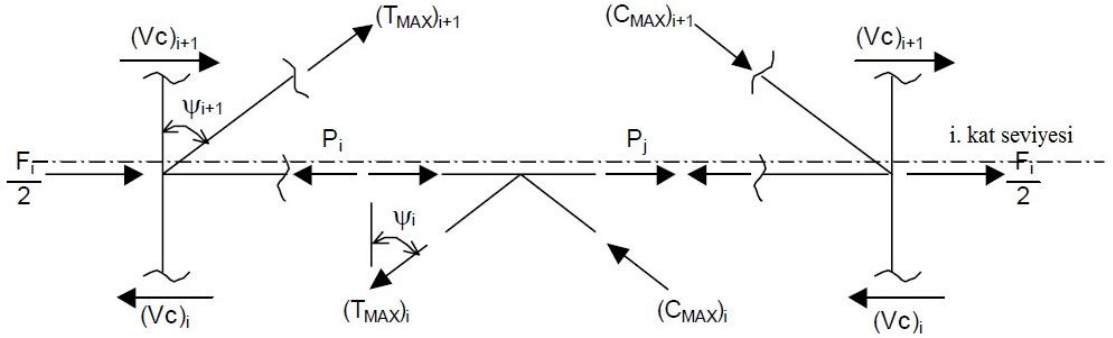
$$\phi_v \cdot V_n = 172.53 \text{ kips} \quad \frac{V_u}{\phi_v \cdot V_n} = 0.016 \quad \checkmark$$

### Eğilme ve Eksenel Kuvvet Etkileşimi

$$R = \frac{P_u}{\phi_c \cdot P_n} + \frac{8}{9} \cdot \left( \frac{M_u}{\phi_b \cdot M_n} \right) < 1 \quad \frac{P_u}{\phi_c \cdot P_n} > 0.2 \quad (\text{H1-1a})$$

Kapasite Talebi:  $0,1 < 1$  W18 X 50 Kesitini sağlıyor.

### 5.11.2. 2.0 $\Delta_{bm}$ Deformasyonları Etkisinde Gerekli Eksenel Dayanım İçin Tasarım Kontrolü



Şekil 5. 9 Ters V Çaprazlardan Dolayı Kirişlerde Oluşan Kuvvetler

Yalnızca bir elastik analiz olduğu için, belli varsayımlar çerçeve kirişlerindeki eksenel kuvvet hesabı için yapılmalıdır. Bunlar daha güvenli sonuçlar üretecektir.

- $(V_c)_{i+1} = (V_c) = 0$  ; Kolonlardaki kesmelerin sıfır olduğu varsayılır.
- $F_i$  dikkate alınan mekanizmaya karşılık gelen toplayıcı kat kuvvetlerin toplamıdır. Toplayıcı kat kuvvetlerin çerçevenin her iki ucunda da eşit olduğu kabul edilmektedir. Bunlara alternatif olarak elemanlardan çıkarılabilecek gerçek taleplerle doğrusal olmayan analiz yapılabilir.

$$F_i = T_{\max i} \cdot \sin(\psi_i) + C_{\max i} \cdot \sin(\psi_i) - T_{\max i+1} \cdot \sin(\psi_{i+1}) - C_{\max i+1} \cdot \sin(\psi_{i+1})$$

$$P_i = T_{\max i+1} \cdot \sin(\psi_{i+1}) + \frac{F_i}{2}$$

$$P_j = P_i - T_{\max i} \cdot \sin(\psi_i) - C_{\max i} \cdot \sin(\psi_i)$$

$$P_u = \max(P_i, P_j)$$

Bu örnek için  $i=1$  dir.

Çizelge 5.12'den maksimum düzeltilmiş BÖÇ değerleri alınırsa;

$$T_{\max i+1}=150.65 \quad C_{\max i+1}=154.1 \quad \psi_{i+1}=48.7$$

$$T_{\max i}=189.98 \quad C_{\max i}=195 \quad \psi_i=45$$

$$F_i = 196.2 \cdot \sin 45 + 204.4 \cdot \sin 45 - 148.35 \cdot \sin 48.7 - 165.6 \cdot \sin 48.7$$

$$F_i = 47.4$$

$$P_i = 148.35 \cdot \sin 48.7 + \frac{47.4}{2}$$

$$P_i = 135.3$$

$$P_j = 135.3 - 196.2 \cdot \sin 45 - 204.4 \cdot \sin 45$$

$$P_u = -148 \text{ kips} = -658.3 \text{ kN}$$

$M_u$  ve  $V_u$  yatay yük faktörleri nedeniyle bilgisayar modelinden elde edilir.

$$M_u = 13.12 \text{ kip-ft} = 17.2 \text{ kN}$$

$$V_u = -2.83 \text{ kips} = -38.3 \text{ kN}$$

Deneme kesiti W18x50

$$E = 29000 \text{ ksi} ; F_y = 50 \text{ ksi} ; \phi_b = 0.9 ; L = 230 \text{ in} ; A_g = 14.7 \text{ in}^2 ; r_x = 7.38 ; r_y = 1.65$$

$$Z_x = 88.9 \text{ in}^3 ; d = 17.99 \text{ in} ; t_f = 0.570 \text{ in} ; t_w = 0.355 \text{ in} ; b_f = 7.495 \text{ in}$$

Aşağıdaki değerler LRFD üçüncü düzenleme "Tablo 5-3 Eğilme Elemanlarının Tasarımı" bölümünden alınmıştır.



$$L_p = 5,83 \text{ ft} ; L_r = 15,6 \text{ ft} ; \phi_b \cdot M_r = 267 \rightarrow M_r = \frac{267}{0.9} = 297 \text{ kip - ft}$$

$$\text{Gövde: } \frac{P_u}{\phi_b \cdot A_g \cdot F_y} = 0.223$$

$$\lambda_{ps} = 1.12 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \cdot \left( 2.33 - \frac{P_u}{\phi_b \cdot A_g \cdot F_y} \right) \rightarrow \lambda_{ps} = 52,32$$

$$\frac{h}{t_w} = \frac{18}{0.355} = 50.7$$

$$\frac{h}{t_w} < \lambda_{ps} \quad \checkmark$$

### **Eksenel Basınc Kapasitesi (AISC LRFD Bölüm 16 kısım E)**

$$\phi_c \cdot P_n = 571,77 \text{ kips}$$

$$\frac{P_u}{\phi_c \cdot P_n} = \frac{148}{571,77} = 0.258$$

### **Eğilme Kapasitesi (AISC LRFD Bölüm 16 Kısım F)**

Kiriş çeyrek noktalarda yanal desteğe sahip;

$$\phi_b \cdot M_n = 0.9 \cdot 370.41 = 333.37 \text{ kip-feet}$$

$$\frac{M_u}{\phi_b \cdot M_n} = \frac{13.12}{333.37} = 0.03$$

### **Kesme Kapasitesi (AISC LRFD Bölüm 16 Kısım F)**

$$\phi_v \cdot V_n = 172.53 \text{ kips}$$

$$\frac{V_u}{\phi_v \cdot V_n} = \frac{2.83}{172.53} = 0.016$$

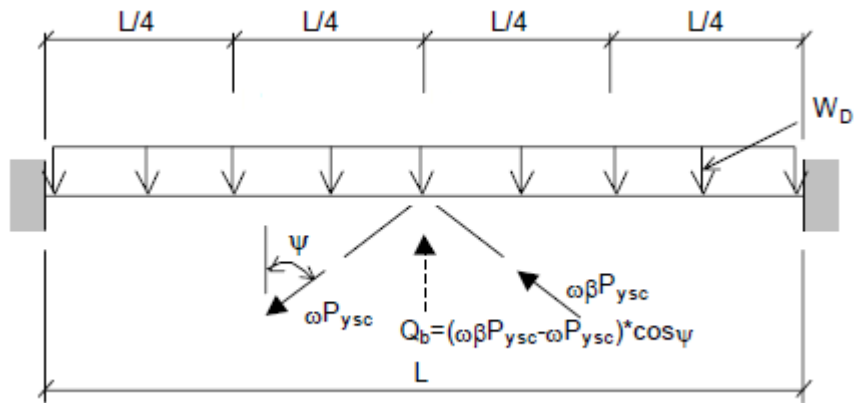
### Eğilme ve Eksenel Kuvvet Etkileşimi

$$R = \frac{P_u}{\phi_c \cdot P_n} + \frac{8}{9} \cdot \left( \frac{M_u}{\phi_b \cdot M_n} \right)$$

$$R < 1 \quad \checkmark$$

W18x50 uygun

### 5.11.3. Ters V Çaprazlar İçin Standartlarda Belirtilen Özel Tasarım Kontrolü



Şekil 5. 10 Düzeltilmiş Çapraz Dayanımlarından Kirişlere Uygulanan Yükler

Deneme Kesiti: Kiriş W18X50

$E = 29000$  ksi ;  $F_y = 50$  ksi ;  $L = 316$  in = 26.24 ft = 8 m ;  $I_x = 800$  in<sup>4</sup> ;  $S_x = 88.9$  in<sup>3</sup>

$W_D = 0.191$  k/ft ;  $\omega\beta P_{ysc} = 204.4$  kips ;  $\omega P_{ysc} = 196.2$  kips ;  $\psi = 45$  deg

$W_D$  Etkisi Nedeniyle Oluşan Momentler ve Maksimum Yerdeğiştirmeler:

$$M_{D2} = \frac{1}{12} \cdot W_D \left( \frac{L}{12} \right)^2 \quad M_{D2} = 14.32 \text{ kip-ft} \quad \Delta_{D2} = \frac{1}{384} \cdot \frac{\left( \frac{W_D \cdot L^4}{12} \right)}{E \cdot I_x} \quad \Delta_{D2} = 0.14$$

$Q_b$  Etkisi Nedeniyle Oluşan Momentler ve Maksimum Yerdeğiştirmeler:

$$Q_b = (\omega \beta P_{ysc} - \omega P_{ysc}) \cdot \cos \left( \psi \cdot \frac{\pi}{180} \right) \quad Q_b = 8.19 \text{ kips}$$

$$M_E = \frac{-1}{8} \cdot Q_b \left( \frac{L}{12} \right) \quad M_E = 89.63 \text{ kip-ft} \quad \Delta_E = \frac{-1}{192} \cdot \frac{Q_b \cdot L^3}{E \cdot I_x} \quad \Delta_E = 0.24$$

#### **Dayanım Kontrolü (FEMA 450 bölüm 8.6.3.4.1.1)**

$$M_y = F_y \cdot \frac{S_x}{12} \quad M_y = 337.5 \text{ kip-ft}$$

$$U = 1.41D + 0.5L + E$$

$$M_u = 1.41M_{D1} + 1.41M_{D2} + 0.5M_L + M_E$$

$$\frac{M_u}{M_y} < 1.00$$

#### **Rijitlik Kontrolü (FEMA 450 bölüm 8.6.3.4.1.2)**

$$\Delta_{middle} = \Delta_{D1} + \Delta_{D2} + \Delta_E \quad \Delta_{middle} = 0.175 \quad \Delta_{middle} = \Delta_{D1} + \Delta_{D2} + \Delta_E$$

## 5.12. Kolon Tasarımı

### 5.12.1. Sismik Taban Kesme Kuvveti Altında Gerekli Dayanımlar İçin Tasarım Kontrolü

Gerekli eğilme, aksenal ve kesme dayanımları ilk olarak bilgisayar modelinden elde edilir ve daha sonra kolon tasarım dayanımları elle hesaplanır.

1 aksı ve E aksının kesiştiği kolon için;  
LC5 kombinasyonundan maksimum aksenal kuvvet;  
 $P_u = 377.18$  kip,  $V_u = 4.13$  kip,  $M_u = 57$  kip-ft

Deneme Kesiti: Kolon Boyutları W12X96

$E = 29000$  ksi;  $F_y = 50$  ksi;  $\phi_b = 0.9$ ;  $L = 157$  in = 13,08 ft ;  $A_g = 28,2$  in<sup>2</sup> ;  $r_x = 5.44$  in ;  $r_y = 3.09$  in ;  $Z_x = 131$  in<sup>3</sup> ;  $Z_y = 44.4$  in<sup>3</sup> ;  $d = 12.71$  in ;  $t_w = 0.55$  in ;  $t_f = 0.9$  in ;  $b_f = 12.16$  in

Aşağıdaki değerler LRFD 3. düzenleme Tablo 5-3 den alınmıştır.

$L_p = 10.9$  ft ;  $L_r = 41.3$  ft ;  $M_r = 436.7$  kip-ft

### FEMA 450 Bölüm 8.6.3.5.1 Tablo I-8-1' daki Genişlik Kalınlık Oranlarına Uygunluk Kontrolleri

$$\text{Başlık: } \lambda_{ps} = 0.3 \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad \lambda_{ps} = 7.22 \quad \frac{b_f}{2t_f} = \frac{12.16}{2 \cdot (0.9)} = 6.76 \quad \frac{b_f}{2t_f} < \lambda_{ps} \quad \checkmark$$

$$\text{Gövde: } \frac{P_u}{\phi_b \cdot A_g \cdot F_y} = \frac{377.18}{0.9 \cdot 28.2 \cdot 50} = 0.29$$

$$\lambda_{ps} = 1.12 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \cdot \left( 2.33 - \frac{P_u}{\phi_b \cdot A_g \cdot F_y} \right) \rightarrow \lambda_{ps} = 55.02$$

$$\frac{h}{t_w} = \frac{12.07}{0.55} = 23.09$$

$$\frac{h}{t_w} < \lambda_{ps} \quad \checkmark$$

### **Eksenel Basınç Kapasitesi (AISC, LRFD Bölüm 16, Kısım E)**

$$l_x = L \quad l_y = L \quad k = 1 \quad (k_y = 1,0, \quad k_x < 1,0, \quad k_y \text{ etkilidir})$$

$$\lambda_{c1} = \frac{k \cdot l_x}{\pi \cdot r_x} \cdot \sqrt{\frac{F_y}{E}}, \quad \lambda_{c1} = \frac{1 \cdot 157}{\pi \cdot 5.44} \cdot \sqrt{\frac{50}{29000}} = 0.38 \quad \lambda_{c1} = 0.38$$

$$\lambda_{c2} = \frac{k \cdot l_y}{\pi \cdot r_y} \cdot \sqrt{\frac{F_y}{E}}, \quad \lambda_{c2} = \frac{1 \cdot 157}{\pi \cdot 3.09} \cdot \sqrt{\frac{50}{29000}} = 0.671 \quad \lambda_{c2} = 0.671$$

$$\lambda_c = \max(\lambda_{c1} : \lambda_{c2}) \Rightarrow \lambda_c = 0.671$$

$$F_{cr} = 0.658^{\lambda_c^2} \cdot F_y \quad \lambda_c \leq 1.5 \quad (\text{E2-2})$$

$$F_{cr} = 0.658^{0.671^2} \cdot 50 \quad F_{cr} = 41.41$$

$$P_n = F_{cr} \cdot A_g \quad (\text{E2-1}) \quad \phi_c = 0.85 \quad (\text{E2-1})$$

$$\phi_c \cdot P_n = 992.6 \text{ kips}$$

$$\frac{P_u}{\phi_c \cdot P_n} = \frac{330.26}{992.6} = 0.33 \quad \checkmark$$

### **Eğilme Kapasitesi (AISC LRFD Bölüm 16 Kısım F)**

$$L_b = L \rightarrow L_b = 157 \text{ in} = 13.08 \text{ feet} \quad L_p = 10.9 \text{ feet} \quad L_b > L_p$$

$$M_n = M_p \leq 1.5M_y \quad \text{AISC Eq. (F1-1)}$$

$$M_p = F_y \cdot \frac{Z_x}{12} \quad (\text{F1-1}) \quad M_p = M_n = 50 \cdot \frac{131}{12} = 545.83 \text{ kip-feet}$$

$$\phi_b \cdot M_n = 0.9 \cdot 545.83 = 491 \text{ kip-feet}$$

$$\frac{M_u}{\phi_b \cdot M_n} = 0.19$$

### **Kesme Kapasitesi (AISC LRFD Bölüm 16 Kısım F)**

$$\phi_v = 0.9 \quad A_w = d \cdot t_w = 12.71 \cdot 0.55 = 6.99 \text{ in}^2 \quad (\text{F.2.1})$$

$$V_n = 0.6 \cdot F_y \cdot A_w \Rightarrow 0.6 \cdot 50 \cdot 6.99 = 209.07$$

$$\frac{h}{t_w} \leq 2.45 \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (\text{F2-1}) \quad \frac{12.71}{0.55} \leq 59 \Rightarrow 23.1 \leq 59$$

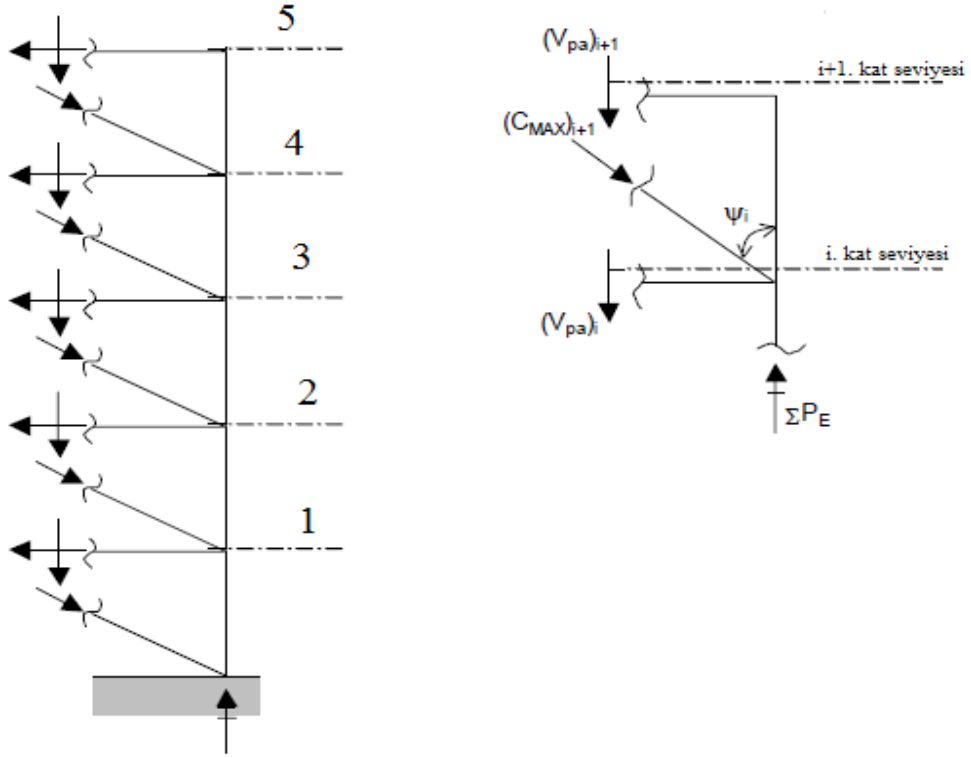
$$\phi_v \cdot V_n = 188.73 \text{ kips} \quad \frac{V_u}{\phi_v \cdot V_n} = \frac{4.13}{188.73} = 0.07$$

### **Eğilme - Eksenel Etkileşimi (AISC LRFD Bölüm 16, Kısım H)**

$$R = \frac{P_u}{\phi_c \cdot P_n} + \frac{8}{9} \cdot \frac{M_u}{\phi_b \cdot M_n} \quad \frac{P_u}{\phi_c \cdot P_n} > 0.2 \quad (\text{H1-1b})$$

Kapasite Talebi: 0,48 W12 X 96 Kesitini sağlıyor.

### 5.12.2. 2.0 $\Delta$ bm Deformasyonları Etkisinde Gerekli Eksenel Dayanım İçin Tasarım Kontrolü



Şekil 5. 11 Ters V BÖÇ'lü Çerçeve Kolonlarındaki Eksenel Basınç Talebi

**Çizelge 5. 13** 2.0  $\Delta_{bm}$ 'de Gerekli Eksenel Kolon dayanımı

Kolon üst seviyesi	Kiriş			BÖÇ Tmax*cos (kip)/ (kN)	Kolon $\sum P_E$ (kip)/ (kN)	Modelden Çıkarılanlar		Kolon Pu (kip)/ (kN)
	Pu (kip)/ (kN)	Mpa (kip.ft)/	Vpa (kip) (kN)			$\sum P_D$ (kip)/ (kN)	$\sum P_L$ (kip)/ (kN)	
5	29/ 129	372	41/ 182	61.18/ 272	102/ 454	8.75/ 39	2.06/ 9	112/ 498
4	41/ 182	372	41/ 182	98.67/ 440	242/ 1076	26.58/ 120	7.34/ 33	283/ 1259
3	83/ 369	372	41/ 182	134.37/ 596	417/ 1855	44.87/ 200	12.78/ 57	487/ 2166
2	110/ 489	372	41/ 182	165.6/ 738	623/ 2771	63.27/ 284	18.25/ 82	721.3/ 3208
1	148/ 658	349	38/ 169	204.4/ 911	855/ 3803	81.41/ 364	23.61/ 105	970/ 4314

$P_u = 970 \text{ kip} = 4314 \text{ kN}$  ; Tablodan

Deneme kesiti kolon boyutları: W12x96

$E=29000 \text{ ksi}$  ;  $F_y= 50 \text{ ksi}$  ;  $\phi_b= 0.9$  ;  $L= 118.11$  ;  $A_g= 28.2 \text{ in}^2$  ;  $r_x= 5.44 \text{ in}$  ;  $r_y= 3.09 \text{ in}$  ;  
 $d= 3.09 \text{ in}$  ;  $d= 12.71 \text{ in}$  ;  $t_w=0.55 \text{ in}$  ;  $t_f= 0.9 \text{ in}$  ;  $b_f= 12.6 \text{ in}$



**FEMA 450 Bölüm 8.6.3.5.1 'e uygun Genişlik Kalınlık Oranları**

$$\text{Başlık: } \frac{P_u}{\phi_b \cdot A_g \cdot F_y} = \frac{1137}{0.9 \cdot 28.2 \cdot 50} = 0.89$$

$$\lambda_{ps} = 1.12 \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}} \cdot \left( 2.33 - \frac{P_u}{\phi_b \cdot F_y \cdot A_g} \right) = 38.84$$

$$\frac{h}{t_w} = 23.1 \quad \frac{h}{t_w} < \lambda_{ps} \quad \checkmark$$

**Eksenel Basınc Kapasitesi ( AISC LRFD Bölüm 16 Kısım F)**

$$\phi_c \cdot P_n = 992.6 \text{ kips}$$

$$\frac{P_u}{\phi_c \cdot P_n} = \frac{970}{992} = 0.97 \quad \checkmark$$

**Eksenel Basınc Stabilitesi (AISC-LRFD Bölüm 16 Kısım C)**

$$\phi_c = 0.85; \quad A_g = 28.2 \text{ in}^2; \quad F_y = 50$$

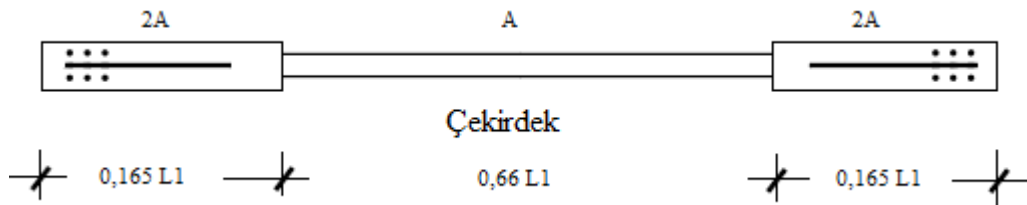
$$\frac{P_u}{0.85 \cdot \phi_c \cdot A_g \cdot F_y} = \frac{970}{0.85 \cdot 0.85 \cdot 50 \cdot 50} = 0.95 < 1 \quad \checkmark$$

## 6. ÇELİK ÇEKİRDEK UZUNLUĞU ve BAŞLIK ALANININ BÖÇ'lü YAPI ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Yukarıda AISC ve FEMA 450 koşulları göz önüne alınarak BÖÇ'lü bir yapının tasarımı gerçekleştirildi ve Şekil 6.1'deki tipik BÖÇ yapısı dikkate alınarak BÖÇ kesit alanları belirlenip tasarımları ve kontrolleri yapıldı. BÖÇ'ler eşdeğer deprem yükü metodu kullanılarak tasarlandı. Diğer geleneksel çerçevelerde kullanılan tasarım prosedürü gibi, azaltılmış bir deprem yükü, gereken rijitlik ve dayanıma sahip olduğuna karar verdiğimiz lineer elastik modele uygulandı.

Bu metoda göre oranlanmış çaprazlar ile BÖÇ'lü çerçeveler için, elastik ve inelastik deformasyon modları arasındaki fark geleneksel çaprazlı çerçeveler için olandan çok daha azdır. Bu nedenle nonlineer analiz tipik olarak gerekli değildir (Deulkar vd., 2010).

### 6.1. Çelik Çekirdek Uzunluğu ve Başlık Alanının Ötelenmelere Etkisinin Araştırılması

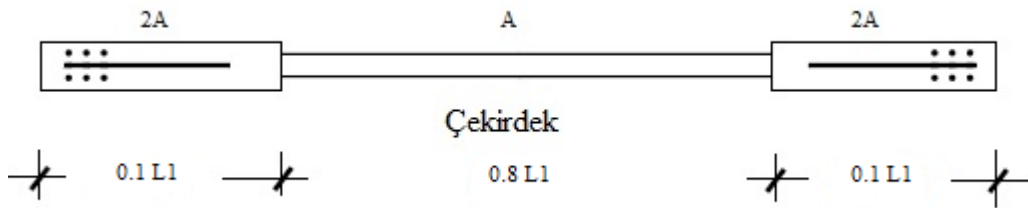


Şekil 6. 1 Birinci Durum

Çalışmanın bu bölümünde Şekil 6.1'de gösterilen BÖÇ kısımlarının değişkenlerinde (başlık uzunluğu ve alanı ; çekirdek uzunluğu ve alanı) değişiklikler yapılarak tasarımı yapılan yapıya göre oluşacak değişimler gözlenecektir. Çıkan sonuçlar karşılaştırılarak optimum BÖÇ tasarımı ile ilgili değerlendirme ve önerilerde bulunulacaktır.

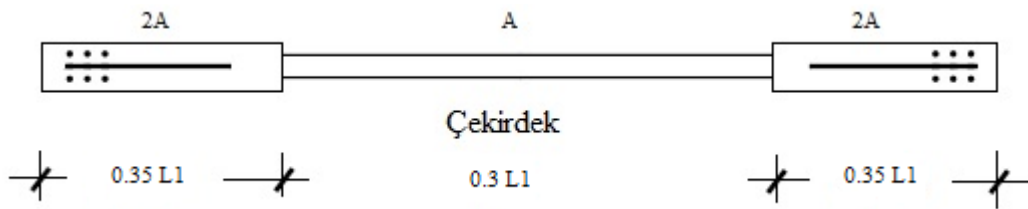
### 6.1.1. Çelik Çekirdek Uzunluğunun Değişiminin BÖÇ lü yapıya etkisi

Şekil 6.2'de birinci bölümden farklı olarak çekirdeğin akma bölgesi uzatılarak başlık uzunlukları kısaltılmıştır. Toplam uzunluğun 0.8'i akma bölgesi olurken, 0.1'erlik kısımlar başlıklara bırakılmıştır.



Şekil 6. 2 İkinci Durum

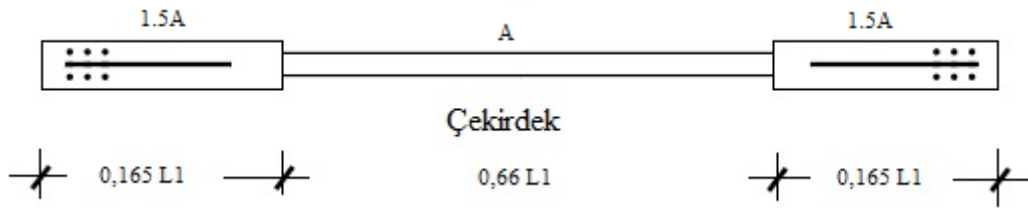
Şekil 6.3'te birinci bölümden farklı olarak çekirdeğin akma bölgesi uzatılarak başlık uzunlukları kısaltılmıştır. Toplam uzunluğun 0.3'ü akma bölgesi olurken, 0.35'erlik kısımlar başlıklara bırakılmıştır.



Şekil 6. 3 Üçüncü Durum

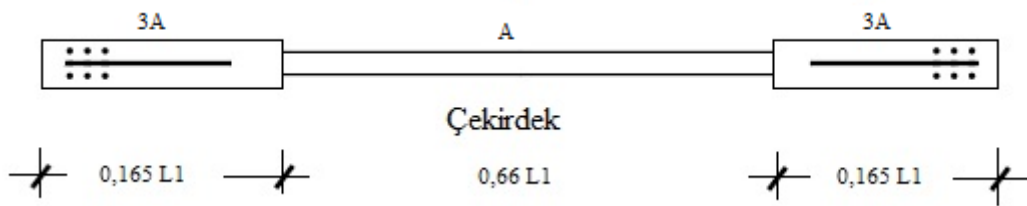
### 6.1.2. Başlık Alanının Değişiminin BÖÇ lü Yapıya Etkisinin Gözlemlenmesi

Şekil 6.4'te birinci bölümden farklı olarak başlık alanları, akma bölgesinin alanının 1.5 katı olarak alınmış, uzunluklar sabit tutulmuştur.



Şekil 6. 4 Dördüncü Durum

Şekil 6.5'te birinci bölümden farklı olarak başlık alanları, akma bölgesinin alanının 3 katı olarak alınmış, uzunluklar sabit tutulmuştur.



Şekil 6. 5 Beşinci Durum

Analiz ve tasarımını yaptığımız yapı modelindeki BÖÇ'ler yukarıdaki durumlarda gösterildiği şekilde düzeltilerek, hesaplanan düşey yükler ve deprem yükleri altında ETABs yapı analiz ve tasarım programı kullanılarak tekrar çözülmüş ve çıkan sonuçlar değerlendirilmiştir.

Çizelge 6.1'de görüldüğü gibi rijitlik açısından en iyi sonucu 3. durum vermiştir. Akma uzunluğunun artması sistemin yatay yükler altındaki rijitliğini azaltmaktadır.

**Çizelge 6. 1** 1-1 Aksı Çekirdek Akma Uzunluğunun Etkisi

Çatı Katı Yerdeğiştirmesi (mm)	Çatı Katı Dönmesi (rad/sn)	Çekirdek Akma Uzunluğu	Durum
32.76	0.000152	0.3 L	3.
40.29	0.000156	0.66 L	1.
43.2	0.000157	0.8 L	2.

Çizelge 6.2'de görüldüğü gibi yine rijitlik açısından en iyi sonucu 3. durum vermiştir. Akma uzunluğunun artması sistemin yatay yükler altındaki rijitliğini azaltmaktadır.

**Çizelge 6. 2** A-A Aksı Çekirdek Akma Uzunluğunun Etkisi

Çatı Katı Yerdeğiştirme (mm)	Çatı Katı Dönmesi (rad/sn)	Çekirdek Uzunluğu	Durum
47.60	0.00003	0.3 L	3.
54.79	0.00004	0.66 L	1.
57,6	0.000044	0.8 L	2.

Çizelge 6.3'de görüldüğü gibi rijitlik açısından en iyi sonucu 5. durum vermiştir. Başlık alanının artması sistemi daha rijit hale getirirken başlıkların elastik kalması ve akmanın akma bölgesi içinde meydana gelmesi ihtimalini arttırır.

**Çizelge 6. 3** 1-1 Aksı Çekirdek Başlık Alanlarının (Projeksiyon) Etkisi

Çatı Katı Yerdeğiştirme (mm)	Çatı Katı Dönmesi (rad/sn)	Çekirdek Alanı	Durum
42.64	0.000157	1.5A	4.
40.29	0.000156	2A	1.
37.92	0.000155	3A	5.

Çizelge 6.4'de görüldüğü gibi rijitlik açısından en iyi sonucu 5. durum vermiştir. Başlık alanının artması sistemi daha rijit hale getirirken başlıkların elastik kalması ve akmanın akma bölgesi içinde meydana gelmesi ihtimalini arttırır.

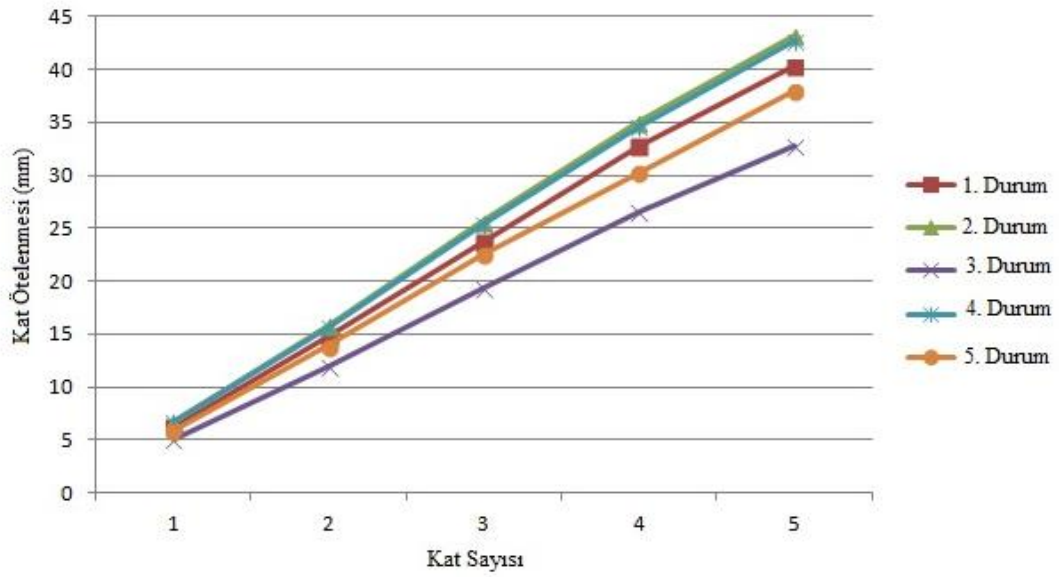
**Çizelge 6. 4** A-A Aksı Çekirdek Başlık Alanlarının (Projeksiyon) Etkisi

Çatı Katı Yerdeğiştirme (mm)	Çatı Katı Dönmesi (rad/sn)	Çekirdek Alanı	Durum
57.05	0.000043	1.5A	4.
54.79	0.00004	2A	1.
52.53	0.000037	3A	5.

Çizelge 6.5'te 1-1 aksı için tüm sonuçlar değerlendirildiğinde rijitlik açısından en iyi durumun 3. durum olduğu ve bunu sırasıyla 5, 1, 4 ve 2. durumların izlediği görülür.

**Çizelge 6. 5** 1-1 Aksı Herbir Durum İçin Kat Ötelenmeleri

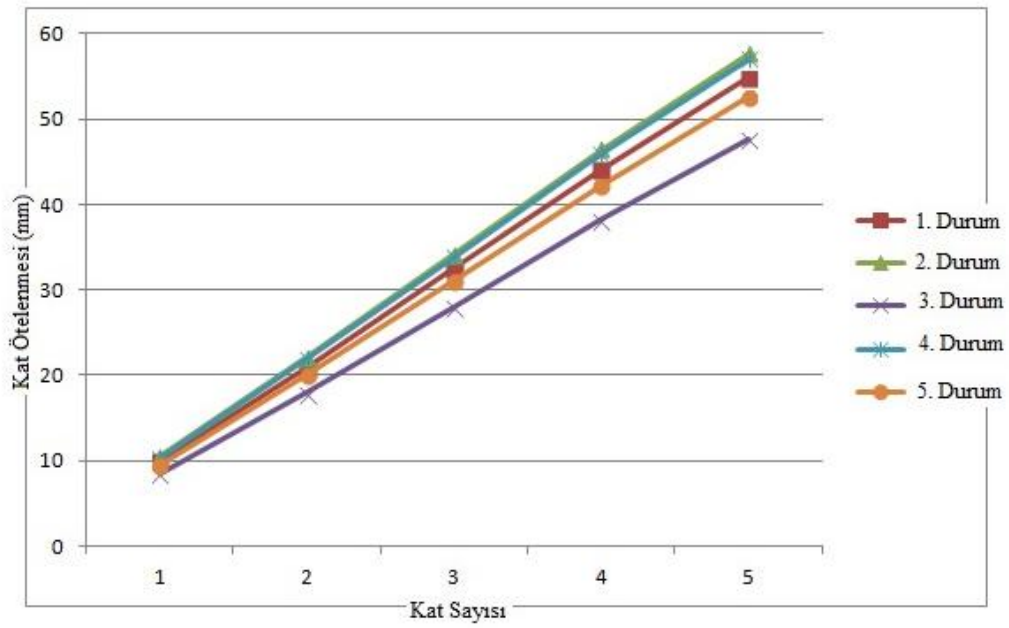
Her Durum İçin Kat Ötelenmeleri (mm)					
Katlar	Birinci	İkinci	Üçüncü	Dördüncü	Beşinci
5	40.29	43.2	32.76	42.64	37.92
4	32.76	35.13	26.6	34.68	30.32
3	23.71	25.67	19.34	25.33	22.48
2	14.78	15.87	11.9	15.66	13.88
1	6.28	6.74	5.07	6.66	5.9

**Şekil 6. 6** 1-1 Aksı Her Bir Durum İçin Kat Ötelenmeleri Grafiği

Beklendiği üzere Çizelge 6.6'da da Çizelge 6.5'le çakışan sonuçlar elde edilmiştir

**Çizelge 6. 6** A-A Aksı Herbir Durum İçin Kat Ötelenmeleri

Her Durum İçin Kat Ötelenmeleri (mm)					
Katlar	Birinci	İkinci	Üçüncü	Dördüncü	Beşinci
5	54.79	57.6	47.6	57.05	52.53
4	44.16	46.45	38.22	46.02	42.3
3	32.45	34.18	27.94	33.87	31.04
2	20.98	22.13	17.93	21.93	20.03
1	9.97	10.51	8.47	10.43	9,51



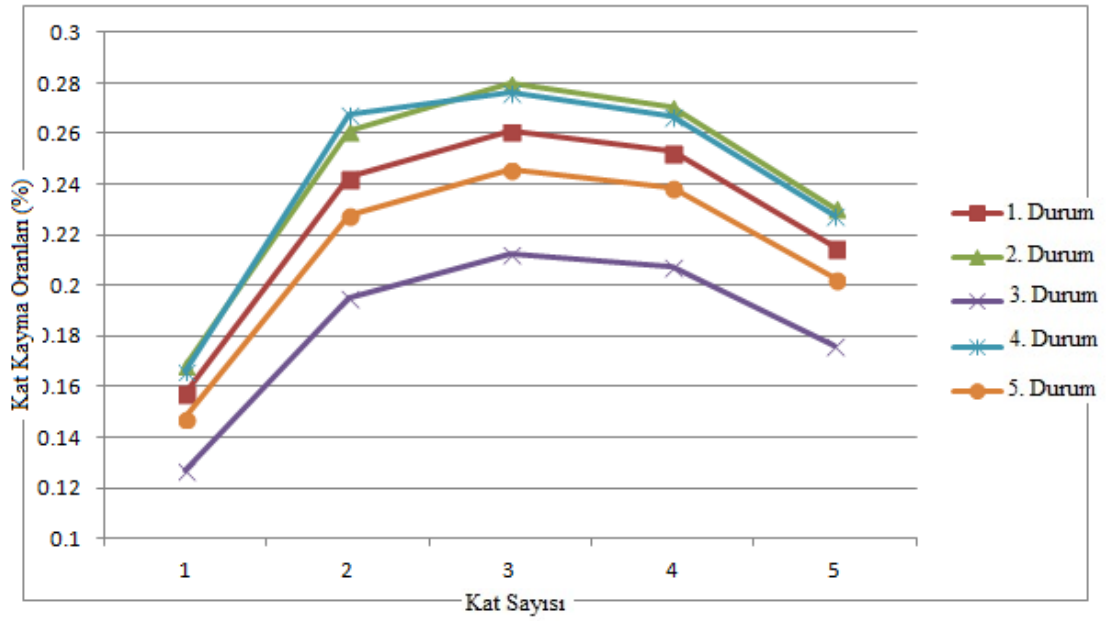
**Şekil 6. 7** A-A Aksı Her Bir Durum İçin Kat Ötelenmeleri Grafiği

Kat kayma oranlarındaki sonuçlar da kat ötelenmeleri ile çakışmaktadır.



**Çizelge 6. 7** 1-1 Aksı Herbir Durum İçin Kat Kayma Oranları

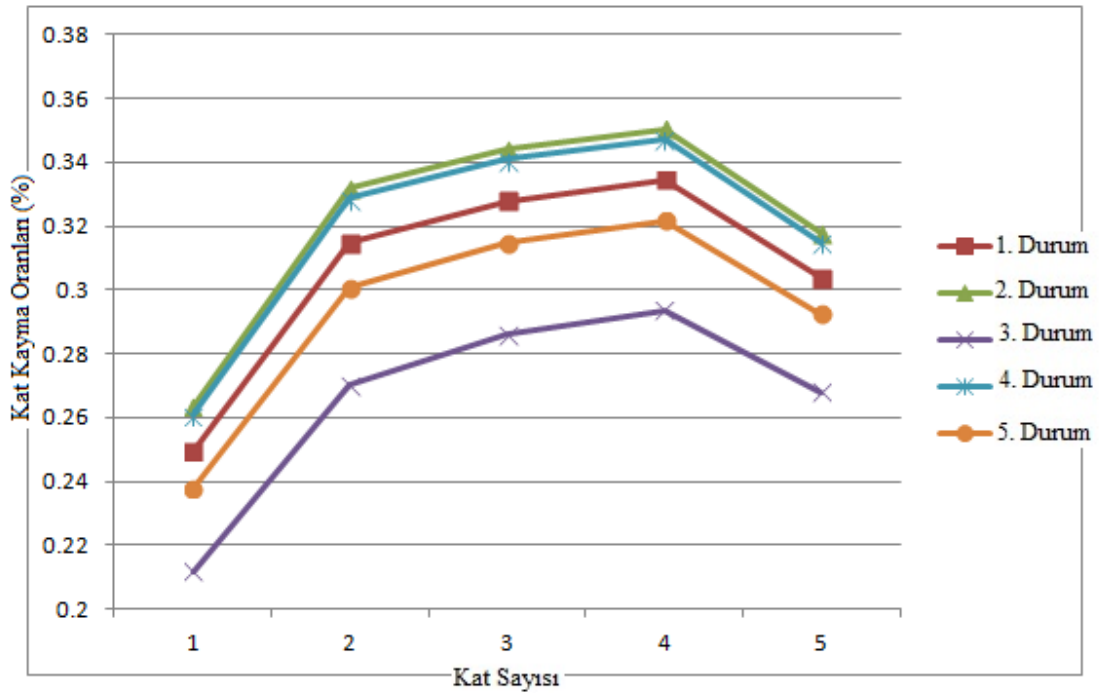
Her Durum İçin Kat Kayma Oranları %					
Katlar	Birinci	İkinci	Üçüncü	Dördüncü	Beşinci
5	0.2152	0.2305	0.1762	0.2276	0.2028
4	0.2528	0.2704	0.2073	0.2670	0.2385
3	0.2609	0.2798	0.2123	0.2762	0.2457
2	0.2427	0.2610	0.1954	0.2675	0.2278
1	0.1572	0.1686	0.1268	0.1664	0.1477



**Şekil 6. 8** 1-1 Aksı Her Bir Durum İçin Kat Kaymaları Grafiği

**Çizelge 6. 8** A-A Aksı Herbir Durum İçin Kat Kayma Oranları

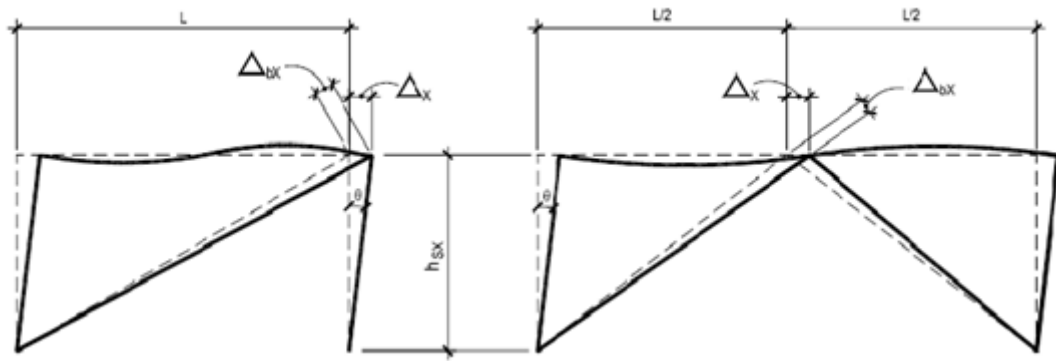
Her Durum İçin Kat Kayma Oranları %					
Katlar	Birinci	İkinci	Üçüncü	Dördüncü	Beşinci
5	0.3037	0.3177	0.2679	0.3151	0.2924
4	0.3345	0.3504	0.2936	0.3473	0.3216
3	0.3278	0.3440	0.2861	0.3409	0.3147
2	0.3146	0.3319	0.2701	0.3286	0.3006
1	0.2494	0.2636	0.2119	0.2609	0,2378



**Şekil 6. 9** A-A Aksı Her Bir Durum İçin Kat Kaymaları Grafiği

## 6.2. A-A Aksı BÖÇ Çelik Çekirdek Uzunluğunun Düzeltilmiş Çapraz Dayanımlarına Etkisi

Şekil 6.10'da yanal çerçeve hareketinin tekil diyagonal ve ters V tipi çaprazlar üzerinde yaptığı etkiler gösterilmiştir



Şekil 6. 10 BÖÇ Uzamasının Çerçeveye Olan Etkisi

Çaprazlardaki uzamalar aşağıdaki denklemler kullanılarak hesaplanır ve Çizelge 6.10, 6.11 ve 6.12 bunlara göre hazırlanmıştır.

$$\Delta_{bx} = \frac{P_{bx} \cdot L_{ysc}}{E \cdot A_{sc}} \quad (6.1)$$

$$\Delta_{bm} = C_d \cdot \Delta_{bx} \quad (6.2)$$

$$\varepsilon_{BRC} = \frac{2\Delta_{bm}}{L_{ysc}} \quad (6.3)$$

**Çizelge 6. 9** Birinci Durum  $L = 0.66. L_1$ 

Kat	Asc (cm <sup>2</sup> )	Pbx (kN)	Lysc (m)	$\Delta bx$ (mm)	$\Delta bm$ (mm)	2 $\Delta bm$ (mm)	$\epsilon_{BRC}$ (%)
5	19.4	241.7	4.58	2.84	14.22	28.44	0,62
4	32.3	467	4.58	3.3	16.51	33.02	0,72
3	45.2	657	4.58	3.32	16.76	33.5	0,74
2	51.6	785.8	4.58	3.48	17.52	35	0,76
1	51.6	787.5	4.76	3.63	18.28	36.58	0,77

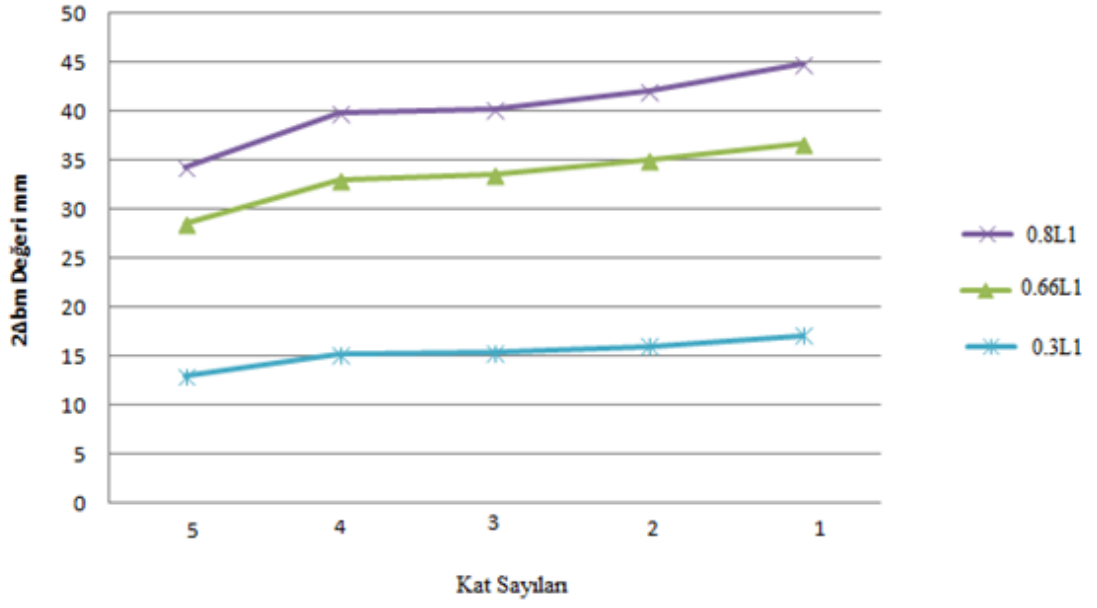
**Çizelge 6. 10** İkinci Durum  $L = 0.8. L_1$ 

Kat	Asc (cm <sup>2</sup> )	Pbx (kN)	Lysc (m)	$\Delta bx$ (mm)	$\Delta bm$ (mm)	2 $\Delta bm$ (mm)	$\epsilon_{BRC}$ (%)
5	19.4	240	5.55	3.43	17.15	34.3	0,62
4	32.3	465	5.55	3.99	19.95	39.9	0,72
3	45.2	654	5.55	4.02	20.1	40.2	0,72
2	51.6	783	5.55	4.21	21.05	42.1	0,76
1	51.6	777	5.77	4.48	22.4	44.8	0,77

**Çizelge 6. 11** Üçüncü Durum  $L = 0.3. L_1$ 

Kat	$A_{sc}$ (cm <sup>2</sup> )	$P_{bx}$ (kN)	$L_{ysc}$ (m)	$\Delta_{bx}$ (mm)	$\Delta_{bm}$ (mm)	$2\Delta_{bm}$ (mm)	$\varepsilon_{BRC}$ (%)
5	19.4	244	2.08	1.3	6.5	13	0,62
4	32.3	474	2.08	1.52	7.6	15.2	0,73
3	45.2	665	2.08	1.53	7.65	15.3	0,74
2	51.6	794	2.08	1.6	8	16	0,77
1	51.6	820	2,16	1.71	8.55	17.1	0,79

Çizelgelere göre çaprazlardaki en büyük uzama akma bölgesinin en uzun olduğu 2. durumda meydana gelmiştir. Bu durum bize enerji yutma kapasitesinin akma bölgesinin uzunluğu ile doğru orantılı olarak değiştiğini göstermektedir. Ancak yukarıda belirtildiği gibi akma bölgesinin uzunluğunun artması sistem rijitliğinde azalmaya neden olmaktadır. Çapraz rijitliği ile çaprazın üzerine gelen eksenel kuvvetler doğru orantılı olarak arttığından  $\varepsilon_{BRC}$  değerlerinde değişiklik görülmemiştir. Şekil 6.11'de farklı akma boyuna sahip çaprazların katlara göre  $2\Delta_{bm}$  uzamaları grafiksel olarak gösterilmiştir



Şekil 6. 11 A-A Aksı için Değişken Akma Uzunluğuna Sahip BÖÇ'lerin Katlara Göre  $2\Delta_{bm}$  Değerleri

## 7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Çelik çekirdeğin başlık alanları arttırıldıkça Çizelge 6. 3 ve 6. 4'te görüldüğü gibi yapıdaki yanal ötelenme ve dönmelerin azaldığı ve yine başlık alanının azalması durumunda da yanal ötelenmelerin arttığı gözlenmiştir. Ancak başlık alanının artması ve azalması hususunda belli sınırlamalar olacağı unutulmamalıdır. Şöyle ki başlık alanının akma bölgesi alanından fazla olması gerekir. Aksi takdirde akma başlık kısımlarında meydana gelebilir ve bu durum da ciddi sorunlara yol açabilir. Ayrıca çelik çekirdeğin başlık kısmının bir bölümü burkulmayı önleyici kısmın dışında kalmaktadır. Bundan dolayı da belli bir eğilme rijitliğine ve akma bölgesinden daha büyük kesit alanına sahip olmalıdır. Başlık alanının akma alanından çok fazla olması yukarıda bulunan sonuçlara göre yanal ötelenmeyi ciddi olarak azaltır. Buna göre yapı sisteminin bir nebze daha rijit olduğu düşünülebilir. Ancak başlık alanının sınırlandırılması gerekir. Çünkü, kolon, kiriş ve çapraz bağlantı detayını göz önüne alırsak çok güçlü bir çapraz bağlantısı çerçeve sisteminin davranışını değiştirebilir. Hesaplanan yapı modelinde kiriş uçları ve çapraz uçları mafsalı olarak modellenmiştir. Ama gerçekte bunlar belli bir moment aktaracak şekilde uygulanır.

Çizelge 6. 1 ve 6. 2'ye göre başlık alanlarını sabit tutup, çelik çekirdeğin akma kısmının uzunluğunu arttırdığımızda maksimum kat ötelenmelerinin arttığı, azaltıldığında ise kat ötelenmelerinin azaldığı görülmüştür. Buradan öncelikle şu sonuçlara varabiliriz.

Daha uzun başlığa ve daha kısa akma uzunluğuna sahip bir BÖÇ daha rijittir. Ancak BÖÇ'lerin esas amacı daha rijit olmasından ziyade, enerji sönümleyici damperler olarak kullanılması yani elastik ötesi davranış göstermeleridir. Bu sebeple BÖÇ'lerin elastik ötesi davranışını karakterize eden tek unsur çekirdeğin akma bölgesidir. Akma bölgesinin çok uzun olması inelastik birim şekil değiştirme uzunluğunun artmasına neden olur. Bundan dolayı öngörülenden fazla yanal ötelenmeye maruz kaldığında önceden varsaydığımız tasarım kat ötelenmesinin iki katına kadar olan yer değiştirme durumunun ötesine geçer. Bu durum daha sünek bir yapı olarak algılanabilir ama

deprem etkilerinin öngörülenden fazla olması durumunda kolon yada kirişlerde inelastik davranışlara sebep olabilir. BÖÇ'lü bir yapının tasarım esası plastikleşmeyi tamamiyle çaprazlara yöneltmektir.

Bu çalışmada ters V (K çaprazı) ve tekil diyagonal çaprazlar için akma uzunluğu toplam uzunluğun 0.66'sı, başlık alanı da akma alanının iki katı olarak alınmıştır. Ancak bölüm 6'daki sonuçlara göre akma uzunluğu ve başlık alanındaki değişiklikler çerçeveyi rijitlik ve süneklik açısından oldukça değiştirmektedir. Tek bir tip akma uzunluğu ve başlık alanına sahip bir çapraz tasarlamak yerine çerçevenin açıklık ve yüksekliğine, çaprazlama tipine (V çaprazı, tekil diyagonal vs.) göre yani yapının talebine uygun BÖÇ tasarlanmalıdır. Ülkemizde bu konuyla ilgili daha fazla deneysel ve teorik çalışmalar yapılarak, yönetmelikler çerçevesinde düzenlenmesine ihtiyaç vardır.



## KAYNAKLAR DİZİNİ

- Choi Hyunhoon and Jinkoo, Kim<sup>2</sup>. «Energy-Based Seismic Design Of Buckling-Restrained Braced.» The Ninth East Asia-Pacific Conference on Structural Engineering and Construction. 2003.
- Christopoulos, Adam S. Improved Seismic Performance of. Master Degree, Washington: University of Washington, 2005.
- Deulkar W. N., Modhera C. D. & Patil H. S. «Buckling Restrained Braces For Vibration Control Of Building Structure.» Ijrras, 2010: 366.
- Durmuş, Gülhan. «Çaprazlı Çelik Yapıların İnelastik Burulmalı Davranışının Deneysel Olarak İncelenmesi.» ISPARTA, 2008.
- Engelhardt, Michael D. Design of Seismic-Resistant Steel Building Structures Buckling Restrained Braced Frames. University of Texas at Austin, Mart 2007.
- Escudero, Edison Ochoa. «Comparative Parametric Study on Normal and Buckling Restrained Steel Braces.» Università degli Studi di Pavia, July 2003.
- FEMA, 450. «Nehrp Recommended Provisions for Seismic Regulations For New Buildings and Other Structures (Fema 450).» (BSSC), Building Seismic Safety Council. 2003.
- Hussain Saif, Paul Van Benschoten, Mohamed Al Satari, Silian Lin. «Buckling Restrained Braced Frame (BRBF) Structures: Analysis, Design and Approvals.» 2010.
- İnci, İbrahim. «Betonarme Çerçevelerin Burkulması Önlenmiş Çelik Çaprazlar (BÖÇ) İle Depreme Karşı Güçlendirilmesi.» Yüksek Lisans Tezi, İSTANBUL, 2011.
- Innamorato D., Benzoni G. «Star Seismic Brace Test Mercy San Juan Hospital Project.» Report submitted to Star Seismic, LLC. under contract, San Diego La Jolla, California, March 13 thru 15, 2007.
- Karataş Çiğdem Avcı, Çelik Oğuz Cem. «Burkulması Önlenmiş Çaprazlı (BÖÇ) Çelik Çerçeve Sistemlerinin İncelenmesi.» 3. Ulusal Çelik Yapılar Sempozyumu. Gaziantep: İMO, 2009. 277-282.
- Karimi S., and Arbabi F. «Seismic Evaluation and Cyclic Testing Of Buckling.» The 14th World Conference on Earthquake Engineering. Beijing, China, October 12-17, 2008.
- López Walterio A., Sabelli Rafael. «Seismic Design of Buckling-Restrained Braced Frames.» Steel Tips. San Francisco, CA, July 2004.

**KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)**

López Walterio, Sabelli Rafael. «Design of Buckling Restrained Braced Frames.» The Steel Conference. Modern Steel Construction, March 2004.

Standard, AISC. «Specification for Structural Steel Buildings.» American Institute Of Steel Construction, INC., 2005.

Standard, ASCE. «Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures.» Revision of ASCE 7-98. American Society of Civil Engineers.

Tsai C. S., Chen Wen-Shin, Yung-Chang Lin. «Full Scale Shaking Table Tests of A Steel Structure with Multi-Curved Buckling.» The 14. World Conference on Earthquake Engineering. Beijing, China.

Xie, Qiang. «Dual System Design Of Steel Frames Incorporating.» World Conference on Earthquake Engineering. Beijing, China, 2008.