

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ÇELİK ÇEKİRDEKLİ BİR BURKULMASI ÖNLENMİŞ ÇAPRAZIN (BÖÇ)
HİSTERETİK DAVRANIŞI VE BÖÇ'LÜ BİR ÇELİK BİNA TASARIMI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Seçkin ÇETİNKAYA

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Oğuz Cem Çelik

OCAK-2013

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ÇELİK ÇEKİRDEKLİ BİR BURKULMASI ÖNLENMİŞ ÇAPRAZIN (BÖÇ)
HİSTERETİK DAVRANIŞI VE BÖÇ'LÜ BİR ÇELİK BİNA TASARIMI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Seçkin ÇETİNKAYA
501101050**

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Oğuz Cem ÇELİK

OCAK-2013

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501101050 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Seçkin ÇETİNKAYA**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**Çelik Çekirdekli Bir Burkulması Önlenmiş Çaprazın (BÖÇ) Histeretik Davranışı ve Böç'lü Bir Çelik Bina Tasarımı**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Oğuz Cem ÇELİK**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Feridun ÇILI**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Z. Canan GİRĞİN
Yıldız Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **17 Aralık 2012**
Savunma Tarihi : **24 Ocak 2013**

Aileme,

ÖNSÖZ

Çelik Çekirdekli burkulması önlenmiş çaprazlar (BÖÇ) hakkında İstanbul Teknik Üniversitesi Yapı Mühendisliği ve Deprem Laboratuvarı'nda deneysel bir çalışma yapılmış ve sonrasında BÖÇ'ler kullanılarak tasarlanmış İTÜ Enerji Teknokent Arı - 6 Binası projesi incelenmiştir.

Bu çalışmada, bilgi ve deneyimleriyle bana yardımcı olan, çok değerli bilgilerini benimle paylaşan, kıymetli hocam Prof. Dr. Oğuz Cem ÇELİK'e, yardımlarından dolayı Dr. Çiğdem KARATAŞ AVCI'ya, İnş. Yük. Müh. Cem HAYDAROĞLU'na, İTÜ Yapı ve Deprem Mühendisliği Laboratuvarı (STEEL) çalışanlarına ve en son olarak da manevi desteklerini her zaman yanımda hissettiğim, maddi desteklerini ise her koşulda benden esirgemeyen annem Müjgan ÇETİNKAYA'ya, babam Seyfi ÇETİNKAYA'ya ve abim Yalçın ÇETİNKAYA'ya teşekkür ederim. Ayrıca, çalışma saatlerimdeki anlayışlarından dolayı ve her türlü yardımlarını benden esirgemeyen ARUP Müh. ve Müşavirlik firması çalışanlarına ve Büro İstanbul İnş. Müh. ve Müşavirlik Ltd. Şti. kurucuları İnş. Yük. Müh. Ömer YALÇIN ve İnş. Yük. Müh. Özkan YALÇIN'a da teşekkürü bir borç bilirim.

Çelik BÖÇ'ün üretim, montaj ve nakliyesi için ÇİMTAŞ A.Ş.'den Ar-Ge desteği sağlanmıştır. Üretimde gerekli olan yüksek dayanımlı dolgu malzemesi KÖSTER tarafından sağlanmıştır. Sürtünmesiz yüzey malzemesi olarak kendinden yapışkanlı Teflon bantlar kullanılmış ve Teflon bantların tamamı FIBERFLON tarafından karşılanmıştır.

Başta ana destekleyiciler TÜBİTAK-MAG ve İTÜ-BAP olmak üzere, değişik aşamalarda malzeme ve işçilik desteği sağlayan GEDİK KAYNAK A.Ş., TÜRK LOYDU, FENİŞ, AKGÜN BETON, SİNTA BETON, AS CİVATA, MİM MÜHENDİSLİK, IRMAK MAKİNA olmak üzere deneylerin yönlendirilmesinde önemli katkıları olan Doç.Dr. Cem YALÇIN'a, Dr. Cem DEMİR'e, Araş.Gör. Barış GÜNEŞ'e, Araş.Gör. Mustafa CÖMERT'e, Boğaziçi Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yapı Laboratuvarı personeli Teknisyen Hasan ŞENEL'e, Mak. Müh. Nedim KAYA'ya, Kaynak Mühendisi Mustafa Tümer'e, Araş. Gör. Cihan SOYDAN'a en içten dileklerle teşekkürlerimi sunarım.

Aralık 2012

Seçkin ÇETİNKAYA
İnşaat Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
SİMGELER	xi
KISALTMALAR	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xv
ŞEKİL LİSTESİ.....	xvii
ÖZET.....	xxiii
SUMMARY	xxv
1. GİRİŞ	1
1.1 Konu	1
1.2 Önceki Çalışmalar	3
1.3 BÖÇ'ün Bileşenleri ve Üretimi.....	9
1.4 BÖÇ'ün Davranışı ve Tasarım Ölçütleri.....	18
1.5 BÖÇ'ün Tümsel Stabilitesi ve Hesap Modelleri.....	20
1.6 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	22
2. ÇELİK ÇEKİRDEKLİ OLARAK ÜRETİLEN BİR BÖÇ'ÜN HİSTERETİK DAVRANIŞININ DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ	23
2.1 Malzeme Deneyleri	23
2.1.1 S355JR-KN Numunesi çekme deneyi.....	24
2.1.2 S355JR-N Numunesi çekme deneyi	25
2.2 BÖÇ Deney Aşamaları.....	31
2.2.1 BÖÇ' ün tasarımı	31
2.2.1.1 BÖÇ'ün birleşim detay hesabı.....	35
2.2.2 BÖÇ'ün üretim aşamaları	46
2.2.3 BÖÇ için deney düzeneğinin oluşturulması ve BÖÇ'ün düzeneğe montajı	50
2.2.4 Deney düzeneğine LVDT'lerin (Doğrusal Yerdeğiştirme Ölçer) montajı ..	52
2.3 BRBSC-2 Numunesi Deneyi.....	57
2.4 BÖÇ'ün Deney Sonrası İncelenmesi	63
3. BÖÇ 'ÜN HESAP MODELİ VE İTME (PUSHOVER) ANALİZİ.....	67
3.1 Hesap Modeli'nin Oluşturulması	67
3.2 İtme Analizi'nin Adımları.....	71
4. BÖÇ'LÜ BİR ÇELİK BİNA TASARIM ÖRNEĞİ	89
4.1 Genel Yapı Grubu Tanımları.....	89
4.2 Yapı Taşıyıcı Sistemi	91
4.3 Zemin Durumu ve Karakteristikleri	93
4.4 Yükler.....	93
4.4.1 Plak döşeme yükleri	93
4.4.2 Kaplama yükleri	93
4.4.3 Hareketli yükler.....	94

4.5 Genel Tasarım İlkeleri	94
4.6 Yükleme Süperpozisyon Katsayıları	95
4.7 Deprem Yükleri'nin Belirlenmesi	95
4.8 ETB Binası'nın Klasik Merkezi Çaprazlı Olarak Modellenmesi	96
4.8.1 Malzeme ve kesit bilgileri	97
4.8.2 Zemin sınıfı	100
4.9 ETABS Sonlu Elemanlar Programında Çözümün İncelenmesi	101
4.9.1 Deformasyon şekilleri ve periyodlar	101
4.9.2 Deprem hesabı	106
4.10 BÖÇ Tasarımı Akış Şeması	109
4.11 ETB Binası'nın BÖÇ'lü Olarak Modellenmesi	111
4.11.1 Malzeme ve kesit bilgileri	112
4.11.2 Deformasyon şekilleri ve periyodlar	116
4.11.3 Deprem hesabı	119
4.12 Klasik Çaprazlı Model ve BÖÇ'lü Modelin Karşılaştırılması	120
4.13 BÖÇ'ün Bulunduğu Çerçevede Kolon ve Kiriş Kontrolleri	124
4.13.1 Görelî kat ötelemelerinin kontrolü (AISC-LRFD'ye göre)	125
4.13.2 Merkezi V BÖÇ'lü çelik çerçeve hesabı	126
4.13.3 Arttırılmış çapraz dayanımlarının hesaplanması	127
4.13.4 Kiriş tasarımı (C4-5 Aksı -1.kat kirişi)	128
4.13.5 Kiriş tasarımı (C4-5 Aksı -2. kat kirişi)	136
4.13.6 Kolon tasarımı (C4 -1 Aksı 1. kat kolonu)	138
4.13.7 Kolon tasarımı (C4 -1 Aksı 2. kat kolonu)	143
4.14 Enerji Teknokent Projesi Şantiye Fotoğrafları	144
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	147
5.1 Deneysel Çalışmaya İlişkin Sonuçlar	147
5.2 BÖÇ'lü Çelik Bina Tasarımına İlişkin Sonuçlar	149
KAYNAKLAR.....	151
EKLER.....	155
ÖZGEÇMİŞ.....	166

SİMGELER

A_{con}	: Çekirdek elemanın birleşim bölgesi enkesit alanı,
A_{sc}	: Çekirdek elemanın akma bölgesi net enkesit alanı,
A_{tr}	: Çekirdek elemanın güçlendirme bölgesi enkesit alanı,
C_D	: Yerdeğiştirme büyütme katsayısı,
C_0	: Sistemin sönüm katsayısı,
E	: Elastisite Modülü,
E_i	: Çekirdek elemanın Elastisite Modülü,
E_0	: Dış tüp/dolgu malzemeli dış tüpün Elastisite Modülü,
$E_i I_i$	: Çekirdek elemanın eğilme rijitliği,
$E_0 I_0$	: Dış tüp/beton dolgulu dış tüp elemanın eğilme rijitliği,
$E_{tüp}$	: Yalnızca dış tüpün Elastisite Modülü,
F_u	: Çelik çekirdek kopma gerilmesi,
F_y	: Çelik çekirdeğin minimum akma gerilmesi,
F_{ysc}	: Çekirdek elemanın belirlenen minimum akma gerilmesi ya da kupon deneylerinden elde edilen gerçek akma gerilmesi,
h_i	: Kat yüksekliği,
H_N	: Bina toplam yüksekliği,
I_i	: Çekirdek elemanın atalet momenti,
I_0	: Dış tüp/dolgu malzemeli dış tüpün atalet momenti,
I_t	: Dış tüpün atalet momenti,
K	: Burkulma boyu katsayısı,
KL	: Etkin burkulma boyu,
L	: Çaprazın toplam uzunluğu,
L_{con}	: Çekirdek elemanın birleşim bölgesi uzunluğu,
L_{tr}	: Çekirdek elemanın güçlendirme bölgesi uzunluğu,
L_{ysc}	: Çekirdek elemanın akma bölgesi uzunluğu,
m	: Yapısal sistemin kütlesi,
M_{max}	: Maksimum moment,
n	: Bouch-Wen modelinde kullanılan boyutsuz bir parametre,
$P(t)$	: Çapraz etkiyen eksenel kuvvet,
P_{cr}	: Kritik tümsel burkulma yükü,
P_e	: Euler burkulma yükü,
P_y	: Çekirdek elemanın eksenel akma kuvveti,
P_{max}	: Maksimum basınç kuvveti,
P_u	: Çaprazlı birleşimin çekme ve basınçta sahip olması gereken dayanım
P_y	: Çekirdek elemanın eksenel akma kuvveti,
R	: Taşıyıcı sistem davranış katsayısı,
R_y	: Malzeme dayanım katsayısı,
T_{max}	: Maksimum çekme kuvveti,
$q(x)$	: Çekirdek elemanın, dışındaki dolgu malzemesi/dış tüpün oluşturduğu burkulmayı önleyen sisteme uyguladığı yayılı yük,

T_1	: Binanın birinci elastik titreşim periyodu (doğal periyod),
u_y	: BÖÇ' ün akmadaki yerdeğiştirmesi,
x	: Yerdeğiştirme değişkeni,
$y(x)$	: Yanal yerdeğiştirme,
α	: Akma sonrası rijitliğin elastik rijitliği oranı,
β	: Basınç dayanım düzeltme çarpanı,
Δ	: Tasarım kat ötelemesi,
Δ_{bm}	: Deney numunesinin tasarım kat ötelemesine karşı gelen yerdeğiştirme miktarı,
Δ_{by}	: Deney numunesinin ilk akmadaki yerdeğiştirme miktarı,
Δ_E	: Yönetmelikte belirtilen deprem kuvvetleri altındaki kat ötelemesi,
$\emptyset$	: Eksenel akma dayanım azaltma katsayısı,
ω	: Çekme dayanımı düzeltme çarpanı,
μ	: Ortalama sürtünme katsayısı

KISALTMALAR

AISC	: American Institute of Steel Construction
ASTM	: American Society for Testing and Materials
BÖÇ	: Burkulması Önlenmiş Çapraz
BRB	: Buckling Restrained Brace
BW	: Bouc-Wen Histeretik hesap modeli
DBYBHY	: Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik
ETB	: Enerji Teknokent Binası
FEMA	: Federal Emergency Management Agency
HAZ	: Heat Affected Zone
LVDT	: Doğrusal Değişken Diferansiyel Dönüştürücü
LRFD	: Load and Resistance Factor Design

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 :S355JR-12-KN malzemesinin boyutları (ASTM-A370' e göre).....	24
Çizelge 2.2 :S355JR-12-KN gerilme-şekildeğiştirme değerleri (yüzey okumaları).....	24
Çizelge 2.3 :S355JR-12-KN gerilme-şekildeğiştirme değerleri (kanal okumaları) ..	24
Çizelge 2.4 :S355JR-12-KN maksimum kuvvet ve kopma kuvveti.....	25
Çizelge 2.5 :S355JR-12-KN malzemesinin boyutları (ASTM-A370'e göre).....	25
Çizelge 2.6 :S355JR-12-N gerilme-şekildeğiştirme değerleri (yüzey okumaları)	25
Çizelge 2.7 :S355JR-12-N gerilme-şekil değıştirme değerleri (yüzey okumaları) ...	25
Çizelge 2.8 :Tasarımı yapılan numunenin çekirdek geometrik özellikleri.....	32
Çizelge 2.9 :Tasarımı yapılan numunenin dış tüp geometrik özellikleri.....	33
Çizelge 2.10 :BÖÇ'ü oluşturan malzemeler.....	36
Çizelge 2.11 :Bayrak levhası tasarım için gerekli bilgiler.....	41
Çizelge 2.12 :Mafsall plakası tasarım için gerekli bilgiler.....	43
Çizelge 2.13 :AISC-LRFD'ye göre bulon delik çapı ve ASTM 490-09'a göre malzeme özellikleri.....	45
Çizelge 2.14 :LVDT'lerin gösterimi.....	52
Çizelge 2.15 :LVDT ve Strain gauge yerleşimi ile kısa kodları.....	55
Çizelge 3.1 : Δ_{by} değerinin hesaplanması.....	68
Çizelge 3.2 :AISC10'daki yükleme protokolünün hesap modeline uyarlanması.....	69
Çizelge 3.3 :Hesap modeli rijitlikleri.....	69
Çizelge 3.4 :Hesap modeli yerdeğiştirme-kuvvet tablosu.....	70
Çizelge 3.5 :Çapraz çekme durumu için normal kuvvet mafsall tanımı katsayıları..	78
Çizelge 4.1 :Klasik çaprazlı sistem ile BÖÇ'lü sistemin karşılaştırılması.....	121
Çizelge 4.2 :Dışmerkez V BÖÇ'lü çerçevenin tasarım kat ötelemelerinin kontrolü.....	126
Çizelge 4.3 :Kontrol edilecek giriş özellikleri.....	129
Çizelge 4.4 :Yanal burkulmaya bağlı nominal eğilme momenti hesabı.....	132
Çizelge 4.5 :Eğilme ve eksenel basınç etkileşimi bağıntıları.....	134
Çizelge 4.6 :Kontrol edilecek giriş özellikleri (C4-5 aksı 2. kat girişı).....	136
Çizelge 4.7 :Kontrol edilecek kolon özellikleri (C4-5 aksı 1.kat kolonu).....	138
Çizelge 4.8 :C4 aksı 1.kat kolonunun $2.0\Delta_{bm}$ 'deki gereken eksenel dayanımı.....	142
Çizelge 4.9 :Kontrol edilecek kolon özellikleri (C4-5 aksı 2.kat kolonu).....	143

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1: Genel davranış özellikleri (a) Klasik çapraz (b) BÖÇ (Coffman Engineers, 2005).	2
Şekil 1.2: (a), (b) BÖÇ bileşenleri, (c) BÖÇ histeretik eğrisi ve (d) klasik çapraz histeretik eğrisi (Sabelli, R, Lopez, W.,A., 2004).	3
Şekil 1.3: YPBÖÇ özellikleri (a) YPBÖÇ enkesiti, (b) ve (c) diğer YPBÖÇ enkesitleri (Tsai K. ve diğ., 2004 , Chou C. ve diğ., 2010).	6
Şekil 1.4: YPBÖÇ açılımı (Tsai K. ve diğ., 2004, Chou C. ve diğ., 2010).	6
Şekil 1.5: Alüminyum çekirdek (Chun-Lin W. ve Usami T., 2012).	7
Şekil 1.6: Alüminyum alaşımlı BÖÇ'lü sistem enkesit özellikleri (Chun-Lin W. ve diğ., 2012).	7
Şekil 1.7: Betonarme kolonda BÖÇ sistemi uygulaması (a) Donatı tüp içine alınması ve (b) İki durum için deney sonuçları (Lukkunaprasit,P. ve diğ., 2011).	9
Şekil 1.8: BÖÇ bileşenleri (içeriden dışarıya doğru) çelik çekirdek, sürtünmesiz yüzey elemanı, çelik dış tüp (Iwata, M. ve diğ., 2000).	9
Şekil 1.9: (a) BÖÇ'ün şematik gösterimi, (b) Çekirdek elemanın bölgeleri ve (c) Akma bölgesi ile dolgu malzemesi arasındaki boşluk (Xie Q., 2005).	10
Şekil 1.10: BÖÇ boyuna kesit görünümü (Budapeşte Üniversitesi, 2011).	10
Şekil 1.11: Çeşitli BÖÇ enkesit biçimler (Xie Q., 2005).	11
Şekil 1.12: İncelenen BÖÇ enkesiti.	12
Şekil 1.13: BÖÇ boyuna kesiti.	12
Şekil 1.14: BÖÇ uç bölgesi.	13
Şekil 1.15: (a) Klasik çok bulonlu BÖÇ birleşimi, (b) Tek bulonlu tek tüplü çapraz, ve (c) Birden fazla dış tüplü tek bulonlu çapraz (Star Seismic).	14
Şekil 1.16: İstanbul Teknik Üniversitesi-Enerji Teknokent Projesi-BÖÇ uygulaması (a) BÖÇ'ün sistemdeki V görünüşü, (b) BÖÇ'ün şantiyede montajdan önceki durumu, (c) ve (d) uç detaylar, (e) BÖÇ'ün çerçevede ters V şeklinde görünüşü ve (f) BÖÇ'ün temele montaj detayı.	15
Şekil 1.17: İstanbul Teknik Üniversitesi-Enerji Teknokent Projesi-mesnet detayı (a) BÖÇ'ün mesnetlendiği kolon ayak detayı, (b) bayrak plakasının düzlem dışı burkulmasını önlemek için kullanılan koloncuk detayı, (c) ve (d) bayrak plakasındaki rijitleştirici plakaların gösterimi ve (e) kolon giriş birleşim bölgesindeki bayrak plakası detayı.	17
Şekil 1.18: BÖÇ'ün artan eksenel kuvvet etkisindeki davranışı.	18
Şekil 1.19: BÖÇ enkesiti üzerinde boşluğun gösterimi.	19
Şekil 1.20: Çekirdek ve dış tüp elemanların eksenel kuvvet altında etkileşimi (Black ve diğ., 2002).	20

Şekil 2.1 : ASTM-A370' e göre numunenin boyutlandırılması.....	23
Şekil 2.2 : Çelik numunelere ilişkin çekme deneyi (a) kupon deney numunesinin üzerinin kontrol için çizilmesi, (b) numunenin çekme deneyi için sisteme yerleştirilmesi, (c) çekme deneyi yapılırken pekleşmenin gözlenmesi ve (d) numunenin koptuktan sonraki şekli.	26
Şekil 2.3 : S355JR-12-KN numunesi çekme deneyi sonucu elde edilen gerilme-şekildeğiştirme diyagramı.....	27
Şekil 2.4 : S355JR-12-KN numunesi çekme deneyi sonucu elde edilen gerilme-şekildeğiştirme diyagramı.....	28
Şekil 2.5 : S355JR-12-N numunesi çekme deneyi sonucu elde edilen gerilme-şekildeğiştirme diyagramı.....	29
Şekil 2.6 : İki malzemeye ilişkin gerilme-şekildeğiştirme diyagramlarının karşılaştırılması.....	30
Şekil 2.7 : Tasarımı yapılan BRB-SC2 numunesinin geometrik özellikleri.....	34
Şekil 2.8 : Tasarımı yapılan BRB-SC2 numunesinin geometrik özellikleri.....	34
Şekil 2.9 : Tasarımı yapılan BRB-SC2 numunesinin enkesit özellikleri.....	34
Şekil 2.10 : Bayrak levhasında gerilmenin 30°'lik açılı ile yayılması (Whitmore, R.E., 1952).....	37
Şekil 2.11 : Düzlem dışı burkulmada, bayrak levhaları için gerekli minimum $2t_L$ maksimum $4t_L$ uzunlukları (a) ve (b) rijitleştirici plakaların farklı şekillerde montajı ve minimum $2t_L$ uzunluğu, (c) rijitleştirici plakasız $2 t_L$ uzunluğu (Astaneh-Asl ve diğ., 1998).....	37
Şekil 2.12 : (a) Bayrak levhası üzerinde Whitmore tarafından kabul edilen gerilme dağılışı, (b) Whitmore'un kabulünün kaynaklı bayrak levhalarına uygulanması (Astaneh-Asl ve diğ., 1982).	38
Şekil 2.13 : Numunelerin deney çerçevesine bağlantı detayları (a) Alt uç birleşim detayı (b) Üst uç birleşim detayı.	40
Şekil 2.14 : Bayrak Levhalarının burkulması ve burkulma kapasitesinin hesap modeli (Astaneh-Asl. A., 1998).....	42
Şekil 2.15 : BRB-SC2 numunesine ilişkin mafsallık plakası detayı.....	44
Şekil 2.16 : Çelik çekirdek kesim işlemi (a) 12mm kalınlığında plakanın kesim işlemi, (b) 12mm plakanın farklı açıdan kesim işlemi.	47
Şekil 2.17 : Çelik çekirdekte güçlendirme bölgesinin oluşturulması (a) tam penetrasyonlu küt kaynak ile haç şeklinde güçlendirme bölgesinin oluşturulması ve (b) çelik çekirdeğin akma bölgesi ile güçlendirme bölgelerine ayrılmış durumu.	47
Şekil 2.18 : Strain gauge yerleştirilmesi (a) strain gauge'in çelik çekirdekte açılan yuvaya yerleştirilmesi ve (b) yerleştirme işleminin akma bölgesi boyunca devam etmesi.	48
Şekil 2.19 : Çekirdeğin teflon ile sarılması (a) akma bölgesinde çekirdeğin teflon ile sarılması, (b) sarılma işleminin güçlendirme bölgesinde devam etmesi ve (c) çelik çekirdeğin teflon ile sarılmış son durumu.....	48
Şekil 2.20 : Harç dökümü ve çelik çekirdeğin sarılması işlemi (a) ve (b) harç hazırlanma işlemi, (c) harcın mukavemeti ölçmek amacıyla küplere dökülüp basınç testi için bekletilmesi, (d) ve (e) çelik tüpün içine harç doldurulup mukavemetini alması için bekletilmesi ve (f) çekirdeğin içindeki strain gauge'in çalışıp çalışmadığının kontrol edilmesi.....	49
Şekil 2.21 : BRB-SC2 numunesinin deney düzeneği ile birlikte görünüşü.....	50

Şekil 2.22 :BRB-SC2 numunesinin montajı (a) actuatorun çelik kolona bağlantısı, (b) deney düzeneğinin montaj öncesi görünümü, (c) üst uç bayrak plakasının kolona bulonlu montajı, (d) alt uç bayrak plakasının kirişe bulonlu montajı, (e) numunenin alt ucunun bulonlarının sıkılması, (f) montaj sonrasında üst ucun son durumu ve (g) montajı tamamlanmış numunenin görünüşü.	51
Şekil 2.23 :LVDT'lerin yerleşimi.	53
Şekil 2.24 :LVDT ve Strain gauge yerleşimleri (a) alt uç bayrak plakası arkası LVDT yerleşimi, (b) kolon kuzey doğrultuda LVDT yerleşimi, (c) üst uç bayrak plakası üstü kolon LVDT yerleşimi, (d) BÖÇ'ün boyuna doğrultuda alt uç LVDT yerleşimi, (e) kolon ve kiriş güney bölgesi LVDT yerleşimi ve (f) BÖÇ boyuna doğrultuda alt ve üst uca bağlanan LVDT'ler.	56
Şekil 2.25 :AISC - 341-10'a göre yükleme protokolü.	57
Şekil 2.26 :Yatay yerdeğiştirme - kuvvet histeretik eğrisi.	58
Şekil 2.27 :TURKBRACE-BRBSC2 numunesi deney fotoğrafları (a) Genel görünüş, (b) $-1/4\Delta_{by}^E$ de 1.77mm (%0.10 görelî ötelenme oranı) yatay yerdeğiştirmede alt birleşim düzlem dışı elastik davranış, (c) $+3/4\Delta_{by}^E$ seviyesinde ve 5.30mm (%0.28 görelî ötelenme oranı) yatay yerdeğiştirmede alt uç elastik davranış, (d) $-3/4\Delta_{by}^E$ seviyesinde ve 5.30mm yatay yerdeğiştirmede üst uç elastik davranış, (e) $+\Delta_{by}^E$ seviyesinde +6.98mm (%0.38 görelî ötelenme oranı) yatay akma yerdeğiştirmesinde eksenel alt uç açılımı ve (f) $+\Delta_{by}^E$ seviyesinde +6.98mm yatay akma yerdeğiştirmesinde eksenel üst uç açılımı.	60
Şekil 2.28 :TURKBRACE-BRBSC2 numunesinin deneyden sonra incelenmesi(a) numunenin kesildikten sonra bileşenleri ile birlikte gösterimi, (b) güçlendirme bölgesi ve boşlukta hasar meydana gelmemesinin tespiti, (c) ve (d) HAZ bölgesinde kopma, (e) dış tüp çıkarıldıktan sonra çelik çekirdeğin görünümü, (f) HAZ bölgesinde.	65
Şekil 3.1 :BÖÇ'ün yerdeğiştirmesi -parametreler.	67
Şekil 3.2 :AISC'10 a göre BÖÇ hesabı.	68
Şekil 3.3 :Hesap modeli oluştururken rijitliklerin birbiri ile bağlantıları.	70
Şekil 3.4 :Hesap modeli oluştururken rijitliklerdeki değişim (Dutta&Hamburger , 2006).	71
Şekil 3.5 :BÖÇ akma bölgesi için kullanılacak malzeme deneylerinden alınan değerler.	72
Şekil 3.6 :Güçlendirme bölgesi için rijit malzeme tanımı.	72
Şekil 3.7 :Tanımlanan kesitler (a) Güçlendirme bölgesi için RIJIT malzeme atanmış 100cm-50cm ebatlarındaki kesit (b) Akma bölgesi için tanımlanmış 1.2cm-2.5 cm ebatlarındaki S355JR-MALZEME TESTİ atanmış PL12/25 kesiti.	73
Şekil 3.8 :Laboratuvardaki kolon ve kirişin çelik malzemesi.	73
Şekil 3.9 :Laboratuvardaki kolon ve kiriş kesiti.	74
Şekil 3.10 :Deney düzeneğinin SAP 2000'de oluşturulması, kesit görünümü.	74
Şekil 3.11 :Deney düzeneği atanmış kesit isimleri.	75
Şekil 3.12 :Sap modeli düğüm noktaları.	75
Şekil 3.13 :İtme analizi için doğrusal olmayan yük tanımları.	76
Şekil 3.14 :PUSH yükleme durumu.	76
Şekil 3.15 :Deplasman kontrol bilgileri.	77
Şekil 3.16 :Çözümleri kaydetme ölçütleri.	77

Şekil 3.17 :Doğrusal olmayan yük parametreleri.	78
Şekil 3.18 :Çekme ve basınç durumları için plastik mafsalları tanımı.	79
Şekil 3.19 :PL12/25 kesitine normal kuvvet mafsalları atanması.....	80
Şekil 3.20 :Load case YATAY'ın çekme etkisi.	80
Şekil 3.21 :Load case YATAY'ın basınç etkisi.	81
Şekil 3.22 :FEMA 356'ya göre basınç ve çekme için itme analizi diyagramı.	81
Şekil 3.23 :FEMA 356 'ya göre basınç ve çekme için itme analizi sonuçlarının tablolaştırılmış durumu.....	82
Şekil 3.24 :Hesap modeli ile itme analizi sonuçlarının karşılaştırılmış durumu.	84
Şekil 3.25 :Deney, hesap modeli ile itme analizi sonuçlarının karşılaştırılmış durumu	85
Şekil 3.26 :Deney sonucunda ω ve β değişimi.	86
Şekil 3.27 :Deney sonucunda rijitlik değişimi.	86
Şekil 3.28 :Deney sonucunda elde edilen Ayrık Enerji diyagramı.....	87
Şekil 3.29 :Deney sonucunda elde edilen kümülatif Ayrık Enerji diyagramı.	87
Şekil 3.30 :Etkin sönüm oranları.	88
Şekil 3.31 :Deneyden elde edilen kuvvet-yerdeğiştirmeler ile AISC 341'e göre hesap modeli.	88
Şekil 4.1 :İTÜ ETB, Anahtar Vaziyet Planı.....	89
Şekil 4.2 :Blok Şeması.....	90
Şekil 4.3 :ETB Tipik Panelin Döşeme Sistemi.....	92
Şekil 4.4 :ETB Tipik BÖÇ ve Sistem Kesiti.....	92
Şekil 4.5 :Çelik Kalitesi.....	97
Şekil 4.6 :Beton Kalitesi.....	97
Şekil 4.7 :Çelik kolon boyutları.....	98
Şekil 4.8 :Çelik kiriş boyutları.....	98
Şekil 4.9 :Çelik çapraz boyut.....	99
Şekil 4.10 :(a) Betonarme temel, (b) öngerilmeli boşluklu döşeme panelleri ve (c) kompozit döşeme tanımları.....	99
Şekil 4.11 :Z2 zemin sınıfı spektrumu.....	100
Şekil 4.12 :Üç boyutlu görünüş-klasik merkezi çaprazlı model.....	101
Şekil 4.13 :Deformasyon şekli.....	101
Şekil 4.14 :Deformasyon şekli.....	102
Şekil 4.15 :6 D-C aksları arası 3. kat kirişi (a) G+Q yüklemesi altında kesit tesirleri,(b) Q (LIVE) yüklemesi altında kesit tesirleri ..	103
Şekil 4.16 :7 D-C aksları arası 3. kat kirişi (a) G+Q yüklemesi altında kesit tesirleri,(b) Q (LIVE) yüklemesi altında kesit tesirleri ..	103
Şekil 4.17 :4 D-C aksları arası 3. kat kirişi (a) G+Q yüklemesi altında kesit tesirleri, (b) Q (LIVE) yüklemesi altında kesit tesirleri ..	104
Şekil 4.18 :Spec1, X doğrultusu deformasyon şekli.....	104
Şekil 4.19 :Spec2, Y doğrultusu deformasyon şekli.....	105
Şekil 4.20 : $T_x=0.75s$	105
Şekil 4.21 : $T_y=0.62s$	106
Şekil 4.22 :Ölü ve hareketli yük katılım katsayıları.....	107
Şekil 4.23 :Deprem parametreleri (a) X doğrultusu ve (b) Y doğrultusu...107	
Şekil 4.24 :ETABS programından elde edilen zemin kat kesme kuvvetleri.....	108
Şekil 4.25 :Üç boyutlu görünüş-BÖÇ'li model.....	111
Şekil 4.26 :BÖÇ malzemesi.....	112
Şekil 4.27 :BRB-20x50.....	112
Şekil 4.28 :BRB-20x80.....	113
Şekil 4.29 :BRB-20x85.....	113

Şekil 4.30 :BRB-40x55.....	113
Şekil 4.31 :BRB-40x70.....	114
Şekil 4.32 :BRB-40x90.....	114
Şekil 4.33 :ETB binası C aksı.....	115
Şekil 4.34 :ETB binası 3'aksı.....	115
Şekil 4.35 :ETB binası 8 aksı.....	116
Şekil 4.36 :Deformasyon şekli.....	116
Şekil 4.37 :Deformasyon şekli.....	117
Şekil 4.38 :Spec1, X doğrultusu deformasyon şekli.....	117
Şekil 4.39 :Spec2, Y doğrultusu deformasyon şekli.....	118
Şekil 4.40 : $T_x=0.96s$	118
Şekil 4.41 : $T_y=0.80s$	119
Şekil 4.42 :Deprem parametreleri (a) X doğrultusu ve (b)Y doğrultusu	120
Şekil 4.43 :ETABS programı zemin kat kesme kuvvetleri.....	121
Şekil 4.44 :Klasik çaprazlı ve BÖÇ'lü modelin yerdeğiştirme değerleri.....	122
Şekil 4.45 :Klasik çaprazlı ve BÖÇ'lü modelin görel kat ötelemeleri.....	123
Şekil 4.46 :Klasik çaprazlı ve BÖÇ'lü modelin kesme kuvvetleri.. ..	123
Şekil 4.47 :Klasik çaprazlı çözüm ile BÖÇ'lü çözümün ağırlık karşılaştırması....	124
Şekil 4.48 :Kontrol edilen BÖÇ'lü Çerçeve (Plan)	124
Şekil 4.49 :Kontrol edilen BÖÇ'lü Çerçeve (Görünüş)	125
Şekil 4.50 :Kontrol edilen BÖÇ'lü çerçevede kesit özellikleri	125
Şekil 4.51 :AISC-LRFD'ye göre görel kat öteleme	126
Şekil 4.52 :Dayanım katsayıları - şekil değiştirme diyagramı.....	128
Şekil 4.53 :Kompakt ve kompakt olmayan elemanlar için narinlik sınırları.....	129
Şekil 4.54 :Basınç kuvveti-Narinlik ilişkisi	130
Şekil 4.55 :Eğilme momenti kapasitesi-yanal burkulma uzunluğu.....	132
Şekil 4.56 :Narinlik koşulu ve kesme kapasitesi arasındaki ilişki.....	133
Şekil 4.57 :Kolon - kiriş ve BÖÇ'teki kesit tesirleri gösterimi.....	135
Şekil 4.58 :Kat düğüm noktaları ve kesit tesirleri gösterimi.....	142
Şekil 4.59 :ETB Binası öngerilmeli boşluklu döşeme panelleri yerleştirilmesi ve BÖÇ'lerin yerleşimi.....	145
Şekil A.1 :Numuneye yerleştirilen straingauge'lerden elde edilen şekildeğiştirme.....	156
Şekil B.1:A-C-D Blok'ları +4.540 kotu kat planı.....	158
Şekil B.2:B-E-F Blok'ları +4.540 kotu kat planı.....	159
Şekil C.1:BÖÇ üreticisinden gelen kuvvetlere göre BÖÇ tasarımı.....	160
Şekil C.2:BÖÇ üreticisinden gelen ön boyutlara göre detay tasarımı.....	161
Şekil C.3:BÖÇ üreticisinden gelen son BÖÇ tasarımı.....	162
Şekil D.1:Bölüm 4.13.2 'de örnek çerçeve için hesabı yapılan $P_u/\Phi P_{ysc}$ 'nin tüm BÖÇ'ler için oranları.....	163
Şekil D.2:Bölüm 2.2.1.1'e bağlı olarak detay tasarımı.....	164
Şekil E.1:İTÜ ETB Projesi en kritik çerçeve detay çizimi.....	165

ÇELİK ÇEKİRDEKLİ BİR BURKULMASI ÖNLENMİŞ ÇAPRAZIN (BÖÇ) HİSTERETİK DAVRANIŞI VE BÖÇ'LÜ BİR ÇELİK BİNA TASARIMI

ÖZET

Bu çalışma, Burkulması Önlenmiş Çapraz'ın (BÖÇ) kuramsal olarak incelenmesini ve numune tasarımı yapıp, üretiminin gerçekleşmesi sonrasında İstanbul Teknik Üniversitesi Yapı ve Deprem Mühendisliği Laboratuvarı'nda (STEEL) deneysel olarak incelenmesini içermektedir. Ayrıca, Star Seismic firması tarafından üretimi yapılan BÖÇ'ler kullanılarak inşa edilen İTÜ Enerji Teknokent Arı 6 Projesi de Türkiye'de bu tür çaprazların ilk kez uygulanması nedeniyle tez kapsamında incelenmiştir. Çalışma beş ana bölümden oluşmaktadır:

Çalışmanın birinci bölümünde, BÖÇ'ler hakkında geçmişten günümüze bir literatür araştırması yapılmıştır. BÖÇ'lerin davranışı hakkında varolan bilgilere ulaşılmış; değinilen önemli noktalar bu bölümde belirtilmiştir. BÖÇ'lerle ilgili olarak hangi konularda eksiklikler olduğu, daha iyi bir performans elde edilebilmesi için neler yapılması gerektiği üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Deneysel çalışmada kullanılacak BÖÇ enkesiti seçilip, bu enkesit hakkında gerekli bilgi verilmiştir. Bunlara ek olarak, BÖÇ'ün tümsel stabilitesi ve hesap modelleri üzerinde durulmuştur. Örnek bir BÖÇ projesinden yapım aşamasına ilişkin şantiye fotoğrafları verilmiştir. Diğer bölümlerde yapılacaklar hakkında aşamalı olarak bilgiler sunulmuştur.

İkinci bölümde, öncelikle ASTM 370'e göre tasarlanan iki adet S355JR yüksek dayanımlı çelik kullanılarak çekme numuneleri üretilmiştir. İTÜ Malzeme Anabilim Dalı Laboratuvarı'nda çekme (kupon) deneyleri yapılmış, sonuçları değerlendirilmiştir. Sonrasında, aynı çelik kalitesi kullanılarak AISC 341 2010'a göre çelik çekirdek tasarımı yapılmıştır. Buna bağlı olarak sürtünmesiz yüzey malzemesi olarak teflon ile kullanılacak harç belirlenmiştir. Dış tüp tasarımı yapılmıştır. Güçlendirme bölgesinin elastik tasarımına yönelik bilgiler verilmiştir. AISC LRFD 2010'a göre detay hesabı yapılmış, TURKBRACE-BRBSC2 olarak isimlendirilen BÖÇ'ün üretimi gerçekleştirilmiş ve deney düzeneği oluşturulmuştur. AISC 341'e göre yükleme protokolü belirlenip, İTÜ Yapı ve Deprem Mühendisliği Laboratuvarı'nda numune deneysel olarak incelenmiş ve sonuçları irdelenmiştir.

Deneysel çalışmanın sonuçlarını kontrol etmek amacıyla AISC 341'10 ve belirtilen diğer yayınlardan yararlanılarak bir hesap modelinin oluşturulması Bölüm 3'te ele alınmıştır. Bu hesap modelinde çekme deneylerindeki sonuçlar kullanılmıştır. Ayrıca, FEMA 356'ya bağlı olarak SAP 2000'de TURKBRACE-BRBSC2 adlı numune modellenmiş, malzeme çekme deneylerindeki sonuçlar kullanılarak statik itme analizi (pushover) yapılmıştır.

Elde edilen statik itme analizinden kuvvet-yerdeğiştirme eğrisi ile oluşturulan hesap modeli kuvvet-yerdeğiştirme eğrisi karşılaştırılarak uyumluluğu incelenmiştir. Son olarak da hesap modeli ve itme analizi eğrileri ile deney sonuçlarından elde edilen kuvvet-yerdeğiştirme histeretik eğrisi birlikte çizilerek uyumluluk kontrolü yapılmış ve bu çalışmaların gerekliliği hakkında bilgiler verilmiştir.

Bu bölümde kuramsal çalışma ile deneysel çalışma arasındaki uyum açıklandıktan sonra deneysel çalışmadan elde edilen ve BÖÇ davranışında önemli olan değişkenlerin açıklanmasına ayrılmıştır. Bunlar arasında çevrim sayısına bağlı olarak β (basınç dayanım düzeltme çarpanı) ve ω (pekleşme düzeltme çarpanı) değerlerinin değişimi, çevrim sayısına bağlı olarak ayrık ve kümülatif enerji yutma diyagramları, etkin sönüm oranları, çevrim sayısına bağlı olarak elastik eksenel rijitlikteki değişim ve numunenin çeşitli bölümlerine yapıştırılmış olan strain gauge'lerden elde edilen yatay kuvvet-şekildeğiştirme diyagramları verilmiştir.

Tez yürütücüsünün de içinde bulunduğu yapısal tasarım grubu tarafından BÖÇ'lü bir çelik yapı (İTÜ Enerji Teknokent Arı 6) projesinin tasarım aşamaları incelenmiştir. Bina öncelikle klasik çaprazlı olarak modellenmiş ve sistemin davranış özellikleri belirlenmiştir. Sonrasında ETB Binası BÖÇ kullanılarak modellenmiş, tasarım aşamaları adım adım açıklanarak bir akış diyagramı şeklinde özetlenmiştir. Sistemin davranış özellikleri (yerdeğiştirmeler, görelî kat ötelemeleri, taban ve kat kesme kuvvetleri, bina rijitlikleri ve yapı ağırlıkları) belirlenmiştir. Bu bilgiler ışığında iki sistem karşılaştırılmıştır. En çok zorlanan çerçeve seçilerek kolon ve kirişlerinde AISC-LRFD'ye göre tasarım kontrolleri yapılmıştır. Ayrıca yapımı devam etmekte olan ETB Binası'na ilişkin fotoğraflara da bu bölümde yer verilmiştir.

Beşinci bölümde, çalışma ana hatlarıyla özetlenmiş, ulaşılan sonuçlara yer verilmiş ve BÖÇ tasarımına yönelik çeşitli önerilerde bulunulmuştur.

HYSTERETIC BEHAVIOR OF STEEL CORE BUCKLING RESTRAINED BRACE (BRBs) AND DESIGN OF A STEEL BUILDING INCORPORATING BRBs

SUMMARY

This study describes an experimental investigation on the inelastic behavior of Buckling Restrained Braces (BRBs). Also, the design steps of a steel building incorporating BRBs is explained. The thesis consists of five main chapters:

The first section deals with the objectives and scope of this study. Conceptual issues about BRBs and their historical evolution are given briefly. A detailed literature review about the recent experimental and theoretical works is added. BRBs consist of three principal components: a steel core coated with an "unbonding" substance, concrete (mortar) infill and restrainer steel tube. Especially the steel core plays the primary role by providing the necessary resistance to any applied axial forces. To enhance the behavior under compression by prohibiting buckling, the core is encased in a concrete/mortar filled sleeve. This enables the brace to take advantage of the compressive strength of steel. To preclude bonding between the mortar and steel core an "unbonding" material is applied on to the steel. This enables the BRB axial forces to be restricted to the steel core. Due to the importance of this material, BRBs are often referred as "unbonded braces". The principal advantage of BRBs is their ability to yield both in compression and in tension. In comparison, typical braces such as a steel tube (HSS) or I-beam wide flange section is weaker in compression due to its tendency to global and local buckling. As BRBs resist buckling, they exhibit an almost symmetric hysteric behavior that is more stable than typical buckling braces. In addition, the mechanics of BRBs are given by using the Euler's buckling analysis.

This commercially available seismic braces enhance the earthquake resistance of building structures by providing supplemental strength and dissipating energy. In addition, the buckling restrained braced frame is a relatively new type of Concentrically Braced Frame (CBF) that incorporates the use of BRBs to be principal bracing members.

Section 2 covers the experimental study about BRBs. In order to provide yield and tensile strengths of steel material used in the BRB specimen, two coupons were prepared and tested in accordance with ASTM A370 in Structural Materials Laboratory of Civil Engineering Faculty at ITU. The BRB specimen was designed after having characteristic values of steel used. Detailed BRB specimen design including steel core and restrainer tube designs was carried out. The steel core was designed in accordance with the Seismic Provisions (AISC 341), and the restrainer tube was designed to Euler's buckling theory to restrain the steel core from buckling. The unbonded material and mortar used between unbonded material and restrained tube were selected after different materials comparisons. All connections and gusset plates were designed in accordance with AISC-LRFD. After manufacturing process, the specimen, named TURKBRACE-BRBSC2, was cyclically tested according to

AISC 341 in a versatile test setup specially designed for steel brace tests at ITU Structural and Earthquake Engineering Laboratory (STEEL).

Section 3, theoretical investigations are presented for TURKBRACE-BRBSC2 specimen. A general structural analysis program, SAP 2000, was selected for this purpose. All calculations were carried out accordance with AISC 341. Pushover analysis was conducted per FEMA 356 using the material properties obtained from the coupon tests.

Structural analysis per AISC 341 were carried out to obtain the characteristic factors, such as β (strength adjustment factor) and ω (strain-hardening adjustment factor), of the BRB specimen. The specimen characteristic values of T_y (tension yield force), T_{max} (max. tension force), P_{max} (max. compression force) and Δ_{by} (displacement of steel core at first yield point) were also calculated. A displacement controlled loading protocol was adopted.

FEMA 356 was adopted in order to achieve the pushover analysis. Plastic hinges were defined and assigned for the critical sections of the specimen in the structural model. A force-displacement curve was plotted as a result of the analysis, and compared with the curve obtained from this experimental study.

All other graphs and curves related to BRB behavior, such as strain gauge (horizontal force versus strain), β and ω factors (β and ω versus each cycle), elastic axial stiffness of core (K versus each cycle), discrete energy (discrete energy versus each cycle), cumulative dissipated energy (cumulative energy versus each cycle), and effective damping ratio (effective damping ratios versus each cycle) graphs, are given.

The section 4 is attributed to a case study showing the application of BRBs in a steel building for the first time in Turkey. ITU Energy Teknokent Building Arı-6 project, located on Ayazaga Campus, was designed using BRBs in a chevron braces configuration.

A three dimensional (3D) structural model was prepared in order to represent structural and dynamic characteristics of the building with ETABS, which is a specialized structural analysis program on building type structures. Seismic analysis is performed using modal superposition method in both orthogonal directions.

To compare and evaluate the effectiveness of BRBs, Teknokent project was firstly designed with conventional chevron braces with $R=6$ (concentrically braced steel frames with high ductility level). Periods, displacements, stresses, drifts etc. of the building were obtained and checked in accordance with "Specification for Building to be Built in Seismic Zone-2007". A collaborative study was carried out with Star Seismic being the BRB manufacturer for this project. Axial forces of the braces were listed and sent to Star Seismic in order to design more proper BRB sections. ETABS models have been updated according to feedback from the responsible firm. R was taken as 8 assuming high ductility level system. All behavioral values of the building were checked again according to the design flowchart obtained from Star Seismic. Finally, CBF and BRBF systems were compared in a table in terms of a first elastic vibration periods, base shear forces, max. drifts, total columns and beams weights and the system total weight. Generated graphs showing each story level displacements, drifts, and shear forces were given as well. Advantages and disadvantages of these two system were explained with the light of these data.

In the last section, the study is substantially summarized and the results from these parametric and experimental studies are presented. Various suggestions are made on BRBs and BRBF systems.

1. GİRİŞ

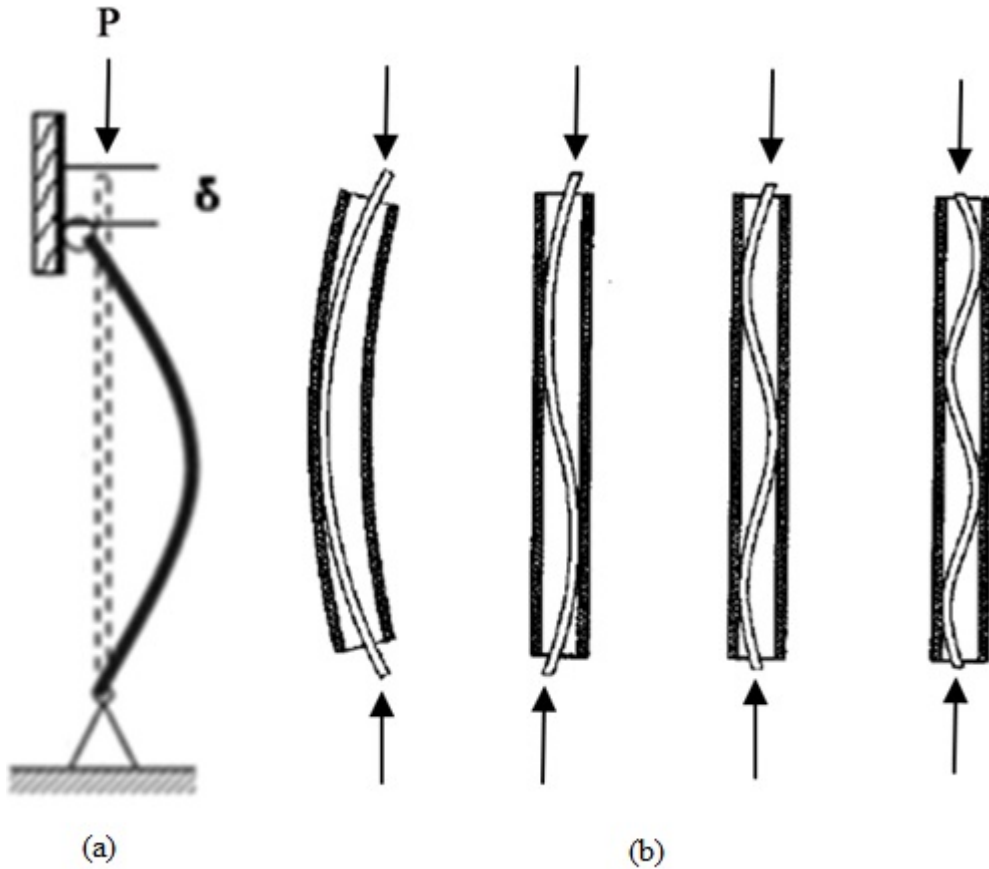
1.1 Konu

Çelik çaprazlar, çelik ve betonarme binalarda rüzgâr ve deprem gibi yatay yüklere karşı binanın stabilitesini sağlamak, yeterli düzeyde sünek, rijit ve dayanımı yüksek bir performans elde edilmesi için sıkça uygulanmaktadır. Özellikle, orta yükseklikte ve yüksek binalarda en büyük sorunlardan birisi olan kat ötelemelerinin büyük etkileri vardır. Yatay yüklerin tekrarlı ve yön değiştiren özelliğinden dolayı klasik çaprazlarda, şiddetli depremlerde, çekme ve basınçta elastik ötesi şekildeğıştirmeler meydana gelmektedir. Genelde narin elemanlardan oluşturulan çaprazlar basınç kuvveti altında burkularak eksenel doğrultuda ve düzlem dışına doğru büyük yerdeğıştirmeler yapmaktadır. Bu tür elemanlarda herhangi bir nedenle meydana gelmesi olası taşıma gücü kaybı, çerçeve ötelemesinin istenmeyen düzeylere ulaşmasına neden olmakta, hatta katlar arası önemli dayanım kriteri fazlalıkları sonucu zayıf/yumuşak kat problemleri izlenebilmektedir. Son depremler, binalarda kararlı enerji yutulmasının ve kat ötelemelerinin kabul edilebilir düzeylerde tutulabilmesinin son derece önemli olduğunu göstermiştir (Black ve diğ., 2002).

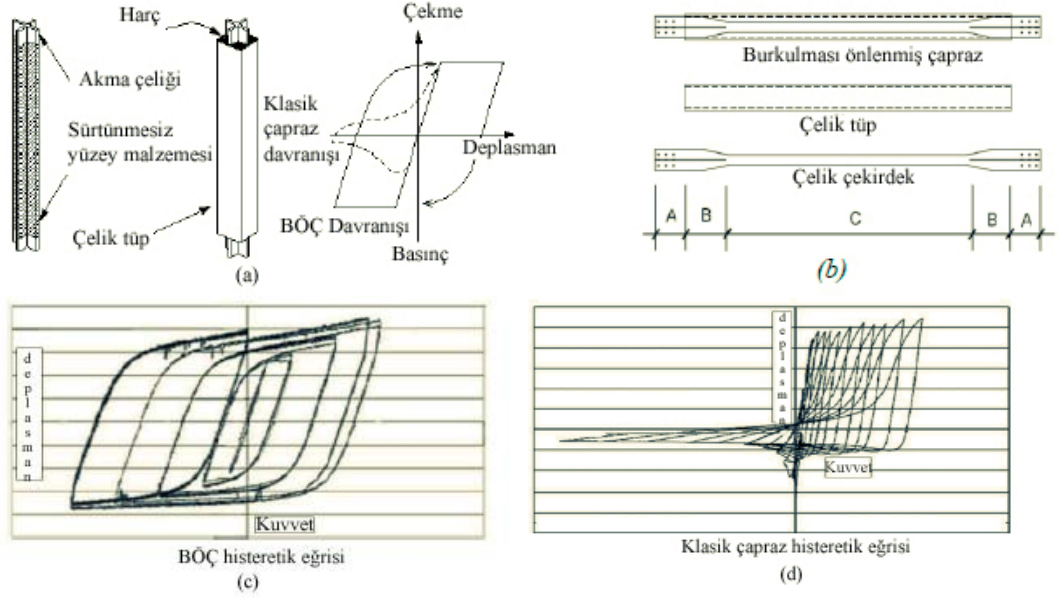
Burkulması önlenmiş çaprazlar (BÖÇ), Japonya ve ABD’de özellikle binalarda uygulamaları giderek artan bir tür mekanik sönümleyicilerdir. BÖÇ'lü çerçeveler mevcut betonarme ya da çelik binaların rijitlik ve dayanımlarının artırılması için güçlendirme amacıyla, yeni binalarda ise etkin enerji yutma elemanı olarak kullanılabilir. Köprülerde de özellikle sünek enerji yutma elemanları olarak uç diyaframlarda kullanılması önerilmiştir (Çelik ,O.,C., ve Bruneau, M., 2012). Klasik çaprazların aksine BÖÇ basınç etkisinde burkulmamakta ve büyük boyuna şekildeğıştirmeler yaparak, kopmadan önemli ölçüde enerji yutmaktadır. Narin, burkulması önlenmemiş klasik bir çaprazın burkulma modu Şekil 1.1 (a)'da verilmiştir.

Tipik bir BÖÇ genellikle dört parçadan oluşmaktadır: Burkulması önlenen ve aksenal kuvveti taşıyan çelik çubuk “çekirdek eleman”, çekirdek elemanın burkulmasını önleyen ve ekseni doğrultusunda çok küçük ya da sıfır yük alan dış eleman ise “dış tüp” olarak isimlendirilmektedir. BÖÇ’ün diğer bileşenleri ise dış tüple birlikte burkulmayı önleyen sistemi oluşturan “dolgu malzemesi” ve çekirdek eleman ile dolgu malzemesi arasında görev yapan “sürtünmesiz yüzey malzemesi” dir.

BÖÇ’ün tekrarlı yükler altındaki tam ve dengeli histeretik davranışı, dış tüpten bağımsız olarak, çekirdek elemanın boyuna doğrultusundaki şekildeğiştirmesine izin verilerek ve çekmede olduğu gibi basınçta da elastik olmayan şekildeğiştirmeler yaparak, enerji yutulmasıyla sağlanır. Çekirdek eleman akarak δ kadar aksenal yerdeğiştirdiğinde yanal yerdeğiştirmesi dış tüp+dolgu malzemesi tarafından tutulurken, iki eleman arasındaki sürtünmesiz yüzey de aksenal kuvvetin dış tüpe aktarılmasını engellemektedir (Şekil 1.1 (b)). Ayrıca, Şekil 1.2’de BÖÇ’ün bileşenlerini, klasik çapraz ile BÖÇ’ün davranışları gösterilmektedir.



Şekil 1.1: Genel davranış özellikleri (a) Klasik çapraz (b) BÖÇ (Coffman Engineers, 2005).



Şekil 1.2: (a), (b) BÖÇ bileşenleri, (c) BÖÇ histeretik eğrisi ve (d) klasik çapraz histeretik eğrisi (Sabelli, R, Lopez, W.,A., 2004).

1.2 Önceki Çalışmalar

BÖÇ'lü çelik çerçevelere ilişkin ilk deneysel ve kuramsal çalışmalar Japonya'da Wakabayashi ve diğ. (1973) tarafından yapılmıştır. Çelik levhalardan üretilmiş çapraz bir çift prekast betonarme eleman ile sıkıştırılarak sandviç denilen bir sistem elde edilmiştir. Prekast levhalar ile çelik levhalar arasında sürtünmesiz yüzey oluşturulmuş ve çekip çıkarma deneyleri yapılmıştır. Betonarme panellerin rijitlik ve dayanımlarını incelemek amacıyla basınç deneyleri yapılmıştır. Ayrıca birleşim detaylarını incelemek amacıyla birleşim deneyleri ve alt sistem davranışını incelemek amacıyla iki katlı çerçeve deneyleri gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak, çelik plakaların uniform olarak şekil değiştirdiği basınçtaki dayanımının çekmedeki dayanımından büyük olduğu ve yapılan bu çalışmalarda kullanılan prekast beton malzemesinin dayanım, rijitlik ve donatıları üzerinde çalışmalar ilerletilmiştir.

Kimura ve diğ. (1976) çelik çekirdeğin dolgu malzemeli çelik dış tüp ile sarıldığı ilk deneysel çalışmaları yapmışlardır. Yapılan deneylerde basınç durumunda çelik çekirdek ile dolgu malzemesi birlikte çalışma eğilimi göstermiş ve sürtünmesiz yüzey oluşturmada sıkıntıların ortaya çıktığı saptanmıştır. Dış tüpün çelik çekirdeğin burkulmasında etkili olduğu ve çelik çaprazın basınçta çekmeye göre daha yüksek bir dayanım değeri alması bu çalışmanın sonuçlarındandır.

Takeda ve diğ. (1979) çelik çekirdek ile dolgu malzemesi arasına uzun ve dar kesikler bırakılarak oluşturulan sürtünmesiz yüzeyli çaprazların yön değiştiren tekrarlı yükler altındaki davranışlarını incelemişler ve dış tüpün Euler burkulma yükünün çelik çekirdeğin akma yüküne oranının en az 1.9 alınması gerektiğini önermişlerdir. Böylece çelik çekirdeğin burkulmayarak çaprazın istenilen mükemmel histeretik davranışı gösterdiği belirtilmiştir.

Mochizuki ve diğ. (1979) sürtünmesiz yüzeyin önemine dikkat çekerek literatürde bu alanda ilk deneysel çalışmayı yapmışlardır. Diğer çalışmalardan bir diğer farkı ise dış tüp olarak yalnızca kare enkesit kullanılmış ve yön değiştiren tekrarlı yükler altında davranış incelenmiştir. Deneyler betonarme dış tüpün dayanımının önemli bir bölümünü kaybederek çatlamasıyla sonuçlanmıştır. Sonuç olarak dolgu malzemesiyle çelik çekirdek arasında sürtünmesiz yüzey malzemesi kullanılması gerektiği ortaya çıkmıştır. Japonya'da literatürde "Unbounded Brace" ismiyle geçen BÖÇ'ler bu çalışmalar sonucunda bulunmuştur.

Tremblay ve diğ. (1999) ilk olarak BÖÇ'lü çerçevelerin birleşim deneylerini yapmış olup mevcut bir çelik çerçeve binanın statik karakterli yükleme deneyi ve lineer olmayan dinamik analiz sonuçları üzerinde durulmuştur. Normalde çelik binada kullanılan ters (V) klasik çapraz yerine BÖÇ'lü çelik çerçeve sistem kullanılarak güçlendirilmesi yönetmelikteki öngörülen koşullara bakıldığında daha ekonomik durumlar ortaya çıkmaktadır. Temeller ve kat diyaframlarında da daha uygun sonuçlar elde edilmiştir. Deneylerde çelik boru kesitli dış tüpün P_e değeri, çelik çekirdeğin P_y değerinden daha büyük olacak şekilde tasarlanmıştır. Çekirdek plaka yüzeyinde sürtünmesiz yüzey malzemesi olarak her tabakası 0.2mm kalınlığında 4 kat polietilen kullanılmıştır. Böylece BÖÇ'ün üretimi sırasında sürtünmesiz yüzey malzemesi en dış tabakasının hasar görmesine karşı güvenlik sağlanmaktadır. Yön değiştiren tekrarlı yükler altında BÖÇ'lü çelik çerçeve sisteminin kararlı ve simetrik histeretik eğrileri elde edilmiştir. Deneyde akma sonrası rijitliğin %10~15 arasında değiştiği görülmüştür. Bu kadar büyük akma sonrası rijitliğin bina yüksekliğince elastik olmayan şekil değiştirmelerin dağıtılması için istenilen bir durum olduğu belirtilmiştir.

Mekanik sönümleyicilerde düşük akma dayanımlı çelikler ilk olarak 1990 yılların başında yine Japonya'da kullanılmaya başlanmıştır. Chen ve diğ. (2001) düşük akma dayanımlı ($F_y=100MPa$) çekirdeği olan BÖÇ'lü çelik çerçeve sistemlerinin yön

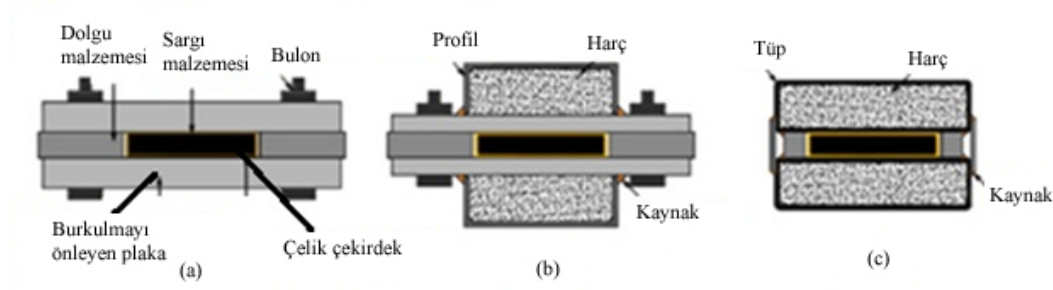
değiştiren tekrarlı yükler altındaki davranışlarını incelemişlerdir. “Buckling-Inhibiting Brace” ismiyle bilinen çaprazların yüksek performanslı tamir harcından oluşan dolgu malzemesi, dış tüpü ve çelik plaka bir çekirdeği bulunmaktadır. Sürtünmesiz yüzey malzemesi olarak bir tabaka silikon yağ uygulanmıştır. Böylece basınç etkisiyle genleşen çelik çekirdek için gerekli boşluk oluşturulmuştur. Düşük akma dayanımlı çeliğin akma sahanlığı genelde belirgin olup sınır şekildeğiştirme oranı yüksektir ($>50\%$). Düşük akma dayanımlı çelikler plastik şekildeğiştirmenin azalmasına neden olurken en düşük kat ötelemelerinde bile kolaylıkla akarak deprem enerjisini yutmaktadırlar. Chen ve diğ. (2001) diyagonal, dışmerkez V ve dışmerkez ters V BÖÇ'lü çerçeveler arasında dayanım performansından en yüksek şekilde faydalanma açısından diyagonal BÖÇ'lü çerçeve sistemlerini önermişlerdir. Dışmerkez V ve dışmerkez ters V BÖÇ'ler çerçevede net açıklığa izin vermesinden dolayı mimari bakımdan çok tercih edilmektedirler. Çekme ve basınç dayanımı arasındaki dengeden dolayı klasik çaprazlara göre çerçeve kirişi daha az etkilenmektedir. Ayrıca kirişin düşeydeki aşırı yerdeğiştirmeleri de sınırlandırılmıştır.

ABD'de, Higgins ve Newell (2004) burkulması önlenmiş bir sistem olarak çelik çekirdeğin etrafının çeşitli agregalarla sarılmasını önermişlerdir. Bu agregalar ASTM 20-30 Ottawa kumu ve 97% oranında 20-30 elek boyutlarından geçebilecek boyutlarda ve kohezyonsuz taneciklerdir. Burada kullanılan çelik çekirdek malzemesi A36'dır. Sonuç olarak akma orta bölümlerde sağlanmış ve 2% şekil değiştirme oranıyla kararlı histeretik davranış elde edilmiştir.

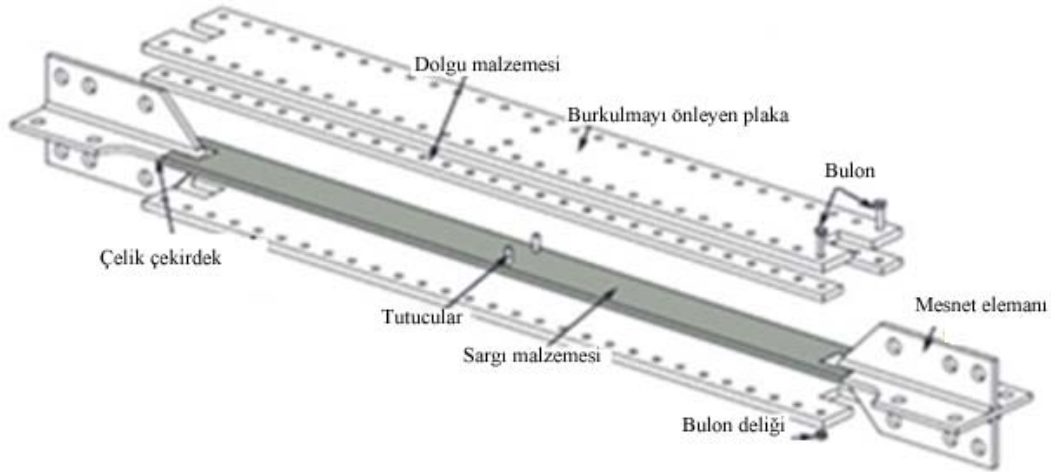
Ayrıca BÖÇ ile ilgili yapılmış güncel çalışmalar da aşağıda verilmiştir:

Chun-Lin Wang ve Usami (2012) köprülerde kullanılmak üzere yüksek performanslı BÖÇ'lerin (YPBÖÇ) düşük çevrimli yorulma davranışını deneysel ve kuramsal olarak incelemişlerdir. Şekil 1.3 ve Şekil 1.4'te YPBÖÇ'ün bileşenleri hakkında bilgiler verilmektedir. Bu çalışmanın en önemli noktası tutucuların (stopper) sisteme sağladığı faydadır. Tutucular çelik çekirdeği saran çelik elemanın çelik çekirdek üzerinden kayıp BÖÇ özelliğini ortadan kaldırmasını engellemektedir. Bunun için 4 adet numune (tutucu içeren ve içermeyen) incelenmiştir. Sonuçlar, tutucu içeren BÖÇ'lerin içermeyenlere göre daha yüksek performans sergilediğini göstermiştir. İn elastik kümülatif (birikimli) şekil değiştirmeler incelendiğinde tutucu içeren BÖÇ ler 4% şekil değiştirme değerlerine kadar ulaşmıştır. Bu değer in elastik kümülatif

şekildeğiştirme açısından uygundur. Tutucu içermeyen BÖÇ'lerde aynı şekildeğiştirmeye ulaşılammıştır. Sonuç olarak tutucular sayesinde oluşturulan sistemde diğer BÖÇ'lere yakın histeretik eğriler elde edildiği gösterilmiştir.



Şekil 1.3: YPBÖÇ özellikleri (a) YPBÖÇ enkesiti, (b) ve (c) diğer YPBÖÇ enkesitleri (Tsai K. ve diğ., 2004 , Chou C. ve diğ., 2010).



Şekil 1.4: YPBÖÇ açılımı (Tsai K. ve diğ., 2004, Chou C. ve diğ., 2010).

(1.1)'de çelik çekirdeğin burkulmasını önlemek amacıyla geliştirilmiş bağıntı verilmektedir (Usami T.,ve diğ., 2008).

$$v_f = \left[\frac{1}{\frac{P_y}{P_E^R} + \left(\frac{P_y L}{M_y^R} \right) x \frac{a+d+e}{L}} \right]_{nominal} \geq 3.0 \quad (1.1)$$

P_y : çekirdek elemanın akma kuvveti

P_E^R : Burkulmayı önleyen plakanın burkulma kuvveti

M_Y^R : Burkulmayı önleyen plakanın akma momenti

a : BÖÇ'ün orta bölümünün başlangıç yerdeğiştirilmesi ($L / 1000$)

d : Çelik çekirdek ve burkulmayı önleyen plaka arasındaki boşluk

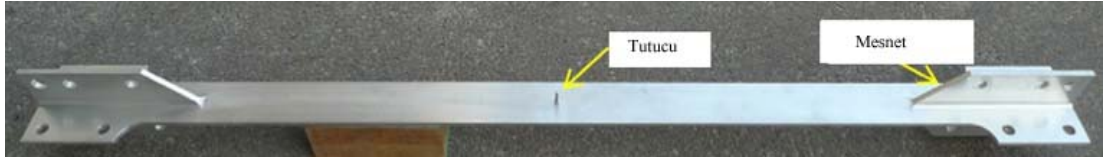
L : Burkulmayı önleyen plakanın haçsız bölümünün boyu

e : Çelik çekirdek basınç kuvveti dışmerkezliği

v_f : güvenlik katsayısı

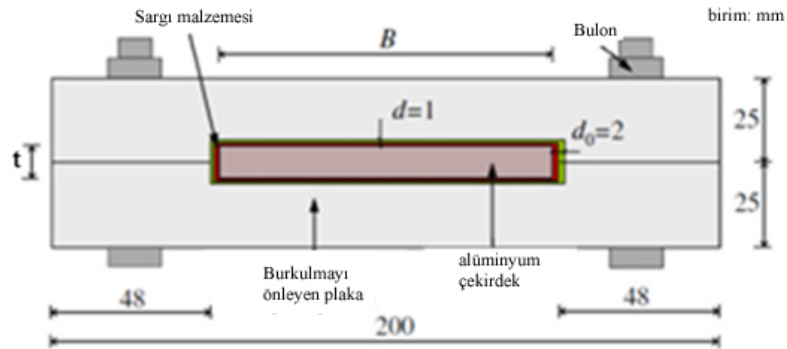
Chun-Lin Wang ve Usami (2012) alüminyum alaşımı kullanarak BÖÇ tasarlamışlardır. Alüminyum kullanılmasındaki amaç BÖÇ'lerin korozyonlu ortamlardaki dürabilitesini arttırmaktır. Alüminyum alaşımların BÖÇ tasarımında kullanılabilir olduğu sonucuna ulaşılmakla birlikte, kaynaklı ya da karmaşık detaylardan kaçınılması gerektiği vurgulanmıştır.

Şekil 1.5'te alüminyum çekirdek detayı gösterilmektedir. Chun-Lin Wang ve Usami (2012) alüminyum çekirdekli 10 adet birbirine yakın özelliklerde tutucu içeren ve içermeyen BÖÇ'leri deneysel olarak incelemiştir. Deney sonuçlarına bakıldığında uygun ve tekrarlı bir histeretik davranış görülmüş ve kopmanın akma bölgesinde meydana geldiği tespit edilmiştir.



Şekil 1.5: Alüminyum çekirdek (Chun-Lin W. ve Usami T., 2012).

Ayrıca çelik ile karşılaştırıldığında daha gevrek bir davranış elde edilmiştir. Şekil 1.6 'da deneyde kullanılan BÖÇ'ün enkesit özellikleri gösterilmektedir.



Şekil 1.6: Alüminyum alaşımlı BÖÇ'lü sistem enkesit özellikleri (Chun-Lin W. ve diğ., 2012).

Deneyler sonucunda iki önemli noktaya dikkat çekilmiştir:

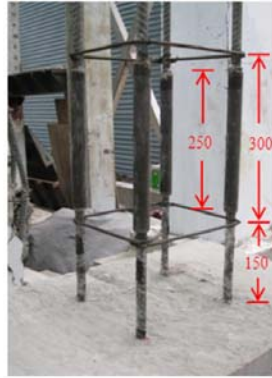
1- Alüminyum alaşımlı BÖÇ'lerde %2 şekildeğiştirme değerinin altında yapılan yorulma deneylerinde stabil ve tekrarlı histeretik eğriler elde edilmiştir. Kümülatif elastik olmayan yerdeğiştirme değerleri %2'nin üstündeki şekildeğiştirme uygulanması durumuna göre %30 daha verimli performans sergilemektedir.

2- BÖÇ üzerindeki kopma akma bölgesinde rastgele bir yerde olmaktadır. Çeliğe göre daha gevrek bir davranış sergilemektedir.

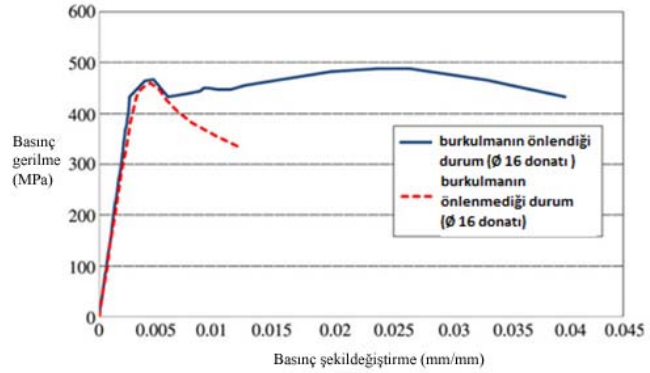
Bu çalışmalara ek olarak betonarme kolonlarda da ana donatılar üzerinde BÖÇ mekanizmasına benzer bir sistem oluşturulmuştur. Lukkunaprasit P. ve diğ. (2011) gelişmiş ülkelerde yaygın olarak betonarme kolonların iyi sarılmaması nedeniyle düşük süneklilik ve kesme kapasitesinin yol açtığı gevrek davranış sonucu ana donatıları burkularak sistemde sorunlar çıkardığını vurgulamışlardır. Bu soruna çözüm getirmek amacıyla BÖÇ mekanizmasına benzer bir mekanizmanın kolon ana donatılarında kullanılması önerilmiş, bunun doğrulaması için deneyler yapmışlardır. İki adet 270mm x 300mm boyutlarında ve 1200mm yüksekliğindeki betonarme kolon deprensiz durum düşünülerek az miktarda ana donatı ile minimum kesme donatısı düzeni altında çevrimsel yatay yük uygulanmıştır. BÖÇ sistemi ile güçlendirme işlemi ise kritik bir bölgede sağlanmıştır. BÖÇ kolondaki narin düşey donatıların oldukça yüksek bir eksenel yük altında burkulmasını önlemiş, kolonun sünek bir davranış sergilemesini sağlamış ve kolonun alt bölümünde plastik mafsall oluşumu görülmüştür. Kolonda ötelenme kapasitesi ve sarılmamış kolon olmasından dolayı zayıf kesme kapasitesi BÖÇ sistemi kullanılması durumunda, kullanılmayana göre çok farklıdır.

Şekil 1.7 (a)'da görüldüğü gibi 250mm uzunluğunda ve 150mm ara ile donatı 16mm çapındaki tüp ile sarılmıştır; donatı ile tüp arasında kayganlaştırıcı ile sürtünmesiz yüzey oluşturulmuştur. Ayrıca Şekil 1.7 (b)'de ise tek bir kolona ilişkin normal kuvvet altında yatay yükün etkimesi ile kolonun davranışı gösterilmiştir. BÖÇ sistemi ile güçlendirmede tüp ana donatının yüksek normal kuvvet altında bile burkulmasını önlemektedir. Kesme göçmesi ile ilgili probleme BÖÇ sistemi kullanılan numunelerde rastlanmamıştır. BÖÇ'lü sistemlerde son derece sünek davranış görülmekte ve kolonun alt bölümünde plastik mafsallaşma görülmektedir.

Ayrıca, ötelenme ve kesme kapasiteleri BÖÇ'lü sistemlerde, kullanılmayanlara göre, çok daha fazla olduğu görülmüştür.



(a)

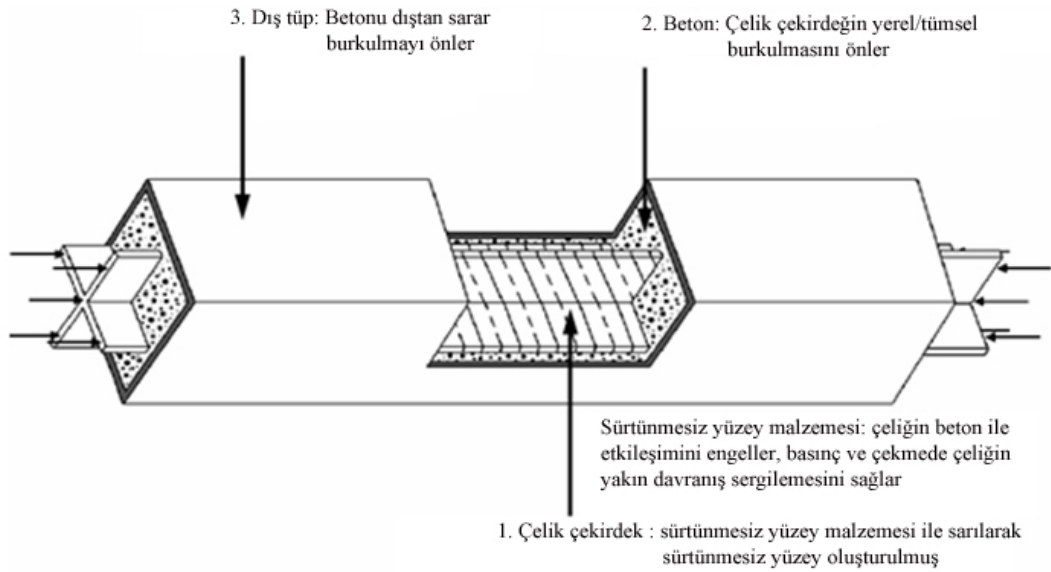


(b)

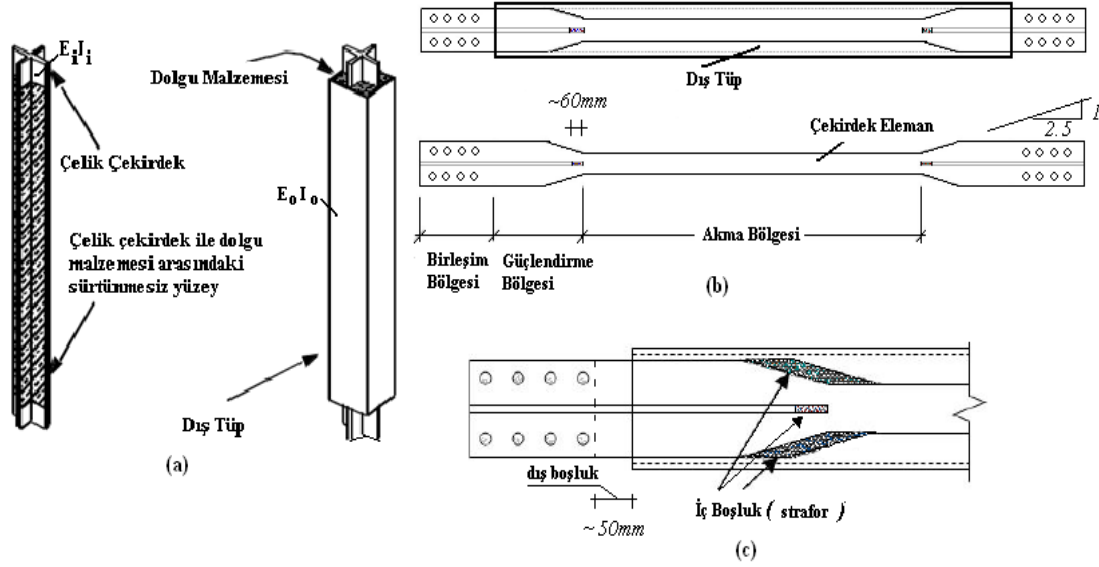
Şekil 1.7: Betonarme kolonda BÖÇ sistemi uygulaması (a) Donatı tüp içine alınması ve (b) İki durum için deney sonuçları (Lukkunaprasit,P. ve diğ., 2011).

1.3 BÖÇ'ün Bileşenleri ve Üretimi

BÖÇ'ler iki gruba ayrılmaktadır; bunlardan birincisi Şekil 1.8 ve Şekil 1.9'da şematik olarak verilen ile çelik plakalı çaprazların prekast betonarme panellere yerleştirildiği "Sandviç Panel BÖÇ" sistemlerin oluşturduğu gruptur. Bu çalışmada ilk grup BÖÇ'lerden oluşan sistemler incelenecektir.

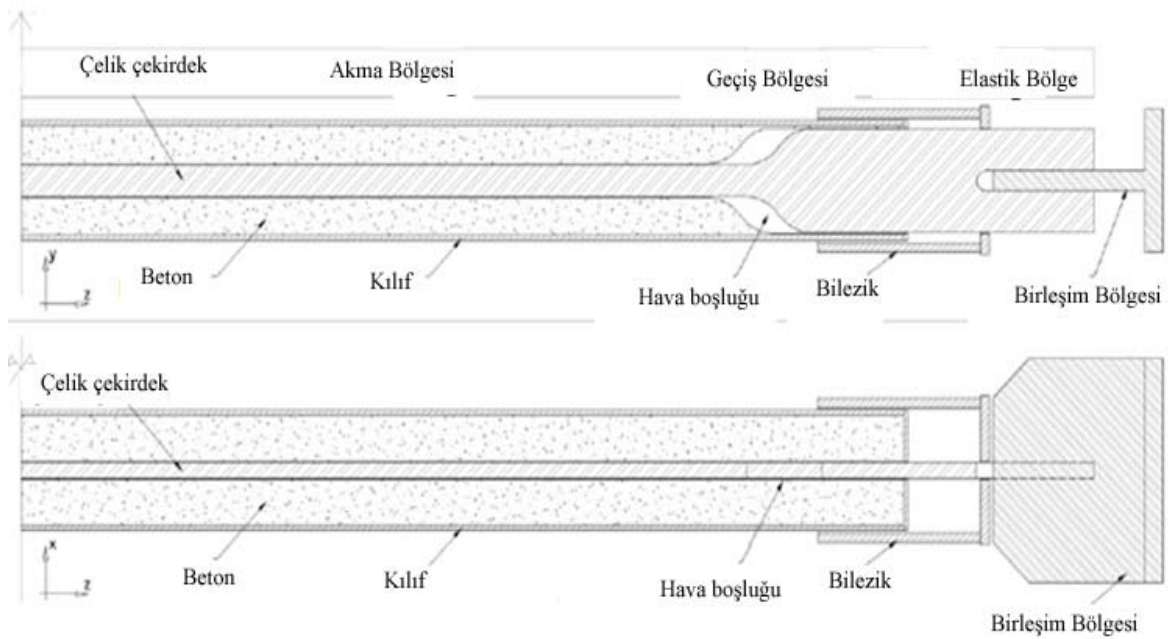


Şekil 1.8: BÖÇ bileşenleri (içeriden dışarıya doğru) çelik çekirdek, sürtünmesiz yüzey elemanı, çelik dış tüp (Iwata, M. ve diğ., 2000).



Şekil 1.9: (a) BÖÇ'ün şematik gösterimi, (b) Çekirdek elemanın bölgeleri ve (c) Akma bölgesi ile dolgu malzemesi arasındaki boşluk (Xie Q., 2005).

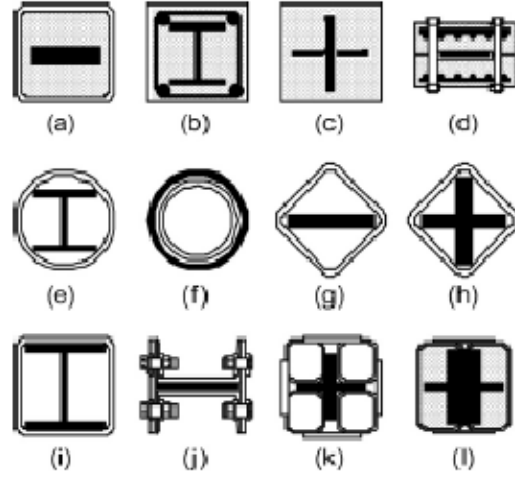
Şekil 1.10'da Budapeşte Üniversitesi'nde yapılan bir çalışmadan yararlanılarak üretilen BÖÇ'ün bileşenleri daha detaylı olarak verilmiştir.



Şekil 1.10: BÖÇ boyuna kesit görünümü (Budapeşte Üniversitesi, 2011).

Geçmişten günümüze kullanılan BÖÇ enkesitleri Şekil 1.11'de gösterilmiştir.

Çekirdek eleman ve dış tüp arasındaki sürtünmesiz yüzeyin aksel yük aktarımının önlenmesini sağlayacak şekilde oluşturulması koşuluyla her türlü çelik profil kullanılabilir.

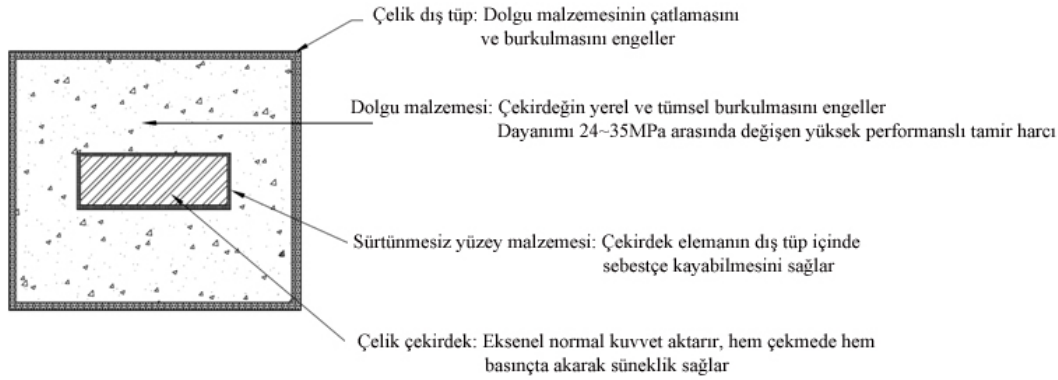


Şekil 1.11: Çeşitli BÖÇ enkesit biçimler (Xie Q., 2005).

Şekil 1.11 (c) haç şeklindeki çelik çekirdek, çelik liflerle güçlendirilmiş beton içine yerleştirilmiş olup Japonya’da uygulamada en çok tercih edilen enkesit biçimidir. Şekil 1.11 (d) plaka şeklindeki çelik çekirdek bulonla birleştirilmiş iki beton panel arasına yerleştirilmiştir. Şekil 1.11 (e)’den Şekil 1.11 (k)’ya kadar olan enkesit biçimlerindeki çelik çekirdekler yalnızca çelik enkesitli dış tüp ile sınırlandırılmış olup dolgu malzemesi kullanılmamıştır. Şekil 1.11 (e)’de geniş başlıklı çelik çekirdeğin burkulması çelik dış tüp ile önlenmektedir. Şekil 1.11 (f)’de iki daire enkesitli tüplerden içte olan burkulmaya karşı dayanımı sağlarken dıştaki tüp eksenel kuvveti aktarmaktadır. Şekil 1.11 (j)’de burkulmayı önleyen sistem, 2U profili ve 2 plakanın yüksek mukavemetli bulonlarla birleştirilmesiyle oluşturulmuştur. Şekil 1.11 (k)’da plakalarla birleştirilmiş 4 adet kare enkesitli dış tüp, çift T porfilden oluşmuş çelik çekirdeğin burkulmasını önlemektedir.

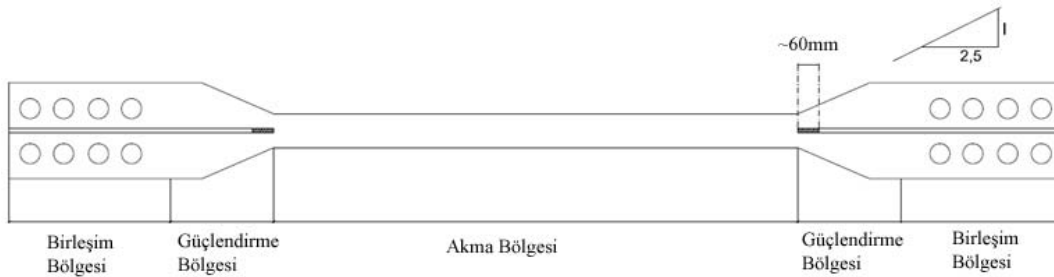
Çekirdek eleman ile dolgu malzemesi arasında, çekirdek elemanın dış tüp içinde serbestçe kayabilmesini sağlayan ve Poisson etkisinden dolayı basınçta akarak enine genişlemesine izin veren boşluk miktarı gerçek uygulamalarda Şekil 1.11 (a)’daki gibi klasik bir BÖÇ enkesiti için her kenarda 3mm’dir. Şekil 1.11 (e)’den Şekil 1.11 (i)’ye kadar olan enkesit biçimlerinde dolgu malzemesi olmadığından sürtünmesiz yüzey malzemesi de kullanılmamıştır. Ancak çelik çekirdek ile dış tüp arasında her iki elemanın görelî şekil değiştirmeleri için gerekli açıklığı sağlamak ve çekirdeğin burkulmasını önlemek için, kullanılacak çelik çekirdek elemanın şekline ve sürtünmesiz yüzey mekanizmasına bağlı olarak 0.7mm~3.5mm arasında değişen bir boşluk bırakılmaktadır (Xie Q., 2005).

Aşağıda Şekil 1.12'de ise bu tezde incelenecek olan BÖÇ enkesiti gösterilmiştir. BÖÇ'lerde burkulma boyu azaltıldığında, narinlik de azalmakta ve bu şekilde plastik şekil değiştirmelerin akma bölgesinde oluşması istenildiğinden mümkün olan en küçük kesitlerde çalışılması gerekmektedir. Ayrıca çelik çekirdeğin üzerine uygulanan sürtünmesiz yüzeyin en sade şekilde (dikdörtgen, kare, dairesel kesit vb.) olması uygulama kolaylığı açısından avantaj sağlamaktadır. Ayrıca kesit herhangi bir kaynak içermediğinden dolayı kendi içinde bir bütün olarak çalışmaktadır. Buna ek olarak literatürde en iyi davranış gösteren enkesit olduğu da vurgulanmaktadır.



Şekil 1.12: İncelenen BÖÇ enkesiti.

BÖÇ davranışını belirleyen başlıca etken, çekirdek elemanın geometrik yapısıdır. Çekirdek eleman üç bölgeye ayrılmıştır (Şekil 1.13) :

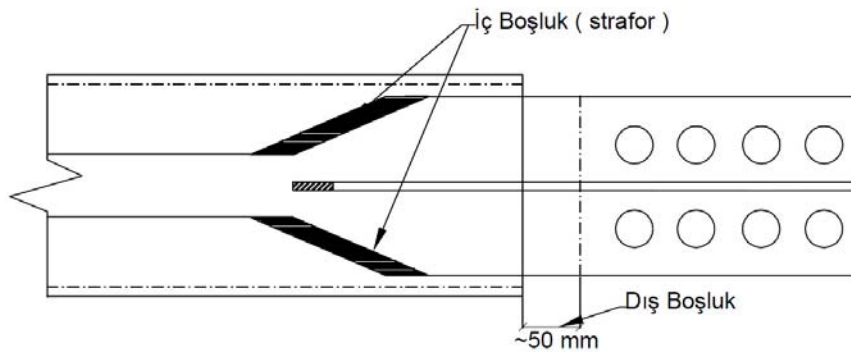


Şekil 1.13: BÖÇ boyuna kesiti.

Akma Bölgesi: Elastik ötesi şekil değiştirmenin oluşması istenilen bölgedir. Yüksek süneklik kapasitesi istenildiği için daha çok düşük dayanımlı çelik tercih edilmektedir. Ayrıca, çelik tüp dış tüp ve dolgu malzemesi ile tutulduğundan, basınç ve çekmede benzer davranışı sergilemektedir. Bu durumda çelik çekirdeğin üniform bir şekilde akması istenildiğinden çelik enkesit alanı azaltılmalıdır. Tekrarlı yükler altında meydana gelen yer değiştirmeler akma bölgesinin uzunluğu kontrol edilerek

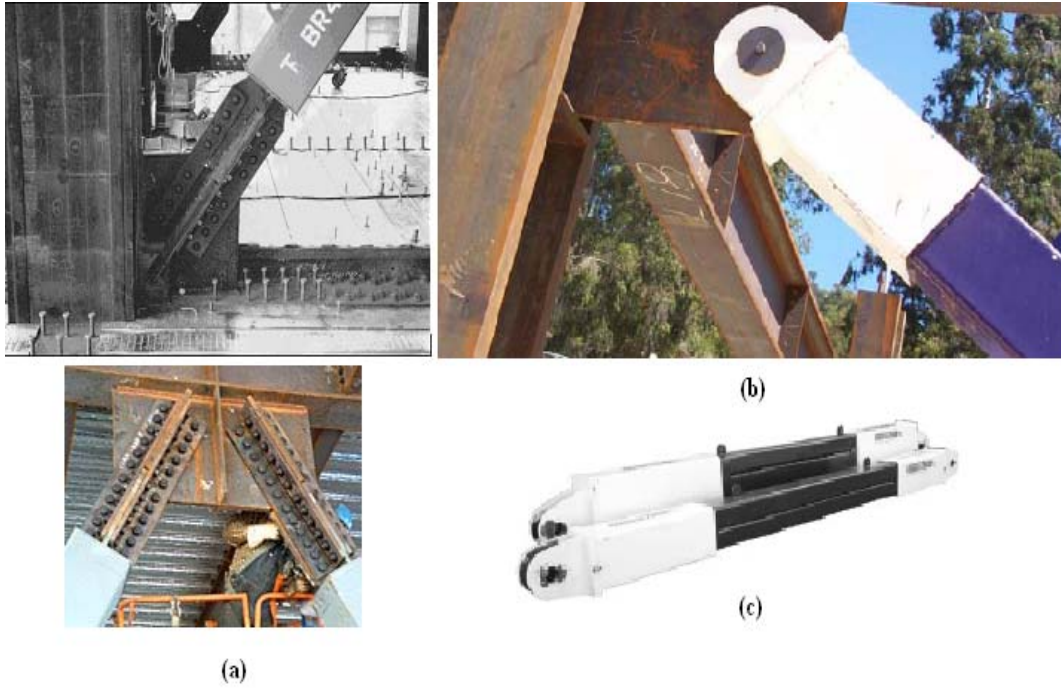
enerji yutma kapasitesi belirlenmektedir. Bu yüzden akma bölgesinin uzunluğunun enerji yutma kapasitesinde büyük etkisi vardır. Uzun akma boyu, çaprazın yapıya giren deprem enerjisini daha çabuk sönümleyerek kapasitesini arttırmaktadır.

Güçlendirme Bölgesi: Elastik davranış için akma bölgesine göre daha geniş enkesiti olan bu bölge zayıf çekirdek elemanın tutulmuş uzunluk dışında yerel burkulma yapmasına engel olmakta ve şekildeğiştirmeleri olabildiğince bu uzunluk içerisinde tutmaktadır. Güçlendirme bölgesi kesiti için akma bölgesindeki çekirdek elemanın istavroz şeklinde düzenlenmiş şekli kullanılmaktadır. Böylece gerilme yığılmalarından kaçınmak için enkesit geçişlerinin pürüzsüzlüğü sağlanmaktadır. Öte yandan berkitme levhalarının kaynaklanmasıyla bu bölgenin enkesit alanının genişletilmesi de olanaklıdır. Çelik çekirdeğin basınç etkisinde akma bölgesi uzunluğu kısalmakta ve enkesiti Poisson etkisiyle artmaktadır. Akma bölgesinden güçlendirme bölgesine, enkesit alanının genişletilmesiyle yapılan geçişte Şekil 1.14'te görüldüğü gibi çelik eleman ile dolgu malzemesinin temasını önleyen iç boşluk bırakılmaktadır. Herhangi bir temas, beklenmedik şekilde çaprazın tasarım dayanımının ötesinde basınç kapasitesinde artışa neden olmaktadır; örneğin, merkezi ters V çaprazlı çerçeve sistemde dengelenmemiş düşey yükü arttırmaktadır. Çaprazın birleşim plakaları ile dış tüp arasındaki temasını engellemek içinde uygun bir aralık bırakılmaktadır. Dış boşluk, BÖÇ'ün deprem etkisi altında elastik olmayan şekildeğiştirmelerin yutulması için üretiminde düşünülmesi gereken önemli bir ayrıntıdır. İç, dış boşluk boyutları deprem kuvvetleri etkisinde oluşan göreceli kat ötelemelerinin hesaplanması sonucuna göre belirlenmesi gerekse de uygulamada yaklaşık 50mm~60mm olarak bırakılmaktadır. Güçlendirme bölgesi uzunluğu için deneylerden elde edilen sonuçlar dikkate alınmaktadır. Uygulamada ise bu sonuçlara göre belirli sınırlar içinde interpolasyon yapılması mümkündür.



Şekil 1.14: BÖÇ uç bölgesi.

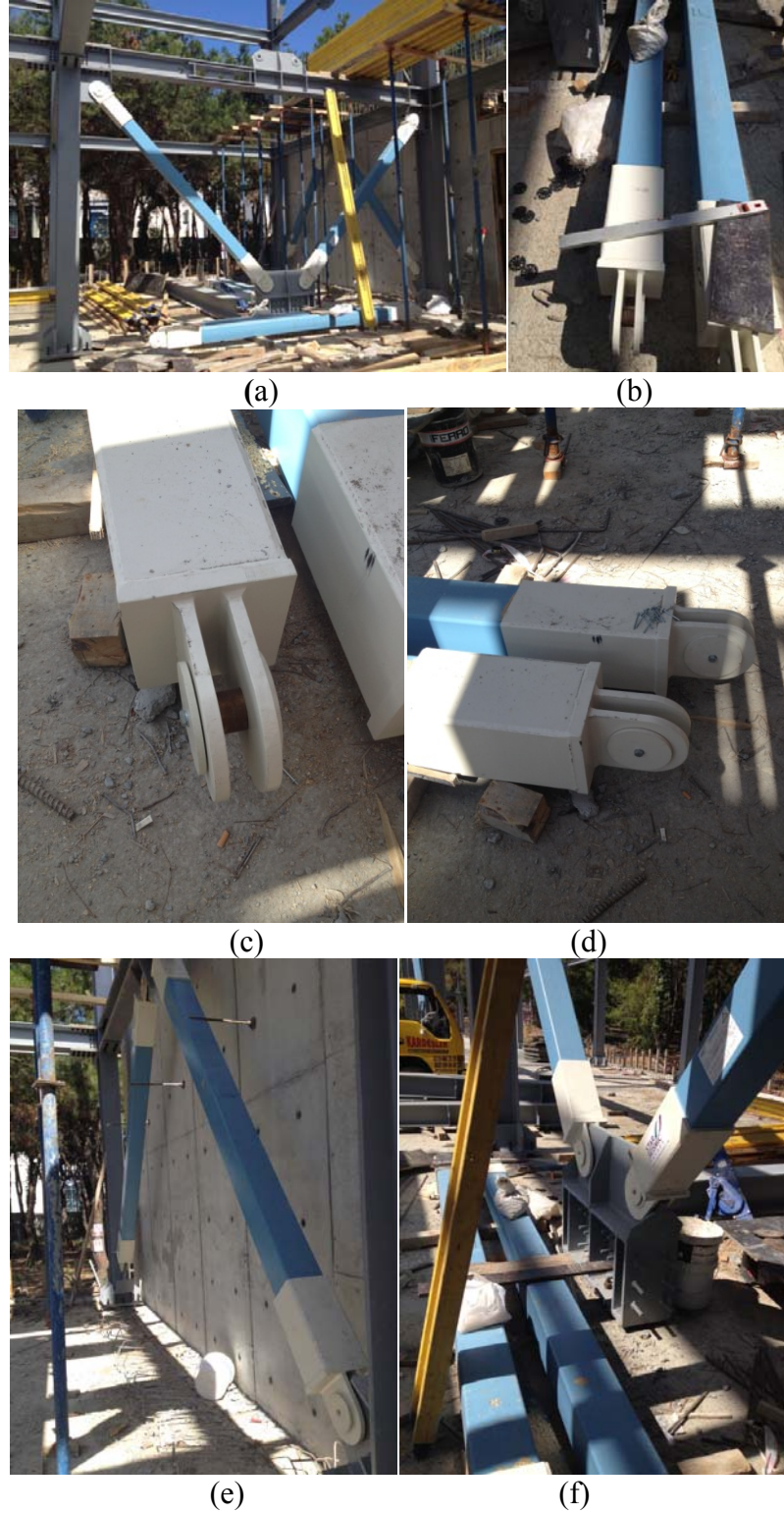
Birleşim Bölgesi: Güçlendirme bölgesinin devamında olan ve dış tüpün dışında kalan bölgedir. Güçlendirme bölgesindeki istavroz bu bölümde güçlendirilerek bu bölgenin eksenel yük ve yerdeğiştirmeler altında elastik kalması hedeflenmektedir. Birleşim bölgesinin uzunluğunun kısa olması dengeli ve kararlı bir histeretik davranışın elde edilebilmesine yarar sağlamaktadır. Çelik çekirdek ile dolgu malzemesi arasında oluşturulan sürtünmesiz yüzey malzemesi/boşluk çaprazın enine genişlemesine izin verirken, birleşim bölgesi oluşturulduğunda yerel burkulmalar engellenmektedir. Genellikle bu bölgede çaprazın, gerektiğinde (örneğin önemli bir deprem sonrasında), diğer çerçeve elemanlarını etkilemeden değiştirilebilmesi ve montaj kolaylığı açısından bulonlu birleşim tercih edilmektedir (Şekil 1.15 (a)). Ancak, kaynaklı birleşimler az da olsa kullanılmaktadır.



Şekil 1.15: (a) Klasik çok bulonlu BÖÇ birleşimi, (b) Tek bulonlu tek tüplü çapraz, ve (c) Birden fazla dış tüplü tek bulonlu çapraz (Star Seismic)

BÖÇ'lü çelik çerçevelerin Türkiye'de de kullanılması için çalışmalar devam etmektedir. Pek çok proje tasarım aşamasında bu tür çaprazlardan yararlanılarak düşünülmüş olsa da 2012'ye kadar kadar kullanımı gerçekleşmemiştir. Tez yürütücüsünün de içinde bulunduğu bir yapısal tasarım grubu tarafından Türkiye'de ilk kez uygulama imkanı İstanbul Teknik Üniversitesi Ayazağa Yerleşkesi'nde yapımı devam etmekte olan ETB Teknokent Projesi-Arı 6 binasında olmuştur. Şantiye

montaj aşamasının değişik evrelerinden fotoğraflar Şekil 1.16 ve Şekil 1.17'de verilmiştir.



Şekil 1.16: İstanbul Teknik Üniversitesi-Enerji Teknokent Projesi-BÖÇ uygulaması (a) BÖÇ'ün sistemdeki V görünüşü, (b) BÖÇ'ün şantiyede montajdan önceki durumu, (c) ve (d) uç detaylar, (e) BÖÇ'ün çerçevede ters V şeklinde görünüşü ve (f) BÖÇ'ün temele montaj detayı.



(g)



(h)



(i)



(j)

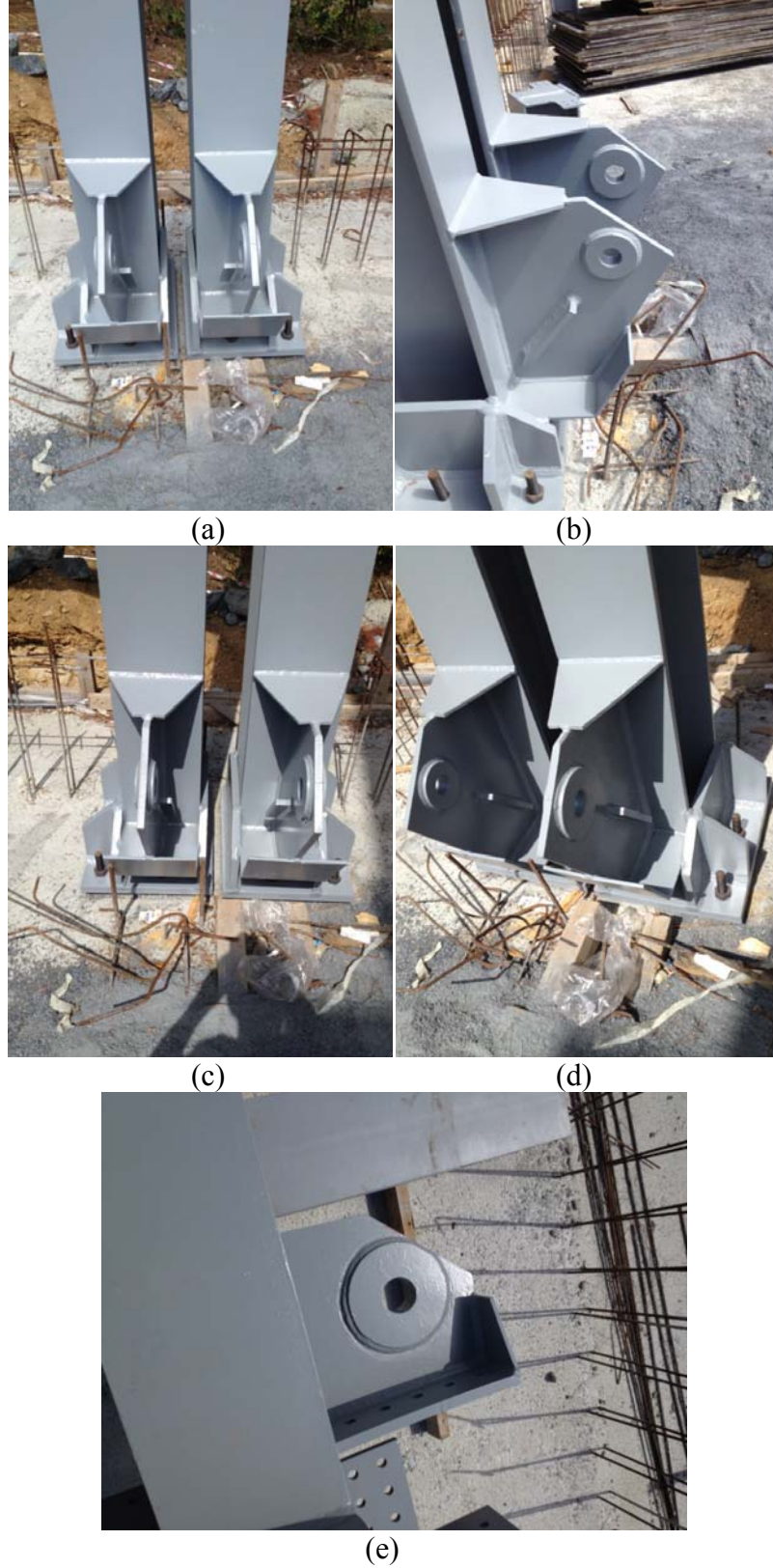


(k)



(l)

Şekil 1.16 (devam) : Değişik noktalardan detay ve görüşler (g) temele kuvvet aktarımını sağlamak için kullanılan studlu HEA profil, (h) dilatasyon hizasında ters V BÖÇ yerleşimi, (i) çerçevede V şeklinde BÖÇ yerleşimi, (j) V şeklindeki BÖÇ'ün kirişe mesnetlenmesi detayı, (k) ve (l) şantiyede montajı yapılacak BÖÇ'ler.



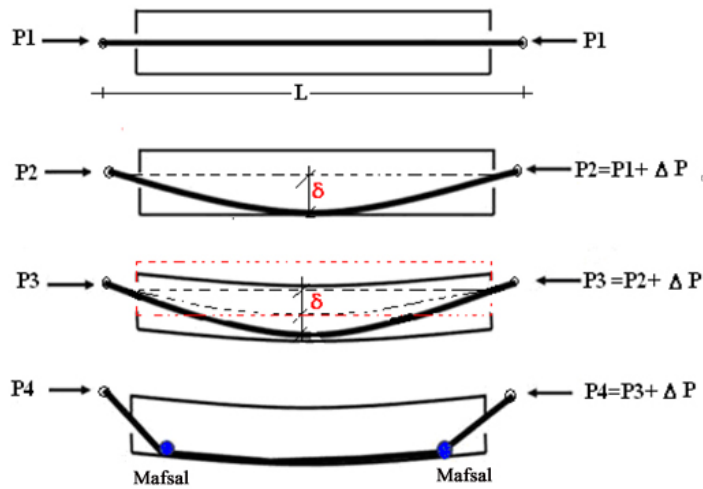
Şekil 1.17: İstanbul Teknik Üniversitesi-Enerji Teknokent Projesi-mesnet detayı (a) BÖÇ'ün mesnetlendiği kolon ayak detayı, (b) bayrak plakasının düzlem dışı burkulmasını önlemek için kullanılan koloncuk detayı, (c) ve (d) bayrak plakasındaki rijitleştirici plakaların gösterimi ve (e) kolon giriş birleşim bölgesindeki bayrak plakası detayı.

1.4 BÖÇ'ün Davranışı ve Tasarım Ölçütleri

Eksenel yük etkisinde sürtünmesiz çelik basınç çubuğunun gerçek davranışı ve çekirdek eleman üzerindeki gerçek gerilmeler, diferansiyel çözümün varsayımlarından dolayı farklılık göstermektedir. Hazırlanan matematik model bu farklılıkları açık bir şekilde göstermektedir. Çekirdek eleman üzerinde güçlendirme bölgesinin oluşturulmasının gerekliliği bu çalışmalar sonunda bulunmuştur.

Diferansiyel çözüm burkulmayı önleyen sistem ile çekirdek eleman arasındaki etkileşimin sürekli olduğunu ve çekirdek elemanın bütün uzunluk boyunca tutulduğunu varsaymaktadır. Ancak, gerçek durumda böyle bir durum söz konusu değildir. Etkileşim iki eleman arasındaki boşluk nedeniyle sürekli olamamaktadır. Bu boşluk BÖÇ davranışında önemli bir parametre olarak ortaya çıkmaktadır. Bunun yanında, çelik çekirdek burkulmaya karşı tam boyda tutulamamaktadır. BÖÇ'ün detayına bağlı olarak çelik çekirdek burkulmayı önleyen sistemden çıktıktan sonra güçlendirme bölgesine bağlanmaktadır. Yük altında burkulmaya başlayan çelik çekirdek burkulmayı önleyen sisteme temas etmesiyle birlikte burkulmayı önleyen sistem orta noktasından yüklenmiş basit kiriş davranışı sergilemeye başlar. Yük arttıkça temas yüzeyi genişler ve burkulmayı önleyen sistemde daha geniş bir yüzeye yayılmaya başlar.

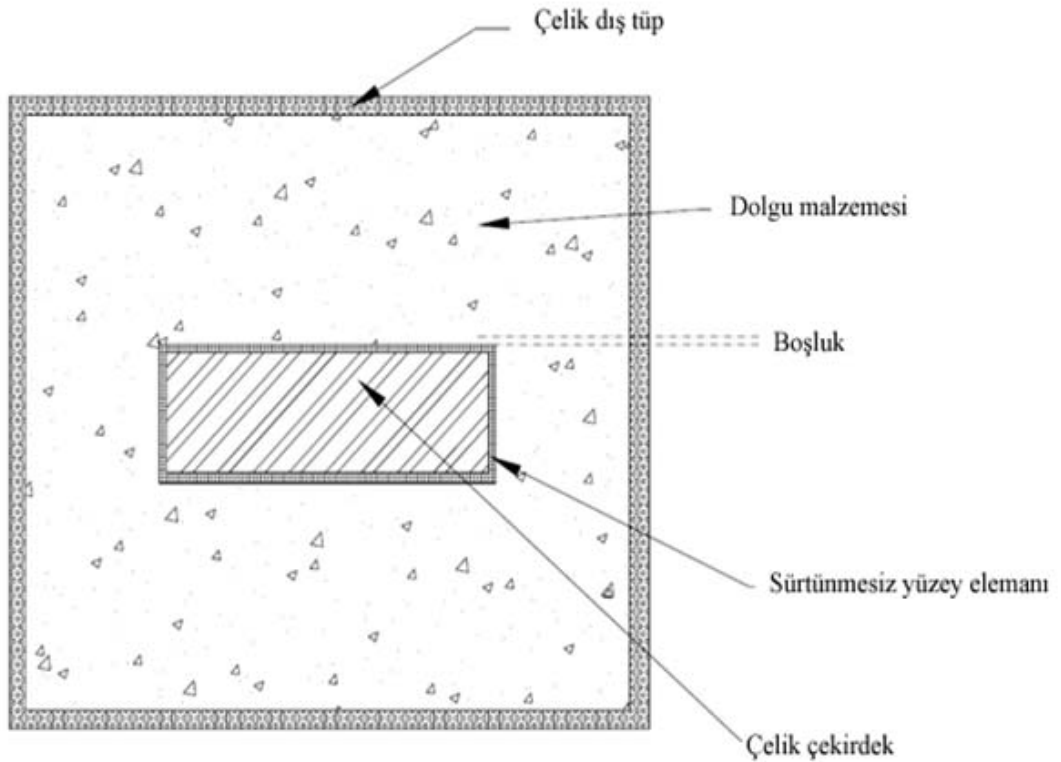
Şekil 1.18'de BÖÇ'ün artan eksenel basınç kuvveti etkisi altındaki davranışı şematik olarak gösterilmiştir. Yük arttıkça temas yüzeyi genişlemekte ve dış tüp üzerindeki yük daha geniş bir uzunluğa yayılmaktadır.



Şekil 1.18: BÖÇ'ün artan eksenel kuvvet etkisindeki davranışı.

Çekirdek elemanın eğilmeli burulması diferansiyel modelde dikkate alınmazken, çaprazın ilk aksenal yüklemeyle birlikte eğilme gerilmesi nedeniyle burkulduğu ve bu davranıştan kaynaklanan momentin temas yüzeyinin artmasıyla birlikte güçlendirme bölgesi ile akma bölgesi uçlarında yoğunlaştığı görülmüştür.

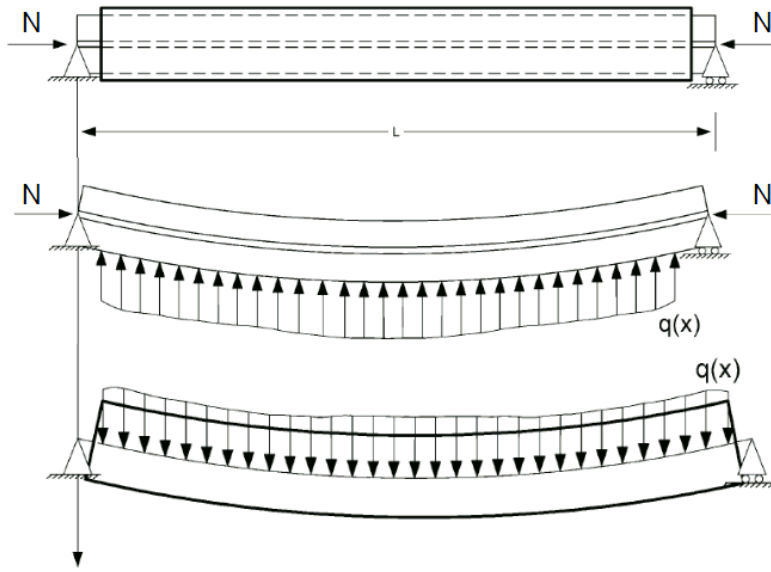
Momentin azalmaya başladığı noktadan sonra bir uzunluk belirlemek ve çekirdek elemanı bu boyda güçlendirmek gerekmektedir. Güçlendirme bölgesinin belli bir uzunlukta olması akma bölgesinde moment oluşmamasını ve hedeflenen aksenal kuvvetle elastik olmayan şekil değiştirmelerin gerçekleşmesini sağlamaktadır (Yazan, 2004). Güçlendirme bölgesinin uzunluğu azaltılırsa çekirdek eleman aksenal akma yük kapasitesine ulaşmadan BÖÇ göçmektedir. Artan güçlendirme bölgesi uzunluğu ise akma bölgesi uzunluğunu kısaltarak yutulan deprem enerjisi miktarını azaltmaktadır. Boşluk çekirdek eleman için burkulmayı önleyen sistem seçilirken önem taşımaktadır. Boşluk büyüdükçe çekirdek eleman daha rahat burkulmakta eğilmesi momenti ve aksenal kuvvet etkisiyle henüz akma yüküne ulaşmadan göçmektedir. Bunun yanında boşluğun büyümesi burkulmayı önleyen sistem üzerindeki kuvvetleri büyütme ve deformasyonları olumsuz yönde etkilemektedir (Şekil 1.19).



Şekil 1.19: BÖÇ enkesiti üzerinde boşluğun gösterimi.

1.5 BÖÇ'ün Tümsel Stabilitesi ve Hesap Modelleri

Sürtünmesiz çelik çekirdeğin enerji yutabilme yeteneği ancak çekirdek elemanın akma gerilmesine ulaşması ve lineer olmayan deformasyon yapmasıyla mümkündür. Bu durumda çelik çekirdeğin bütün olarak amaçlanan aksenal kuvvete ulaşana kadar stabilitesini koruması gerekir. Sürtünmesiz çelik çekirdekte yerel burkulmanın oluşmadığı varsayılırsa sürtünmesiz çelik çekirdeğin global burkulma bağıntısı Euler Burkulma Teorisi'nden elde edilebilir (Black ve diğ., 2002). Şekil 1.20'de Euler burkulmasının BÖÇ üzerindeki etkisi gösterilmektedir.



Şekil 1.20: Çekirdek ve dış tüp elemanların aksenal kuvvet altında etkileşimi (Black ve diğ., 2002).

Çekirdek elemanın şekil değiştirmiş bilinen bağıntısı

$$E_i I_i \frac{d^4 y(x)}{dx^4} + P \frac{d^2 y(x)}{dx^2} = -q(x) \quad (1.2)$$

şeklinde verilebilir. Burada $y(x)$ yanal yerdeğiştirmeyi, E_i elastisite modülünü ve I_i çekirdek elemanın atalet momentini göstermektedir. 0'de eşitliğin sağ tarafındaki $q(x)$ çekirdek elemanın dışındaki dolgu malzemesi/dış tüpün oluşturduğu, burkulmayı önleyen ortama uyguladığı yayılı yüküdür. Bu, aynı zamanda dış tüpün çekirdek elemanına tepkisi olacağından, harekete ters yöndeki bu yayılı yük eksi işaretli olarak bağıntının sağ tarafında yer alır. Basit kiriş davranışı sergileyen bu elemanın diferansiyel denklemi buradan türetilebilir:

$$E_0 I_0 \frac{d^4 y(x)}{dx^4} = q(x) \quad (1.3)$$

E_0I_0 dış tüp/dolgu malzemeli dış tüpün eğilme rijitliğini göstermektedir. Gerekli düzenlemeler yapılırsa;

$$E_iI_i \frac{d^4 y(x)}{dx^4} + P \frac{d^2 y(x)}{dx^2} = -E_0I_0 \frac{d^4 y(x)}{dx^4} \quad (1.4)$$

bağıntısı elde edilir. Bu bağıntı iki ucu mafsallı çubuk varsayımı ile çözülürse

BÖÇ'ün burkulma yükü

$$P_{cr} = P_e = \frac{\pi^2}{(KL)^2} (E_iI_i + E_0I_0) \quad (1.5)$$

olarak hesaplanır. KL burkulma boyunu göstermekte olup mafsallı uç için $K=1$, ankastre uç için $K=2$ 'dir. Çekirdek elemanın eğilme rijitliği E_iI_i 'nin, dış tüp/dolgu malzemeli dış tüp elemanın eğilme rijitliği E_0I_0 'a göre birkaç mertebe küçük olduğu göz önüne alınır ve eğilmeye katkısı olan dolgu malzemesinin etkisi ve çekirdek elemanın eğilme rijitliği terkedilirse kritik tümsel burkulma yükü aşağıdaki basit şekle dönüşür.

$$P_{cr} = P_e \approx \frac{\pi^2 EI_{tüp}}{(KL)^2} \quad (1.6)$$

Buradan tümsel burkulma yükünün dış tüpün Euler burkulma yüküne eşit alınabileceği görülmektedir. Bu bilgiler ışığında, çekirdek elemanın elastik olmayan şekil değiştirme yapabilmesi ve gerekli burkulma stabilitesinin sağlanabilmesi için dış tüpün Euler burkulma yükü P_{cr} , çekirdek elemanın eksenel akma yükünden (P_y) yeterince büyük olmalıdır:

$$P_{cr} \geq P_y = F_{ysc} A_{sc} \quad (1.7)$$

Burada çekirdek eleman ile dış tüp arasında sürekli bir etkileşimin olduğu, çekirdek elemanın burkulmasının tüm uzunluğu boyunca tutulduğu, malzemenin elastik olduğu varsayılmaktadır. Tekrarlı yükler altında çevrimsel pekleşmenin etkisi dikkate alındığında çaprazın basınçtaki dayanımı ortalama %30 mertebesinde artar; dayanım katsayısı $\phi=0.85$ alınırsa

$$\frac{P_e}{P_y} \geq 1.5 \quad (1.8)$$

koşulu elde edilir (Watanabe, A., ve diğ., 1988). Bu burkulmaya karşı güvenlik için yeterli görünmektedir.

1.6 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Çalışmanın amacı, genel olarak BÖÇ'ler hakkında literatür araştırması yapılarak deneysel çalışmada kullanılabilecek en uygun ve önceki örneklerini tekrarlamayan BÖÇ tasarlayıp deneysel olarak incelemektir. Bu çalışma kapsamında öngörülenler ve yapılan çalışmalar aşağıda verilmiştir:

2. Bölümde; BÖÇ üretiminde kullanılan çelik kalitesi ile kupon deneyleri yapılarak malzemenin davranışı hakkında detaylı bilgiler elde edilmiştir. Sonrasında AISC-LRFD'ye göre BÖÇ için çelik çekirdek enkesit ile güçlendirme ve akma bölgesi tasarımı yapılmıştır. Euler Burkulma Teorisi'nden yola çıkılarak dış tüp tasarımı yapıldıktan sonra AISC-LRFD'ye göre birleşim detay hesapları yapılmıştır. Kullanılacak harç malzemesi, çelik çekirdeği saracak sürtünmesiz yüzey malzemesi ve bırakılacak boşluk miktarı belirlendikten sonra BÖÇ üretimine geçilmiştir. Üretilen BÖÇ AISC 341'e göre deplasman kontrollü yükleme protokolü kullanılarak deneysel olarak incelenmiş ve bu bölümde detaylıca açıklanmıştır.

3. Bölümde; 2.Bölümde elde edilen deneysel sonuçların kontrolü için AISC 341'e göre teorik bir hesap modeli oluşturulmuştur. Ayrıca SAP 2000 programı kullanılarak doğrusal olmayan statik itme analizi (pushover) yapılmıştır. Elde edilen itme analizi kuvvet-yerdeğiştirme diyagramı ilk olarak hesap modelinden elde edilen kuvvet-yerdeğiştirme diyagramı ile karşılaştırılmış sonrasında ise hesap modeli-itme analizi-deney sonucuna bağlı kuvvet-yerdeğiştirme diyagramları karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar bu bölümde detaylıca açıklanmıştır.

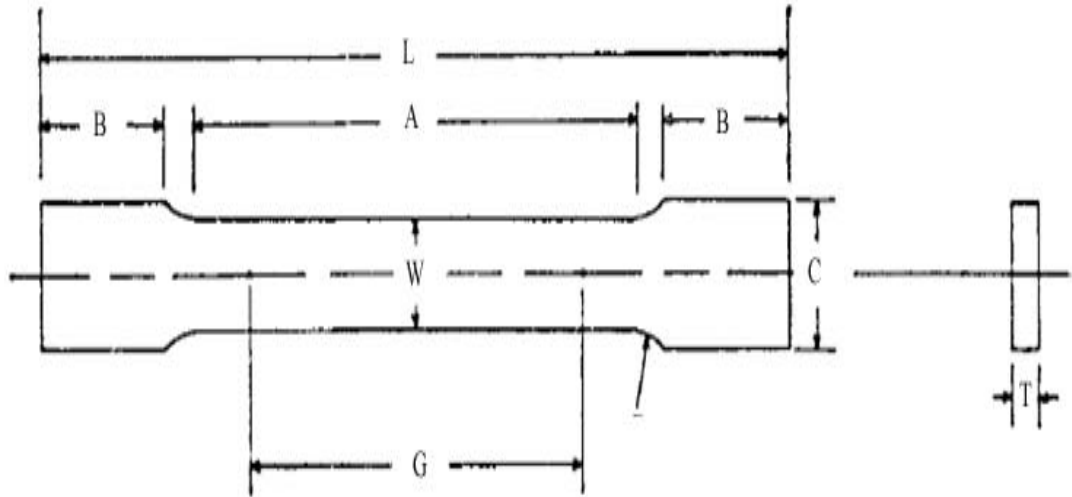
4. Bölümde ise BÖÇ'lü bir çelik bina tasarımı incelenmiştir. BÖÇ'lü bina tasarımında uygulanan yöntemler aşama aşama anlatılmıştır. BÖÇ'lü binanın yanında klasik çaprazlı bina tasarlanıp her iki duruma ilişkin birinci elastik titreşim periyodları, yerdeğiştirmeler, görelî kat ötelemeleri ve taban kesme kuvvetleri verilmiştir. Sonrasında BÖÇ içeren en kritik çerçeve seçilerek AISC-LRFD'ye göre kolon ve kirişlerde kontroller yapılmıştır.

2. ÇELİK ÇEKİRDEKLİ OLARAK ÜRETİLEN BİR BÖÇ'ÜN HİSTERETİK DAVRANIŞININ DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

2.1 Malzeme Deneyleri

Malzeme deneyleri İstanbul Teknik Üniversitesi Malzeme Anabilim Dalı Laboratuvarı'nda yapılmıştır. Malzeme deneylerinin yapılmasındaki asıl amaç esas olarak deneysel çalışması yapılacak numune hakkında detaylı olarak malzeme özelliklerini belirleyebilmektir. Bu sayede numunenin deneysel çalışmadaki davranışı tahmin edilebilmektedir. Yapılacak olan malzeme testinde ise iki adet numune boyutlandırılmıştır. Bunun sebebi ise benzer iki malzemede çekme deneyi sonucunda değerlerin benzerliklerinin karşılaştırılmasıdır.

Numuneler ASTM (*American Society for Testing and Materials*) A370 (*Standard Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products*)' e göre boyutlandırılmış (Şekil 2.1) ve deneyler şartnameden yararlanılarak yapılmıştır. A370'te Bölüm 5-13 arasında çekme çubukları hakkında detaylı bilgi mevcuttur. Ayrıca Şekil 2.3' te tasarım kriterleri gösterilmektedir.



Şekil 2.1 : ASTM-A370' e göre numunenin boyutlandırılması.

Laboratuvarıda 2 farklı numunede çekme deneyleri uygulanmış olup aşağıda bu numuneler hakkında detaylı bilgiler verilmiştir.

2.1.1 S355JR-KN Numunesi çekme deneyi

Çizelge 2.1 : S355JR-12-KN malzemesinin boyutları (ASTM-A370' e göre).

L (mm)	A (mm)	G (mm)	B (mm)	W (mm)	C (mm)	T (mm)	R (mm)	A _(alan) (mm ²)
450	250	157	75	35.19	50	12.06	56	424.43

Numuneye uygulanan çekme deneyi sonucunda elde edilen gerilme ve şekildeğiştirme değerleri Çizelge 2.2'de ve Çizelge 2.3'te verilmiştir. Numuneden kanal ve yüzeyde ölçüm alınmasının sebebi çıkabilecek değerleri karşılaştırmaktır. Kanal ölçümü yapılan bölümde numunenin içinde boşluk açılıp straingauge ölçüm alabilmesi için kanalın içine yapıştırılmıştır. Yüzey okumasında ise herhangi bir boşluk açılmadan straingauge numunenin yüzeyine yapıştırılmıştır. Çizelgeler incelendiğinde yüzey okumaları ve kanal okumaları için E (elastisite modülü) değerleri birbirine yakın çıkmıştır. Ayrıca gerilme değerlerine bakıldığında akma , pekleşme, maksimum ve kopmada aynı değerler çıkmıştır. Şekildeğiştirme miktarlarına bakıldığında ise yüzey okumasında kanal okumasına göre çok küçük farklılıklar olmakla birlikte daha büyük değerler görülmüştür.

Çizelge 2.2 : S355JR-12-KN gerilme-şekildeğiştirme değerleri (yüzey okumaları).

CH. 001 (YÜZEY)			
	Gerilme	Şekildeğiştirme	Elastisite Modülü
Akma	381MPa	0.0023	208022MPa
Pekleşme	381MPa	0.0122	
Maksimum	578MPa	0.1254	
Kopma	508MPa	0.3284	

Çizelge 2.3 : S355JR-12-KN gerilme-şekildeğiştirme değerleri (kanal okumaları).

CH. 002 (KANAL)			
	Gerilme	Şekildeğiştirme	Elastisite Modülü
Akma	381MPa	0.0018	221564MPa
Pekleşme	381MPa	0.0111	
Maksimum	578MPa	0.1252	
Kopma	508MPa	0.3283	

Numune akma kuvveti yüzeyde ve kanalda gerilme değerleri aynı olduğundan dolayı her ikisi için de 161.865N, pekleşme kuvveti de 161.865N olarak görülmektedir. Ayrıca Çizelge 2.4'te kopma kuvveti ve maksimum kuvvet gösterilmiştir.

Çizelge 2.4 : S355JR-12-KN maksimum kuvvet ve kopma kuvveti.

Pmaks:	245250	N
Pkopma:	215820	N

2.1.2 S355JR-N Numunesi çekme deneyi

Çizelge 2.5 : S355JR-12-KN malzemesinin boyutları (ASTM-A370'e göre).

L (mm)	A (mm)	G (mm)	B (mm)	W (mm)	C (mm)	T (mm)	R (mm)	A _(alan) (mm ²)
450	250	-	75	35.10	50	12.08	56	423.93

Numuneye uygulanan çekme deneyi sonucunda elde edilen gerilme ve şekildeğiştirme değerleri Çizelge 2.6'da verilmiştir. Önceki numunede yüzey ve kanal okumalarında benzer değerler okunduğundan bu numunede sadece yüzey okumaları yapılmıştır.

Çizelge 2.6 : S355JR-12-N gerilme-şekildeğiştirme değerleri (yüzey okumaları).

CH. 001 (YÜZEY)			
	Gerilme	Şekildeğiştirme	Elastisite Modülü
Akma	389MPa	0.0021	
Pekleşme	382MPa	0.0098	186974MPa
Maksimum	588MPa	0.1379	
Kopma	498MPa	0.2007	

Numune akma kuvveti 164.808N , pekleşme kuvveti de 161.865N olarak görülmektedir. Ayrıca Çizelge2.7'de kopma kuvveti ve maksimum kuvvet gösterilmiştir.

Çizelge 2.7 : S355JR-12-N gerilme-şekil değıştirme değerleri (yüzey okumaları).

Pmaks:	249174 N
Pkopma:	210915 N

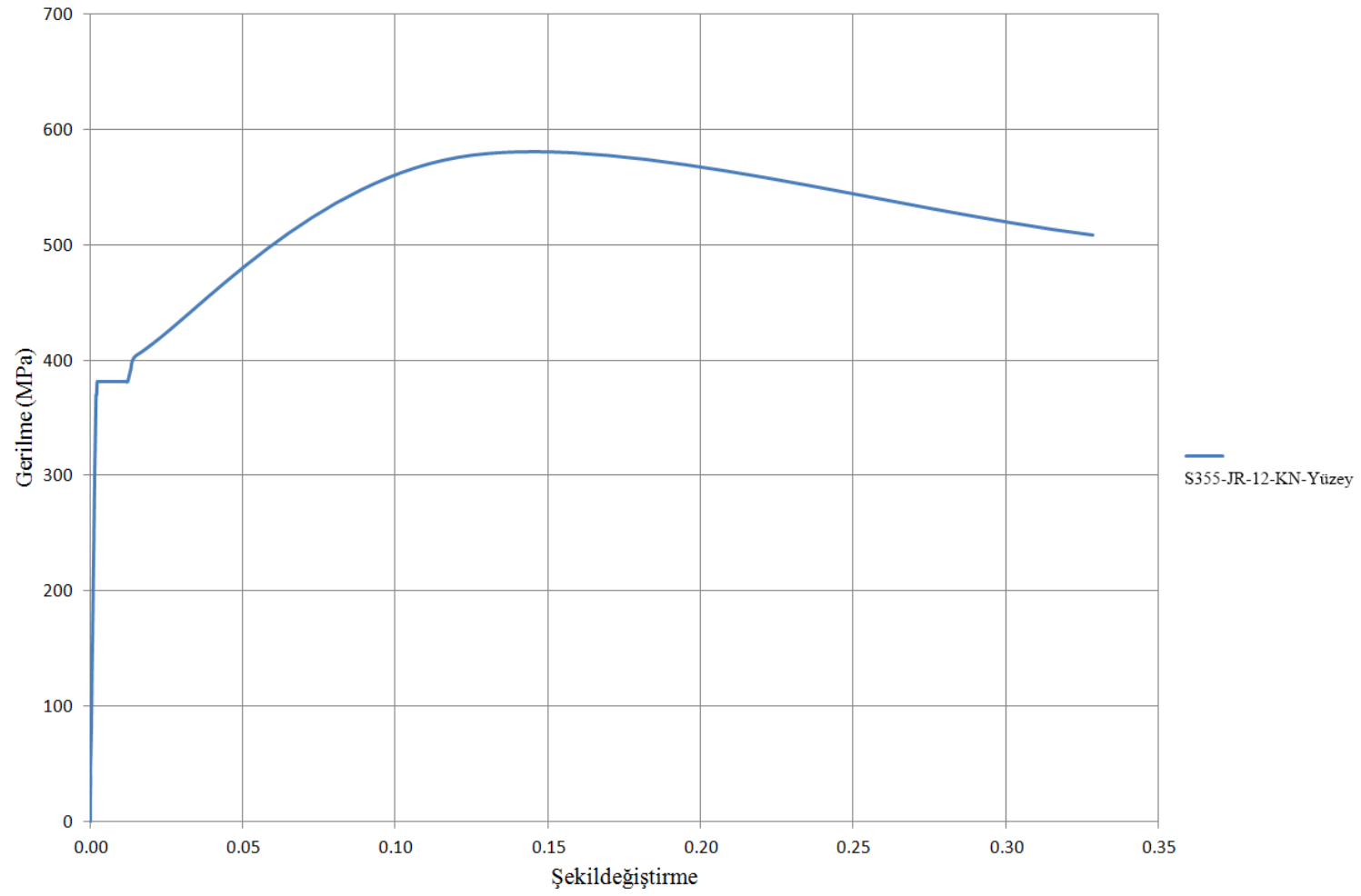
Kopma ve maksimum kuvvet değerleri bir önceki numuneyle benzerdir.

Şekil 2.2'de çelik çekme deneyine ilişkin fotoğraflar gösterilmektedir.

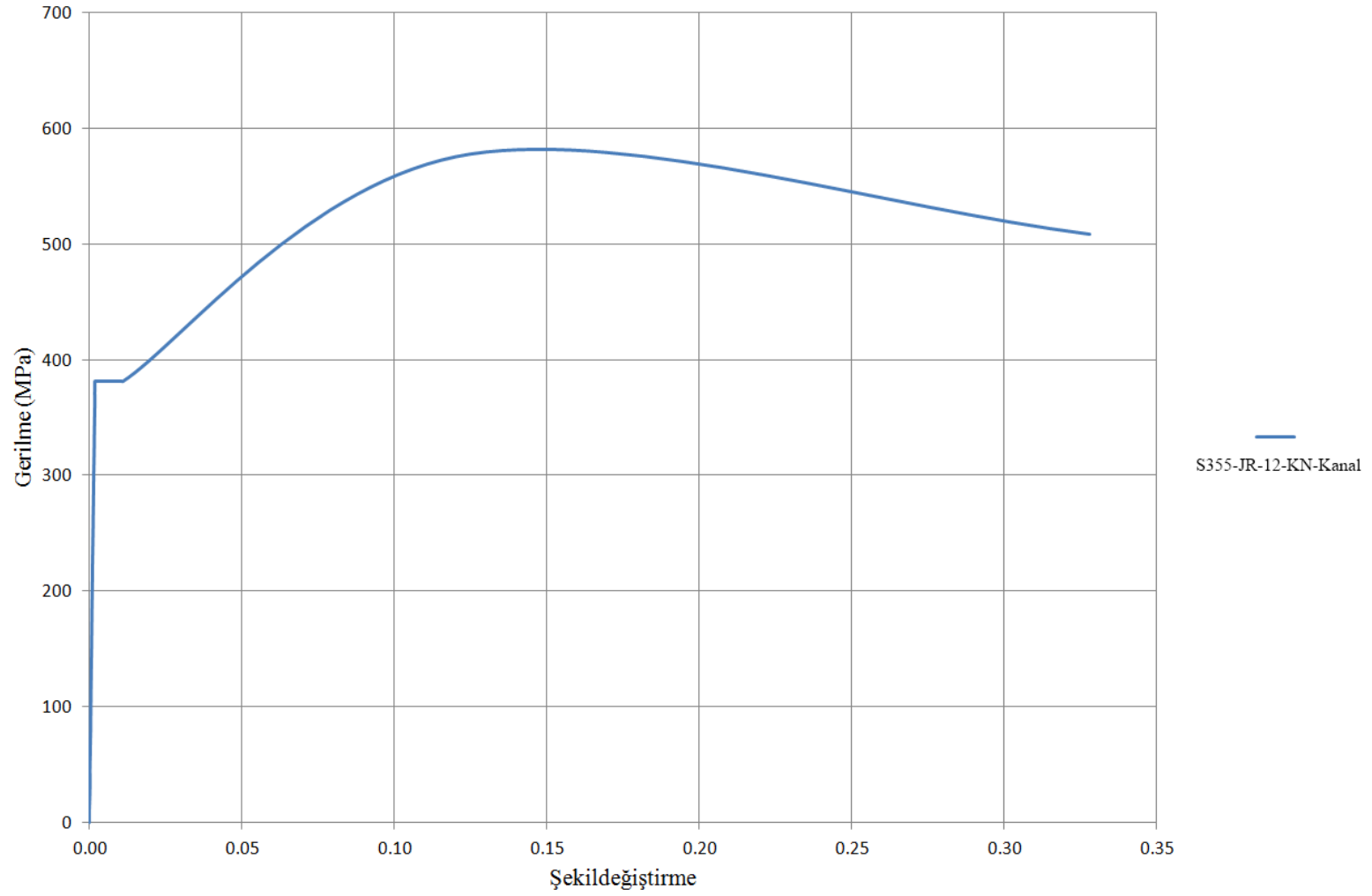


Şekil 2.2 : Çelik numunelere ilişkin çekme deneyi (a) kupon deney numunesinin üzerinin kontrol için çizilmesi, (b) numunenin çekme deneyi için sisteme yerleştirilmesi, (c) çekme deneyi yapılırken pekleşmenin gözlenmesi ve (d) numunenin koptuktan sonraki şekli.

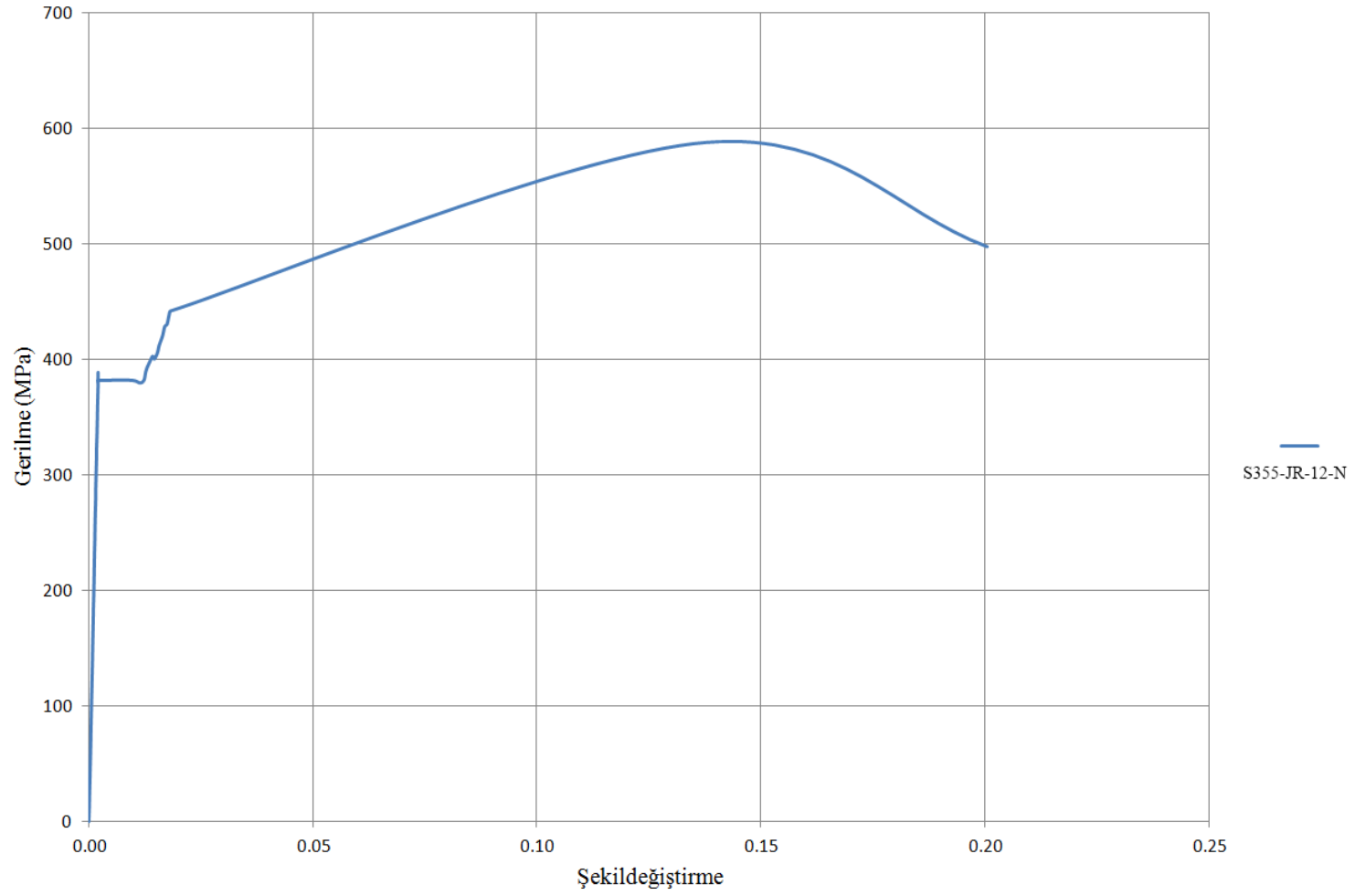
Şekil 2.3 S355JR-12-KN numunesine ilişkin yüzey okumalarını içeren gerilme-şekildeğiştirme grafiğini Şekil 2.4 S355JR-12-KN numunesine ilişkin kanal okumalarını içeren gerilme-şekildeğiştirme grafiğini Şekil 2.5 S355JR-12-N numunesine ilişkin yüzey okumalarını içeren gerilme-şekildeğiştirme grafiğini göstermekte, Şekil 2.6 ise bu okumaların hepsini içeren bir grafikte gösterilmektedir.



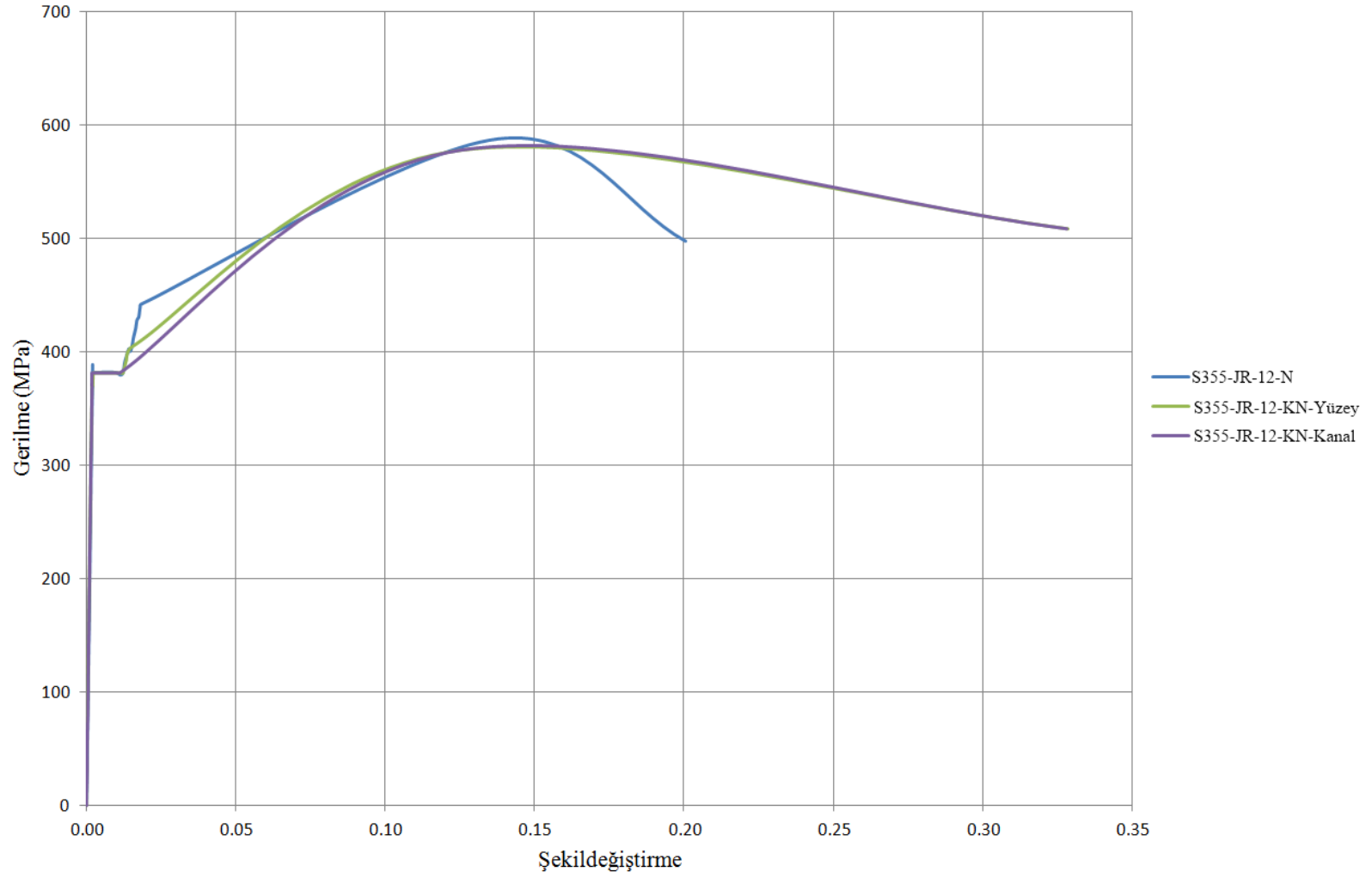
Şekil 2.3 : S355JR-12-KN numunesi çekme deneyi sonucu elde edilen gerilme-şekildeğiştirme diyagramı.



Şekil 2.4 : S355JR-12-KN numunesi çekme deneyi sonucu elde edilen gerilme-şekildeğiştirme diyagramı.



Şekil 2.5 : S355JR-12-N numunesi çekme deneyi sonucu elde edilen gerilme-şekildeğiştirme diyagramı.



Şekil 2.6 : İki malzemeye ilişkin gerilme-şekildeğiştirme diyagramlarının karşılaştırılması.

2.2 BÖÇ Deney Aşamaları

2.2.1 BÖÇ' ün tasarımı

BRB-SC2 (TURKBRACE-BRBSC2) numunesinde çelik çekirdek ve birleşim elemanları tasarımında AISC-LRFD-2010 kullanılmıştır. Numunenin tasarımında yüksek mukavemetli S355JR (Fe510) çelik malzemesi kullanılmıştır. Çaprazdan maksimum 200kN yük geçeceği düşünülerek boyutlandırılmıştır. Tasarım kupon testlerinden önce yapıldığından elastisite modülü olarak S355 JR malzemesinin elastisite modülü kullanılmıştır ($E=204\text{Gpa}$). Çizelge 2.8'de tasarımı yapılan numunun çelik çekirdek özellikleri verilmiştir. Toplam çapraz uzunluğu olarak 2275mm, mafsaldan mafsala olan (burkulma boyu) uzunluk 2110mm olarak tasarlanmıştır. Enkesit boyutları ise 12mm genişliğinde ve 25mm yüksekliğinde çekirdek tasarlanmıştır.

Çizelge 2.8(devamı)'nda ise birleşim bölgesi, güçlendirme bölgesi ve akma bölgesindeki boyutlar hakkında bilgiler verilmiştir. Birleşim bölgesi mafsallı olarak tasarlanmıştır. Birleşim bölgesi uzunluğu 184mm, güçlendirme bölgesi uzunluğu 264mm ve akma bölgesi uzunluğu 1380mm olarak tasarlanmıştır.

Dış tüp tasarımında Euler Burkulma Teorisi kullanılmıştır. Çizelge 2.9'da dış tüp tasarımına ilişkin bilgiler yer almaktadır. Malzeme kalitesi olarak çelik çekirdekteki gibi S355JR kullanılmıştır. Enkesit boyutları 140mm, 140mm, tüp kalınlığı ise 5mm olarak tasarlanmıştır. Toplam dış tüp uzunluğu 1738mm'dir. Dış tüp boyutları seçiminde çelik çekirdeğin akma dayanımının en az 1.5 katı olacak şekilde tasarım yapılmıştır.

Çizelge 2.8'de S355JR malzeme kalitesinde tasarlanmış olan numune enkesit ve boykesit özellikleri verilmiştir. Şekil 2.7 ve Şekil 2.8'de ise BÖÇ boyutları gösterilmektedir. Ayrıca Şekil 2.9'da BRB-SC2 numunesinin enkesit özellikleri gösterilmiştir.

Çizelge 2.8 : Tasarımı yapılan numunenin çekirdek geometrik özellikleri.

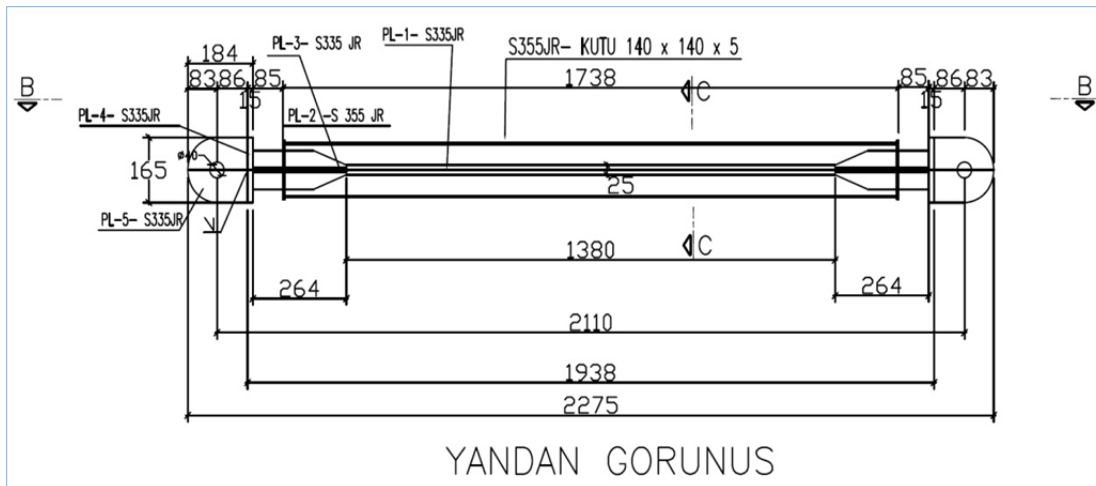
Numune		Çekirdek Elemanı			
	Toplam Çapraz Uzunluğu L (mm)	Burkulma Boyu (Mafsaldan Mafsala) $KL=L_1$ (mm)	Enkesit Boyutları $t \times b_{y_{sc}}$ (mm)	Malzeme Kalitesi	Elastisite Modülü E (GPa)
BRB-SC2-0	2275	2110	PL-12 x 25	S355JR (Fe510)	204

Çizelge 2.8 (devamı): Tasarımı yapılan numunenin çekirdek geometrik özellikleri.

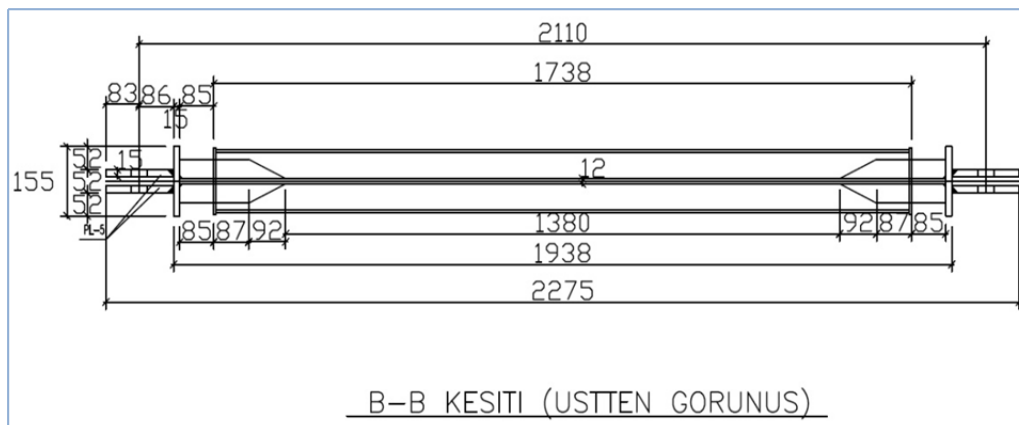
Numune	Çekirdek Elemanı										
	Birleşim Bölgesi (Mafsallı)					Güçlendirme Bölgesi		Akma Bölgesi			Net Enkesit Alanı A_{sc} (mm ²)
	Alın Plakası Kalınlığı t_{ep} (mm)	Mafsallı Plakası Uzunluğu L_{kp} (mm)	Mafsallı Plakası Kenar Uzunluğu $b_{con}/2$ (mm)	Birleşim Bölgesi Uzunluğu L_{con} (mm)	Birleşim Bölgesi Genişliği b_{con} (mm)	L_{tr} (mm)	b_{tr} (mm)	L_{ysc} (mm)	b_{ysc} (mm)	t (mm)	
BRB-SC2-0	15	86	83	184	165	264	98	1380	25	12	300

Çizelge 2.9 : Tasarımı yapılan numunenin dış tüp geometrik özellikleri.

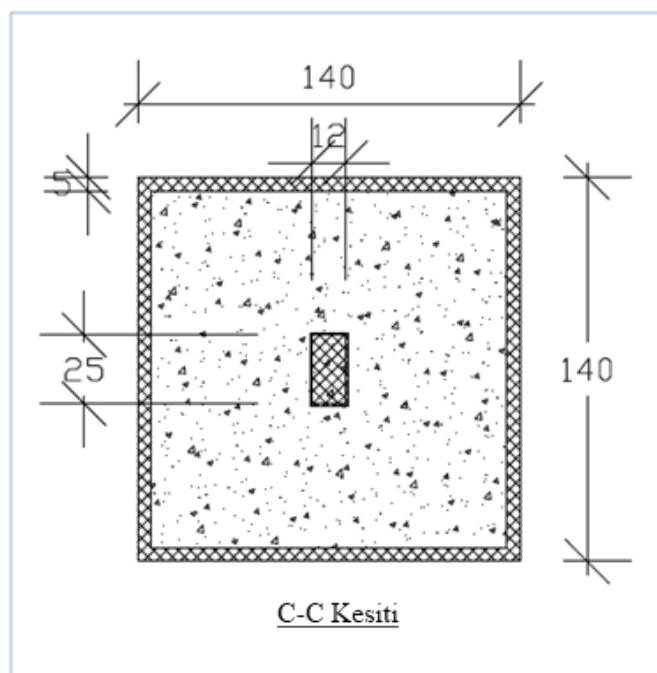
Numune	Dış Tüp						Güvenlik	
	Enkesit Boyutları $B \times D \times T$ (mm)	Malzeme Kalitesi	Deneysel Akma Gerilmesi $F_{ytüp}$ (N/mm ²)	Uzunluk $L_{tüp}$ (mm)	Atalet Momenti $I_{tüp}$ (mm ⁴)	Euler Burkulma Yükü $P_e = \pi^2 EI_{tüp} / (KL)^2$ (KN)	P_e / P_{ysc}	$P_e / P_{ysc} > 1.5$
BRB-SC2-0	□-140 x 140 x 5	S355JR (Fe510)	345	1738	8212500	3714	35.88	√



Şekil 2.7 : Tasarımı yapılan BRB-SC2 numunesinin geometrik özellikleri.



Şekil 2.8 : Tasarımı yapılan BRB-SC2 numunesinin geometrik özellikleri.



Şekil 2.9 : Tasarımı yapılan BRB-SC2 numunesinin enkesit özellikleri.

P_e Euler burkulma yükü

$$P_e = \frac{(3.14)^2 \times 204 \times 8212500}{(1 \times 2100)^2} \times 10 = 3714 \text{ kN}$$

P_{ysc} çekirdek akma dayanımı ise

$$P_{ysc} = \Phi F_{y\text{çekirdek}} A_{sc} = 1 \times 0.345 \times 300 = 103.5 \text{ kN}$$

olarak elde edilir. Burada

$F_{y\text{çekirdek}}$ çekirdek akma dayanımını, A_{sc} çekirdek enkesit alanını ve Φ ise AISC LRFD '10 'te BÖÇ'lerin tasarımı ile ilgili katsayıyı göstermekte olup bu deneysel bir çalışma olduğundan $\Phi=1$ alınmıştır.

P_e/P_{ysc} oranı daha önce Bölüm 1.5 'da detaylı olarak açıklanmıştır. Bu oranın 1.5 'ten büyük olması boyutların BÖÇ tasarımına uygun olduğunu göstermektedir.

BÖÇ'ün çelik çekirdek ve tüp tasarımı yapıldıktan sonra çelik çekirdek ile harç arasında sürtünmesiz yüzey sağlamak amacıyla kullanılan malzemeler Çizelge 2.10'da belirtilmiştir. Ayrıca aynı çizelgede kullanılacak harç malzemesi hakkında bilgi verilmiştir.

2.2.1.1 BÖÇ'ün birleşim detay hesabı

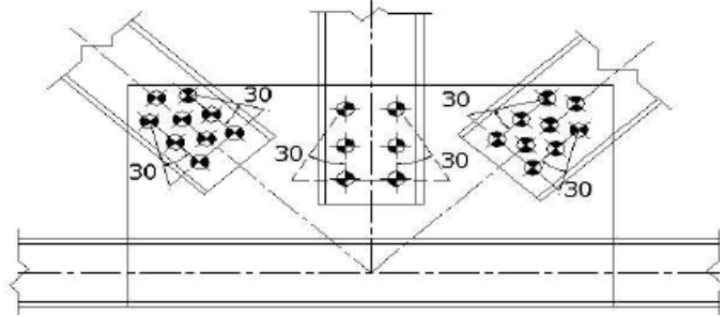
BÖÇ'ün bayrak levhalarının tasarımı

Bir bayrak levhası, üzerine etkiyen kuvvetleri güvenle aktarabilecek dayanıma sahip olmalıdır. Bयरak levhasına birleştirilmiş olan çaprazın düzlem dışı burkulması durumunda, bayrak levhası çaprazın gereksinimi olan uç dönmesini sağlayabilecek yeterli sünekliğe sahip olmalıdır. Bयरak levhalı olarak oluşturulmuş bir birleşimde, bayrak levhasının kopması, o bayrak levhasına birleştirilmiş olan diyagonal elemanın ve çelik çaprazlı çerçevenin rijitliğinde ve dayanımında büyük bir azalmaya neden olur. Bu şekildeki rijitlik ve dayanım kayıpları çelik çaprazlı çerçeveler için istenmeyen gevrek bir davranış göstermesi ile sonuçlanabilir; örneğin sistemin katlarında yumuşak ya da zayıf katlar oluşabilir. Bunun için, bayrak levhası birleşimlerinde hasar oluşumunun akma davranışı şeklinde gerçekleşmesi sağlanmalıdır.

Çizelge 2.10 : BÖÇ'ü oluşturan malzemeler.

Numune Adı	Dış Tüp	Çekirdek	Dolgu Malzemesi	Sürtünmesiz Yüzey Malzemesi	Birleşim Elemanları
BRB-SC2	Çelik	Yüksek akma dayanımlı çelik PL-12x25	Çimento esaslı, akışkan kıvamlı, yüksek dayanımlı tamir harcı (KÖSTER-VGM5)	TEFLON Kendinden Yapışkanlı Bant (FIBERFLON) + Kauçuklu Gres Yağı (LUBCO) TEFLON Kendinden Yapışkanlı Bant (FIBERFLON) + Kauçuklu Gres Yağı (LUBCO)	Çelik

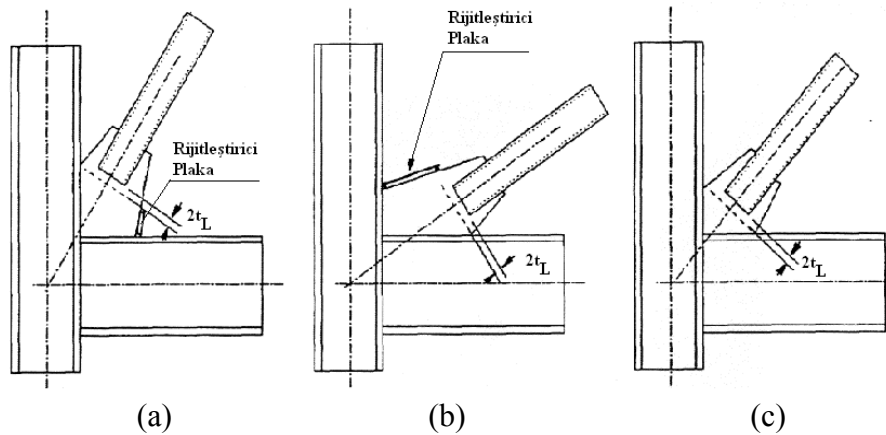
Whitmore, R. E., (1952) tarafından gerçekleştirilen deneysel çalışmalar sonucunda bayrak levhası üzerinde gerilmelerin, bayrak levhasına birleşen çerçeve elemanından itibaren 30° 'lik bir açı ile dağıldığı doğrulanmıştır. Bu durum, çevrimsel yükler altındaki bayrak levhaları içinde geçerlidir (Şekil 2.10).



Şekil 2.10 : Bayrak levhasında gerilmenin 30° 'lik açı ile yayılması (Whitmore, R.E.,1952).

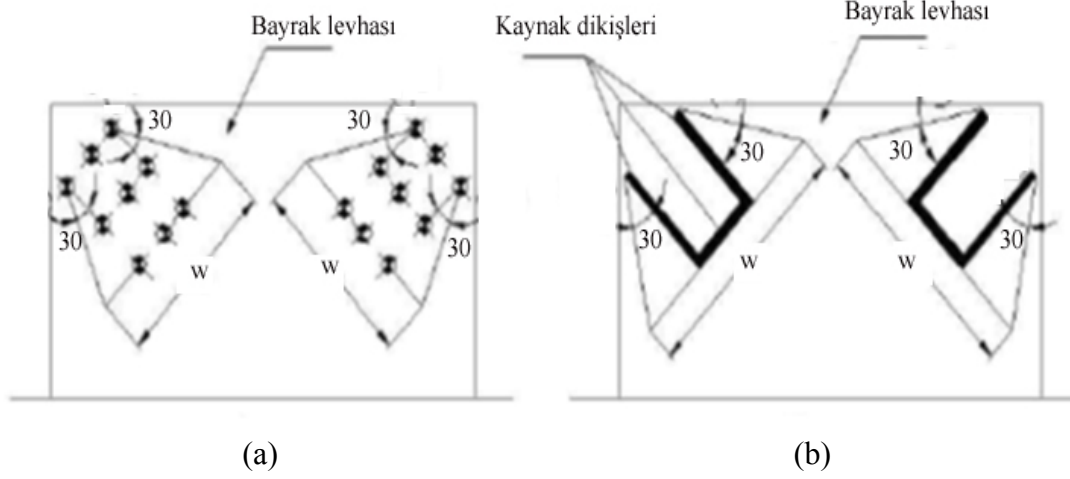
Herhangi bir diyagonal eleman, çerçeve düzlemi dışında burkulursa, plastik mafsallar bayrak levhaları üzerinde meydana gelir. Bu plastik mafsalların dönmeye karşı serbest kalmaya ihtiyacı vardır. Bayrak levhasının serbest olarak dönmelerini sağlayabilmek için, Şekil 2.11'de gösterildiği gibi, diyagonal elemanın ucu, bayrak levhasının kolon-kiriş gibi ana taşıyıcı elemana birleştirildiği uç kısımlarının köşe bölgelerinden minimum $2t_L$ maksimum $4t_L$ (t_L =bayrak levhası kalınlığı) kadar uzakta oluşturulmalıdır (Astaneh-Asl ve diğ., 1982).

Guse plakasının düzlemi dışına yeterli süneklik sağlayacak şekilde deformasyon yapması için çapraz elemanı guse levhasının bağlandığı kiriş ya da kolon kenarına minimum $2t$ kadar yaklaştırılmalıdır.



Şekil 2.11 : Düzlem dışı burkulmada, bayrak levhaları için gerekli minimum $2t_L$ maksimum $4t_L$ uzunlukları (a) ve (b) rijitleştirici plakaların farklı şekillerde montajı ve minimum $2t_L$ uzunluğu, (c) rijitleştirici plakasız $2 t_L$ uzunluğu (Astaneh-Asl ve diğ., 1998).

Bulonlu bayrak levhaları için önerilen bu 30°'lik gerilme dağılışının kaynaklı bayrak levhaları için de uygulanması Astaneh-Asl ve diğ. (1982) tarafından önerilmiştir (Şekil 2.12 (a),(b)).



Şekil 2.12 : (a) Bayrak levhası üzerinde Whitmore tarafından kabul edilen gerilme dağılışı, (b) Whitmore'un kabulünün kaynaklı bayrak levhalarına uygulanması (Astaneh-Asl ve diğ., 1982).

Bayrak levhalı herhangi bir birleşimin deprem etkilerine göre tasarımında ilk adım hasar modlarını (ya da limit durumları) belirlemektir. Daha sonra, hasar biçimleri istenilen oluşum sırasına göre belirlenmelidir. Örneğin, kopma gibi gevrek ve arzu edilmeyen hasar biçimlerinden önce, akma gibi istenilen ve sünek olan hasar biçimlerinin oluşumu sağlanmalıdır. Herhangi bir bayrak levhasında arzu edilen oluşum sırasına göre hasar şekilleri;

- Bayrak levhasının Whitmore alanının yırtılması,
- Bileşik gerilmeler altında bayrak levhası kritik kesitinin akması,
- Bayrak levhasının burkulması,
- Bayrak levhası uçlarının burkulması,
- Blok kayma,
- Bayrak levhası net alanının yırtılması

şeklinde sıralanabilir.

Tsai ve diğ. (2003), Mahin ve diğ. (2004), Tremblay ve diğ. (2006), Christopoulos ve diğ. (2006), Tsai ve diğ. (2006) bayrak levhalarının birleşim üzerindeki rijitleştirici etkisi ve bazı durumlarda getirdiği sınırlamaları incelemişlerdir. Bayrak levhası

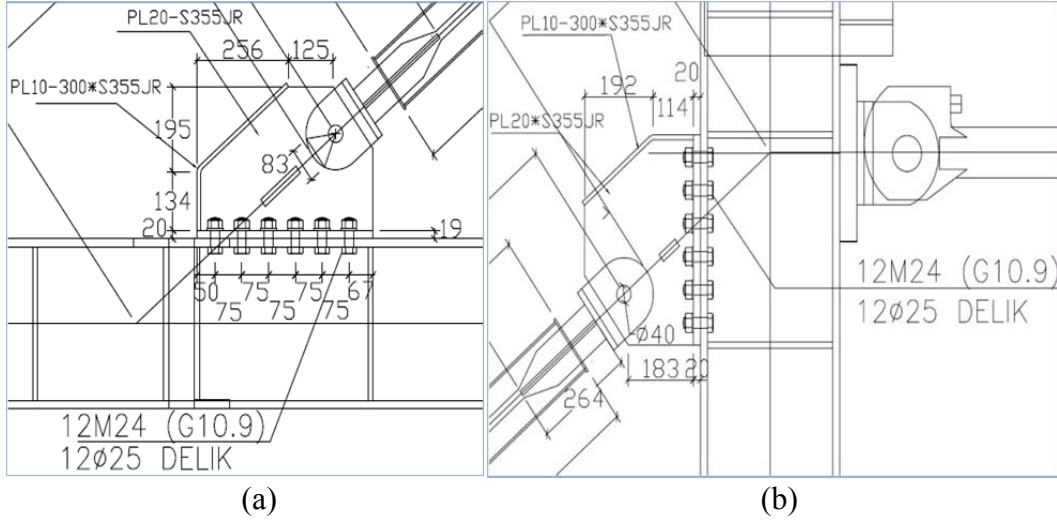
performansının BÖÇ'lü çerçeve sistemlerinin performansına ve sistemin davranışına etkisi birkaç şekilde oluşmaktadır:

1. Bayrak levhasıyla kolon-kiriş bağlantısı olan bir çerçeve, olmayan çerçeveye göre daha rijittir. Sistem rijitliği arttıkça birinci elastik titreşim periyodu kısalarak binaya etkiyen yatay deprem kuvvetleri artmaktadır.
2. Rijit bayrak levhaları BÖÇ'lere moment aktarabilir. Bu durum toplam plastik eksenel şekil değiştirme kapasitesini azaltmaktadır.
3. Çerçevenin hareketi sırasında bayrak levhalarının düzlem dışı burkulması kolon ve kiriş arasında açı değişimine neden olabilir.
4. Bayrak levhalarını kolon ve kirişe bağlayan kaynak dikişlerinde düşük devirli yorulma durumunda kritik koşullar gelişebilmektedir. Çerçevenin hareketi sırasında kolon-kiriş birleşiminin açılması durumunda çekme gerilmesi, birleşimin kapanması durumunda basınç gerilmesi oluşmaktadır. Bu tür yorulma koşulları kaynak dikişlerinin kopmasına neden olabilmektedir.

Bu olumsuzluklardan kaçınmak için Berman ve Bruneau (2009) BÖÇ için bayrak levhası tasarlarlarken, levhanın kolon yerine yalnızca kirişe bağlanmasını önermişlerdir. Bu çalışma Fahnestock ve diğ. (2007) geliştirdikleri sisteme bir alternatiftir. Fahnestock ve diğ. (2007), bayrak levhasının kolon-kiriş bağlantısı yapılırken bayrak levhasının dış tarafına kirişten gelen momenti sıfırlayan, dönmeye karşı serbest çalışan bir ek yerleştirmişlerdir. Böylece, oldukça iyi bir performans elde edilirken istenmeyen göçme şekillerinin oluşması da en aza indirilmiştir.

BÖÇ'ün bayrak levhasına bağlantısı

Deney numuneleri deney düzeneğine hidrolik veren (actuator) ile herhangi bir dışmerkezlilik oluşmayacak şekilde yerleştirilmiştir. Hidrolik verenden gelen yük, çaprazın eksenel doğrultusunun kolonla kesiştiği noktaya uygulanmıştır. Bayrak levhaları deney düzeneğine bulonlanarak, istenildiğinde sökülüp tekrar takılacak şekilde tasarlanmıştır. Yerel burkulma kapasitesini arttırmak için gövdelerine rijitleştirici plakalar kaynaklanmıştır. Ayrıca levhaların düzlem dışı burkulmaları, serbest kenarlarından rijitleştiriciler kullanılarak kısıtlanmıştır (Tsai ve diğ., 2003 ve 2004). Kenar rijitleştiricilerin genişlikleri kiriş başlık genişliği ile eşit uzunlukta seçilmiştir. Birleşim hesaplarında AISC-LRFD-2010 ve Astaneneh-Asl ve diğ. (1998) çalışması dikkate alınmıştır.



Şekil 2.13 : Numunelerin deney çerçevesine bağlantı detayları(a) Alt uç birleşim detayı (b) Üst uç birleşim detayı.

BÖÇ'lü çelik çerçevelerin, çekirdeğin akmasına karşı gelen kuvvet düzeylerinde akmadan kararlı olması için çaprazdan beklenen maksimum kuvvetlere göre tasarlanması gerekmektedir. P_u çaprazlı birleşimin çekme ve basınçta sahip olması gereken dayanım

$$P_u = \beta \omega R_y F_{ysc} A_{sc} \quad (2.1)$$

şeklinde hesaplanmaktadır. F_{ysc} çekirdek elemanın belirlenen maksimum akma gerilmesi ya da deneylerden elde edilen gerçek akma gerilmesi, R_y levhalar için malzeme dayanım katsayısı olup belirlenmesi gereken ω ve β katsayılarını aşan şekil değiştirmelerin oluşması durumunda 1.1 alınmaktadır (AISC341'10, Table I-6-1, 2010). β basınç dayanımı düzeltme katsayısı, ω çekme dayanımı düzeltme katsayısı, A_{sc} çekirdek elemanın akma bölgesi net enkesit alanıdır. Ancak, deney sırasında birleşimlerde göçme durumu oluşmaması için güvenlik katsayısı yüksek tutulmuştur.

Deney için tasarım değeri

$$P_u = 1.15 \times 1.45 \times 1 \times 0.578 \times 300 = 289.1 \text{ kN}$$

$\beta=1.15$, $\omega=1.45$, $F_{ysc}=578 \text{ MPa}$ (S355JR-12-KN çekme numunesi maksimum gerilmesi), $R_y=1$ (deneyden elde edilen F_{ysc} kullanıldığı için) olarak alınacaktır.

Bayrak levhaları ASTM SJ355R çelik kalitesinde olup malzeme özellikleri Çizelge 2.11'de verilmektedir.

Çizelge 2.11 : Bayrak levhası tasarım için gerekli bilgiler.

Bayrak Levhası	Çelik Kalitesi	t_L (mm)	E (MPa)	F_{yL} (MPa)	F_{uL} (MPa)
PL 20	S355JR	20	210000	355	470

Bayrak levhasına açılan mafsallı çapının taşıma gücü

$$\phi R_n = 0.75 \times 1.2 L_c t_L F_{uL} \quad (2.2)$$

bağıntısıyla hesaplanmaktadır. Burada F_{uL} bayrak levhası belirlenen minimum çekme dayanımı, L_c kuvvet doğrultusunda bayrak levhası kenarı ile mafsallı deliği arasındaki mesafe ve t_L bayrak levhası kalınlığıdır. Değerler bağıntıya yerleştirilirse levhanın taşıma gücü

$$\phi R_n = 0.75 \times 1.2 \times 40 \times 20 \times 470 = 338.40 \text{ KN} > P_u$$

elde edilir. Böylece levha taşıma gücü yeterlidir.

Bayrak levhasının akması, doğrudan çekme, basınç, eğilme momenti, kayma ya da bunların bileşik etkilerinden dolayı olabilir. Doğrudan çekme ve basınçtan dolayı akma davranışı Whitmore alanı üzerindeki “direkt” gerilmeden dolayı, Whitmore etkili geniş alanı içerisinde oluşur. Doğrudan eksenel yükten dolayı bir bayrak levhasının Whitmore alanının akma kapasitesi

$$\phi R_n = 0.9 F_{yL} A_g \quad (2.3)$$

bağıntısıyla hesaplanmaktadır. Burada, F_{yL} bayrak levhasının belirlenen minimum akma dayanımını, A_g Whitmore’un 30° ’lik hattı üzerindeki bayrak levhası brüt alanıdır. ($A_g = W t_L$). ϕ eksenel akma dayanımı azaltma katsayısı 0.9 alınarak değerler bağıntıya yerleştirilirse levhanın çekmede akma dayanımı kapasitesi

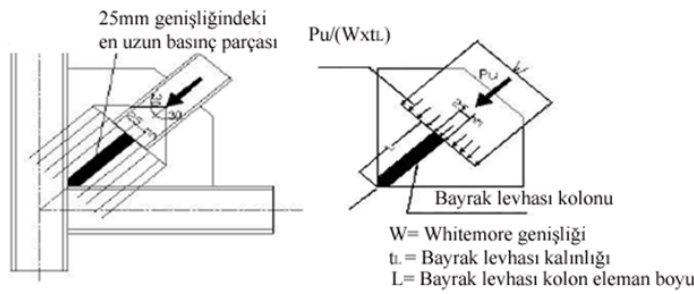
$$\phi R_n = 0.9 \times 355 \times 83 \times 20 = 530.37 \text{ KN} > P_u$$

olarak hesaplanır. böylece levha, çekmede akma kapasitesine göre uygundur.

Doğrudan etkiyen basınç kuvvetlerinden dolayı diyagonal çaprazın uç kısmının hemen gerisinde kalan alanlarda bayrak levhası burkulabilir. Bu şekilde doğrudan basınç etkileri altında kalan bir bayrak levhasının burkulma kapasitesi, Whitmore etkili genişliği dikkate alınarak

$$\phi R_n = \phi F_{cr} A_g \quad (2.4)$$

şeklinde belirlenmektedir. Burada F_{cr} Whitmore etkili genişliği içerisinde kalan 25mm genişliğindeki bayrak levhası şeridi üzerine etkiyen kritik basınç gerilmesidir. Şekil 2.14'te gösterilen 25mm genişliğindeki parça kolon gibi davranır ve ilgili kolon denklemleri kullanılarak tasarlanır. Bayrak levhaları için etkili burkulma boyu katsayısının $K_L = 1.2$ alınması önerilmektedir (Brown, V.L.S., 1988). BÖÇ'lü çaprazların özelliği dolayısıyla bu çalışmada $K_L = 1$ alınacaktır. L bayrak levhası kolon eleman boyu olarak Whitmore etkili genişliği boyunca ölçülen en uzun ölçü alınacaktır.



Şekil 2.14 : Bayrak Levhalarının burkulması ve burkulma kapasitesinin hesap modeli (Astanesh-Asl. A., 1998).

AISC-LRFD'de (2005) bayrak levhasının basınç etkisinde olması durumunda

$$F_e \geq 0.44 F_{yL} \quad \text{ise} \quad F_{cr} = \left[0.658^{\frac{F_{Ly}}{F_e}} \right] F_{yL}$$

$$F_e < 0.44 F_{yL} \quad \text{ise} \quad F_{cr} = 0.877 F_e$$

koşulu verilmektedir. Burada F_e , elastik kritik burkulma gerilmesi olup aşağıdaki bağıntıyla hesaplanmaktadır (AISC-LRFD, 2010).

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r} \right)^2} \quad (2.5)$$

E malzeme elastisite modülü 210000 MPa , r eylemsizlik yarıçapı 5.80 mm , L bayrak levhası kolon boyu 289 mm olarak yukarıdaki bağıntıya yerleştirilirse F_e elastik burkulma gerilmesi

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r} \right)^2} = \frac{3.14^2 \times 210000}{\left(\frac{1 \times 289}{5.80} \right)^2} = 833.95 \text{ MPa}$$

olarak bulunur. $F_e \geq 0.44 F_{yL}$ olması koşuluna göre

$$F_{cr} = \left[0.658^{\frac{F_{yL}}{F_e}} \right] F_{yL} = \left[0.658^{\frac{355}{833.95}} \right] \times 355 = 297.06 \text{ MPa}$$

elde edilir. Böylece bayrak levhasının burkulma kapasitesi

$$\phi R_n = \phi F_{cr} A_g = 0.9 \times 297.06 \times 83 \times 20 = 443.81 \text{ KN} > P_u$$

bulunur. Levhanın burkulma kapasitesinin yeterli olduğu anlaşılmaktadır.

Serbest uçlu bayrak levhalarında uzun olan serbest uçlar burkulabilir ve bu istenmeyen bir durumdur. Özellikle çevrimsel yükler altında, uç burkulması bayrak levhasının sünekliğini azaltabilir. Uç burkulmasının oluşumunu önlemek için Astaneh-Asl (1998) tarafından aşağıdaki bağıntı önerilmiştir:

$$\frac{L_{fg}}{t_L} = 0.75 \sqrt{\frac{E}{F_{yL}}}$$

L_{fg} bayrak levhasının serbest uç boyu, t_L bayrak levhası kalınlığı, E malzeme Elastisite Modülü'dür. Değerler yukarıdaki bağıntıda yerine konulursa

$$L_{fg} = 0.75 \sqrt{\frac{E}{F_{yL}}} \cdot t_L = 0.75 \times \sqrt{\frac{210000}{355}} \times 20 = 364.82 \text{ mm} > 187 \text{ mm}$$

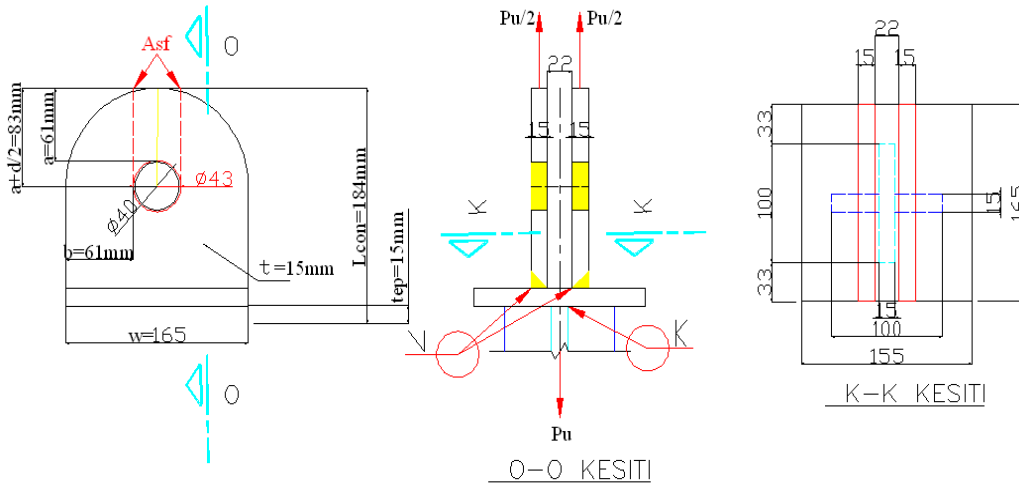
olarak hesaplanır. Levhanın serbest uç kenarları yeterlidir.

BÖÇ'ün Mafsallıklarının Tasarımı

İki adet mafsallık plakası bulona eksenel doğrultuda çekme ve basınç kuvveti aktarmaktadır. Mafsallık plakası malzeme özellikleri Çizelge 2.12'de, detay çizimleri Şekil 2.15'te verilmektedir.

Çizelge 2.12 : Mafsallık plakası tasarım için gerekli bilgiler.

Numune	Çelik Kalitesi	t (mm)	E (MPa)	F_y (MPa)	F_u (MPa)	Minimum Kopma Uzaması (%)
BRB-SC2	S355JR	15	210000	385	600	25.45



Şekil 2.15 : BRB-SC2 numunesine ilişkin mafsal plakası detayı.

Mafsal plakası en kritik durum için AISC-LRFD (2010)'de verilen aşağıdaki koşullara göre boyutlandırılmıştır.

$$b_{eff} = 2t + 16 \leq b \Rightarrow 2 \cdot 15 + 16 = 46 \text{ mm} < 61 \text{ mm}$$

$$a \geq \frac{4}{3} b_{eff} \Rightarrow 61 \text{ mm}$$

$$w \geq 2b_{eff} + d \Rightarrow 165 \text{ mm} > 136 \text{ mm}$$

Bir mafsal plakası için gereken tasarım dayanımı $P_u = 289.1/2 = 144.6 \text{ KN}$ 'dur.

Net etkili alanda çekmede kopma dayanımı

$$\phi_t P_n = 0.75 \times 2t b_{eff} F_u = 0.75 \times 2 \times 15 \times 46 \times 600 = 621 \text{ KN} > P_u$$

Kesmede kopma dayanımı

$$A_{sf} = 2t(a + d/2) = 2 \times 15 \times 83 = 2490 \text{ mm}^2$$

$$\phi_{sf} P_n = \phi_{sf} 0.6 F_u A_{sf} = 0.75 \times 0.6 \times 600 \times 2490 = 672.3 \text{ KN} > P_u$$

Taşıma kapasitesi

$$A_{pb} = d \cdot t = 40 \times 15 = 600 \text{ mm}^2$$

$$\phi_t P_n = 0.75 \times 1.8 F_y A_{pb} = 0.75 \times 1.8 \times 385 \times 600 = 311.85 \text{ KN} > P_u$$

Çekmede akma dayanımı

$$A_g = w \cdot t = 165 \times 15 = 2475 \text{ mm}^2$$

$$\phi_t P_n = \phi_t F_y A_g = 0.9 \times 385 \times 2475 = 857.6 \text{ kN} > P_u$$

BRB-SC2 numunesinden mafsallak plakalarına gelen kuvvet için uygun bir tasarım yapılmıştır.

BÖÇ için bulon tasarımı

Toplam uzunluğu 2303mm olan BÖÇ numunesi eksenel normal kuvveti bayrak levhalarına sürtünme tipi yüksek mukavemetli bulonla aktarmaktadır. Birleşim için çapı $\phi 40\text{mm}$ olan ASTM A490 (10.9) çelik kalitesinde yüksek mukavemetli bulon fabrikada üretilmiştir (ASTM A490M-09a). Uygunluğu için makaslanmaya/kesmeye zorlanan çift tesirli bulon hesabı yapılacaktır. AISC-LRFD (2010)'e göre bulon delik çapı bilgileri ve malzeme özellikleri Çizelge 2.13'te verilmektedir.

Çizelge 2.13 : AISC-LRFD'ye göre bulon delik çapı ve ASTM 490-09'a göre malzeme özellikleri.

Bulon Çelik Kalitesi	Bulon Çapı (mm)	Etkili Delik Çapı (mm)	Maksimum Delik Çapı (mm)	F_u MPa	F_y MPa
ASTM A490	$\phi 40$	d+3=43	d+8=48	1040	940

Sürtünme tipi bulonu kesmeye zorlayan gereken eksenel tasarım kuvveti

$$P_u = 289.1 \text{ kN 'dur.}$$

Bulonun taşıma kapasitesi

$$\phi R_n = \phi \cdot \mu \cdot D_u \cdot h_{sc} \cdot T_b \cdot N_s \quad (2.6)$$

bağıntısıyla hesaplanır. Burada;

$\phi = 0.85$, AISC-LRFD'ye göre birleşimde istenen dayanımda kaymanın oluşmaması için

$\mu = 0.35$, ortalama sürtünme katsayısı

$D_u = 1.13$, uygulanan ortalama öngermenin uygulanan minimum öngermeye oranını gösteren çarpan

$h_{sc} = 1$, Bulon deliği katsayısı (Standart delikler için)

$N_s = 2$, Kayma düzlemi sayısı

T_b = Bulona uygulanması gereken minimum öngerme kuvvetidir ve bulonun çekme kapasitesinin 0.70 katı olarak verilmiştir.

Bulonun çekme kapasitesi

$$\phi R_n = \phi \cdot 0.75 \cdot F_u \cdot A_b \quad (2.7)$$

ile hesaplanır.

Burada;

$$\phi = 0.75$$

$$F_u = 1040 \text{ MPa (bulonun kopma gerilmesi)}$$

$$A_b = \text{Bulonun alanı olup}$$

Yüksek mukavemetli bulonun çekme kapasitesi

$$\phi R_n = 0.75 \times 0.75 \times 1040 \times \frac{\pi \times 40^2}{4} = 734.76 \text{ KN}$$

olur. Böylece 1 adet sürtünme tipi M40 (10.9) bulona uygulanması gereken minimum öngerme kuvveti

$$T_b = 0.70 \cdot \phi R_n = 0.70 \times 734.76 = 514.33 \text{ KN}$$

olarak elde edilir. Sonuç olarak, sürtünme tipi bulonların taşıma kapasitesi

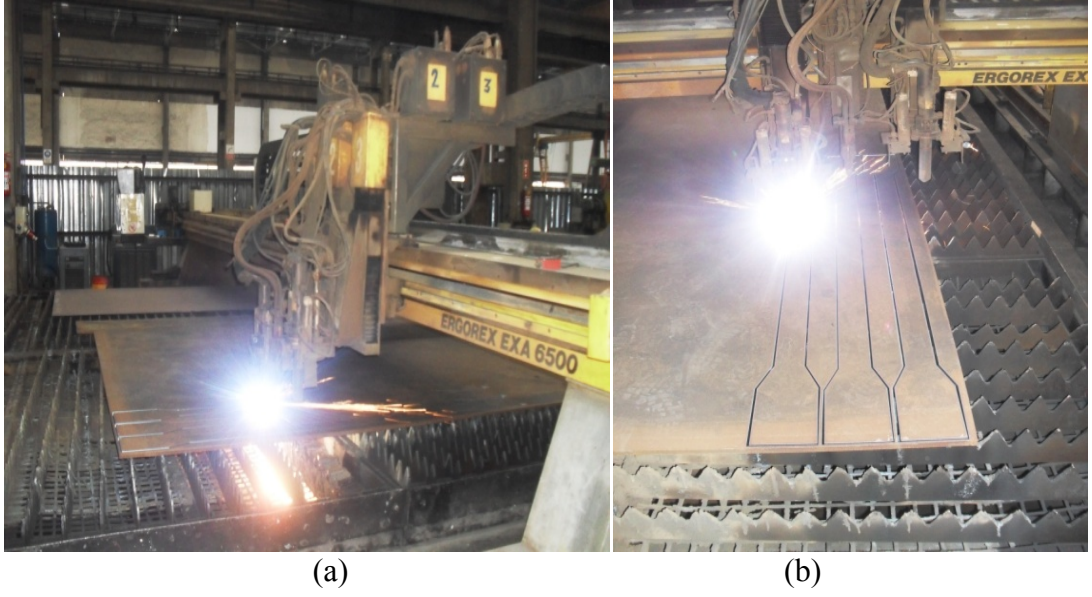
$$\phi R_n = \phi \cdot \mu \cdot D_u \cdot h_{sc} \cdot T_b \cdot N_s = 0.85 \times 0.35 \times 1.13 \times 1 \times 514.33 \cdot 2 = 345.81 \text{ KN} > P_u = 317.25 \text{ KN}$$

elde edilir. Böylece, seçilen M40 bulonun uygun olduğu anlaşılmaktadır.

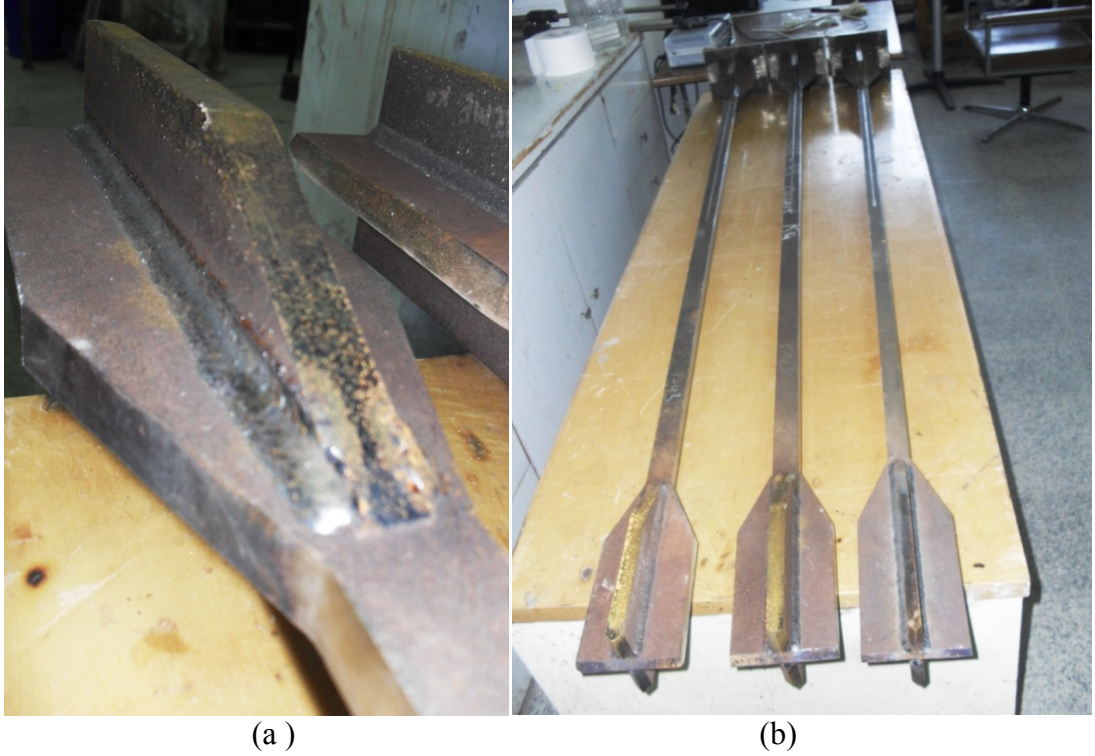
2.2.2 BÖÇ'ün üretim aşamaları

Yüksek mukavemetli S355JR (Fe510) malzemesinden tasarlanmış çelik levhanın kesim işlemi ve güçlendirme bölgesi oluşturma işlemi Şekil 2.16'da belirtilmiştir.

Kesim işleminden sonra 12mm x 25mm boyutlarında çelik çekirdek elde edilmiştir. Sonrasında numune Şekil 2.17'de görüldüğü gibi akma bölgesi, geçiş bölgesi ve birleşim bölgesi oluşturulmuştur.



Şekil 2.16 : Çelik çekirdek kesim işlemi (a) 12mm kalınlığında plakanın kesim işlemi, (b) 12mm plakanın farklı açıdan kesim işlemi.



Şekil 2.17 : Çelik çekirdekte güçlendirme bölgesinin oluşturulması (a) tam penetrasyonlu küt kaynak ile haç şeklinde güçlendirme bölgesinin oluşturulması ve (b) çelik çekirdeğin akma bölgesi ile güçlendirme bölgelerine ayrılmış durumu.

Çelik çekirdek sarılmadan önce ortasından boyuna doğrultuda boşluk açılarak içerisine strain gauge yerleştirilmiştir. Şekil 2.18'de gösterilmektedir. Ayrıca Şekil 2.19'da sürtünmesiz yüzey oluşturmak amacıyla sarılan teflon malzemesi gösterilmektedir.



(a)



(b)

Şekil 2.18 : Straingauge yerleştirilmesi (a) straingauge'in çelik çekirdekte açılan yuvaya yerleştirilmesi ve (b) yerleştirme işleminin akma bölgesi boyunca devam etmesi.



(a)



(b)



(c)

Şekil 2.19 : Çekirdeğin teflon ile sarılması (a) akma bölgesinde çekirdeğin teflon ile sarılması, (b) sarılma işleminin güçlendirme bölgesinde devam etmesi ve (c) çelik çekirdeğin teflon ile sarılmış son durumu.



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



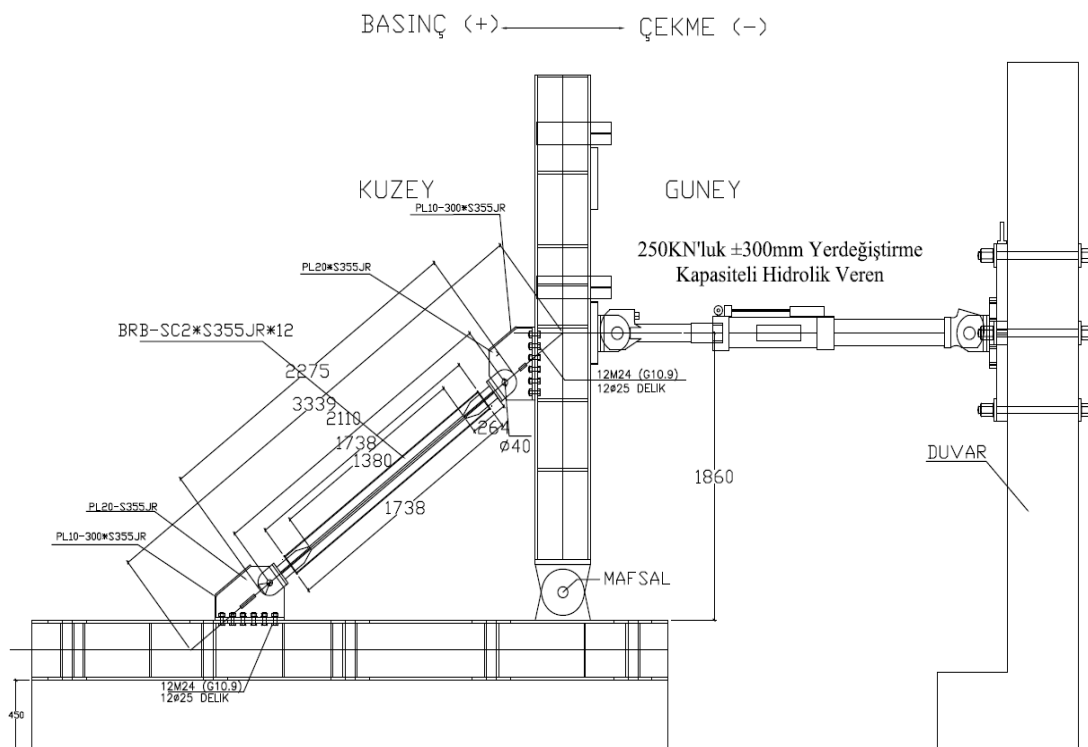
(f)

Şekil 2.20 : Harç dökümü ve çelik çekirdeğin sarılması işlemi (a) ve (b) harç hazırlanma işlemi, (c) harcın mukavemeti ölçmek amacıyla küplere dökülüp basınç testi için bekletilmesi, (d) ve (e) çelik tüpün içine harç doldurulup mukavemetini alması için bekletilmesi ve (f) çekirdeğin içindeki strain gauge'in çalışıp çalışmadığının kontrol edilmesi.

2.2.3 BÖÇ için deney düzeneğinin oluşturulması ve BÖÇ'ün düzeneğe montajı

Şekil 2.21'de BÖÇ numunesinin (deney düzeneğindeki fotoğraflarda görüleceği üzere ismi TURKBRACE-BRBSC2'dir) deney düzeneği ile birlikte montaj tasarımı gösterilmektedir. Bütün ana elemanlar ve bağlantı elemanları güvelik katsayısı 2 alınarak tasarlanmış olup deneyler 250kN kapasiteli ve bilgisayar kontrollü MTS hidrolik actuator ile yapılmıştır.

Actuator güney bölgesinde duvara montajlanmıştır ve bulunduğu duvarın arkasındaki odada bilgisayar ile kontrol edilmektedir. Herhangi bir numuneye 250 kN kapasitesi ile deplasman veya kuvvet kontrollü olarak itme veya çekme kuvveti uygulayabilmektedir. Burada HEA450 profili olan kolon ile birleşim detayı oluşturarak BÖÇ elemanına yatayda deplasman kontrollü olarak kuvvet uygulayabilmektedir.



Şekil 2.21 : BRB-SC2 numunesinin deney düzeneği ile birlikte görünüşü.

Şekil 2.22'de TURKBRACE-BRBSC2 numunesinin İstanbul Teknik Üniversitesi Yapı ve Deprem Mühendisliği Laboratuvarı'ndaki çelik kolon ve kirişe bağlantısı aşama aşama gösterilmiştir. Öncelikle düzenekteki kolon ve kirişe bayrak plakaları bulon ile montajlanmakta sonrasında ise BÖÇ elemanı sisteme mafsallı olacak şekilde montajlanmaktadır.



(a)

(b)

(c)



(d)

(e)



(f)

(g)

Şekil 2.22 : BRB-SC2 numunesinin montajı (a) actuatorun çelik kolona bağlantısı, (b) deney düzeneğinin montaj öncesi görünümü, (c) üst uç bayrak plakasının kolona bulonlu montajı, (d) alt uç bayrak plakasının kirişe bulonlu montajı, (e) numunenin alt ucunun bulonlarının sıkılması, (f) montaj sonrasında üst ucun son durumu ve (g) montajı tamamlanmış numunenin görünüşü.

2.2.4 Deney düzeneğine LVDT'lerin (Doğrusal Yerdeğiştirme Ölçer) montajı

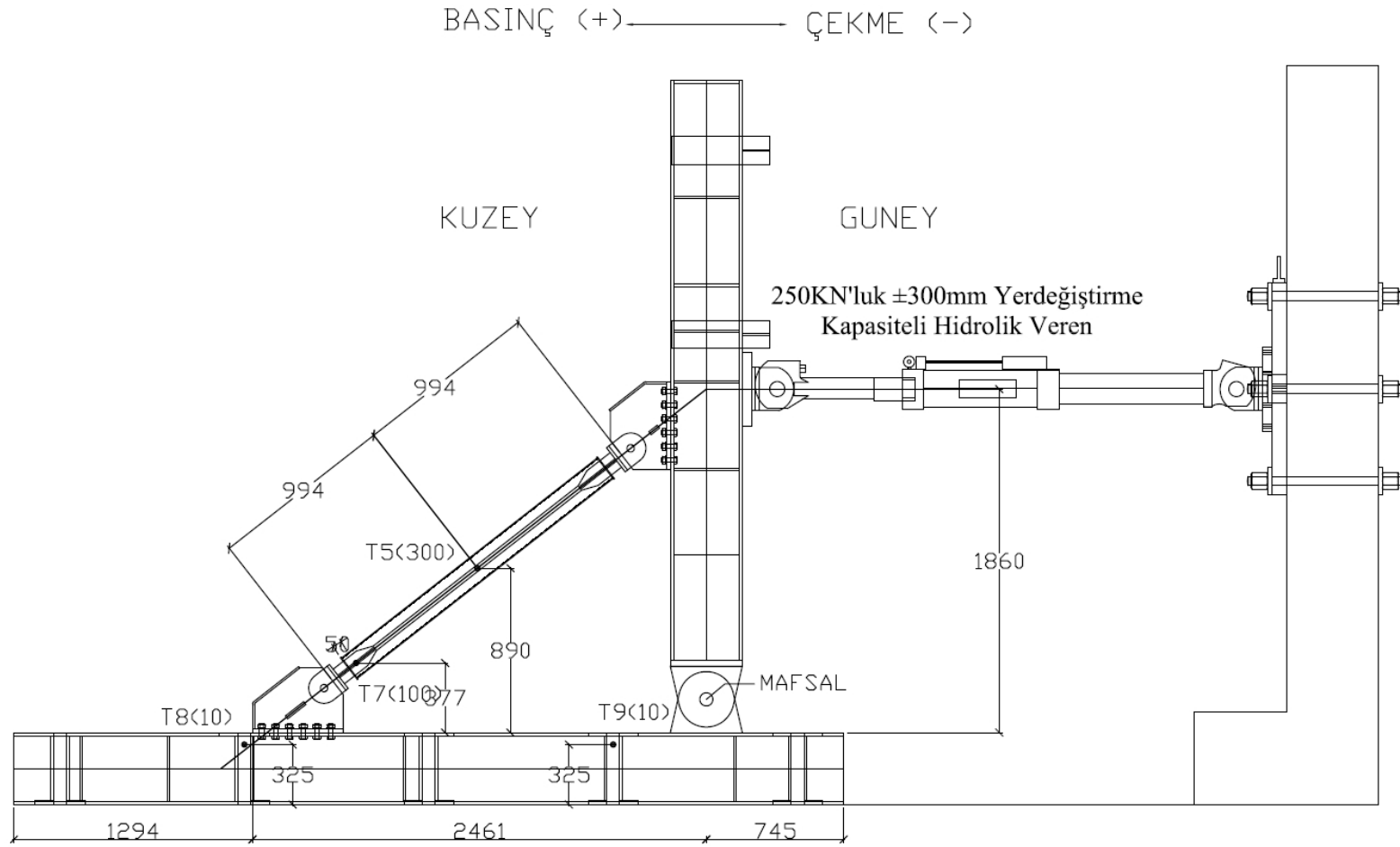
LVDT (doğrusal yerdeğiştirme ölçerler) kolon, kiriş ve TURKBRACE-BRBSC2 numunesi olmak üzere çeşitli noktalara yerleştirilerek itme ve çekme anında yerdeğiştirmeleri ölçüp bilgisayar ortamına aktarmaktadır. Bu sayede numune ile kolon ve kirişin yük altındaki davranışı kolayca izlenebilmektedir. Belirli bölgelerde maksimum yerdeğiştirmelerin tahmin edilmesiyle 5mm, 10mm, 100mm, 200mm ve 300mm kapasitelerde olmak üzere LVDT'ler yerleştirilmiştir. Çizelge 2.14'te LVDT'lerin yerleşimi ile ilgili açıklamalar, Şekil 2.23'te ise LVDT'lerin deney düzeneği üzerine yerleşimi gösterilmiştir.

Çizelge 2.14 : LVDT'lerin gösterimi.

Ölçüm Cihazları Yerleşimi		Ölçüm Cihazları Gösterimi	
BRB	BÖÇ kesitini gösterir		
K	Kuzey yüzündeki ölçüm cihazlarını gösterir		Doğrusal yerdeğiştirme ölçer (LVDT)
G	Güney yüzündeki ölçüm cihazlarını gösterir		
[...]	Arka yüzdeki ölçüm cihazlarını gösterir		
U	Üst yüzdeki ölçüm cihazlarını gösterir		Tek doğrultulu şekil değiştirme ölçerler (strain-Gauge)
L	Alt yüzdeki ölçüm cihazlarını gösterir		
B	Kiriş üzerindeki ölçüm cihazlarını gösterir		
C	Kolon üzerindeki ölçüm cihazlarını gösterir		Enine doğrultuda yerleştirilen yerdeğiştirme ölçerler

Bunlara ek olarak TURKBRACE-BRBSC2 numunesinin çeşitli yerlerine strain gauge'ler (şekildeğiştirme ölçerler) yerleştirilmiştir. Strain gauge'ler yerleştirilmeden önce metal yüzey iyi bir şekilde zımparalanmış ve herhangi bir kalıntı bırakmayacak şekilde aseton kullanılarak temizlenmiştir. Sonrasında yapıştırıcı yardımı ile şekil değiştirme ölçülmek istenen doğrultuda metal yüzeye yapıştırılmıştır. Çizelge 2.15'te LVDT ve strain gauge'lerin yerleştirildiği bölümler ve kısa kodları yer almaktadır.

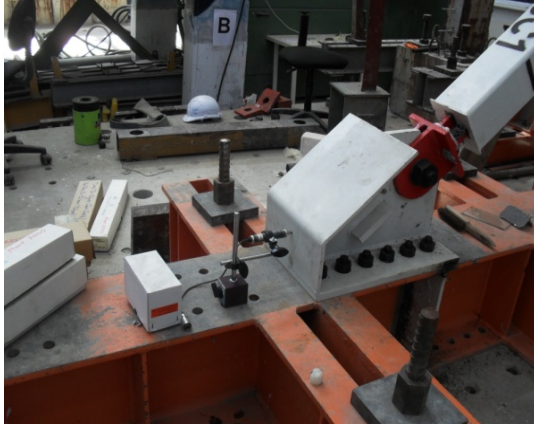
Ayrıca Şekil 2.24'te TURKBRACE-BRBSC2 numunesine ilişkin yerleşimini gösteren fotoğraflar yer almaktadır. Bu fotoğraflarda çeşitli açılardan LVDT ve strain gauge'lerin numune üzerinde yerleşimini göstermektedir.



Şekil 2.23 : LVDT'lerin yerleşimi.

Çizelge 2.15 : LVDT ve Straingauge yerleşimi ile kısa kodları.

#	LVTD'nin Kodu	LVTD'nin Tipi	Kanal Numarası	Not
1	T1W	SDP-300D	T1W-CH11	Actuator-Kolon, Batı, 1860mm
2	T1E	SDP-300D	T1E-CH12	Actuator-Kolon, Doğu, 1860mm
3	T2	CDP-100C	T2-CH13	Kolon, Kuzey, 1020mm
4	T3	CDP-5	T3-CH14	Kolon, Güney, 375mm
5	T4	CDP-5	T4-CH15	Kiriş, Güney, 0mm
6	T5	SDP-200D	T5-CH16	Düzlemdişi, BÖÇ-Orta, 884mm
7	T6	CDP-10	T6-CH17	Bayrak Plakası, Alt, 115mm
8	T7	SDP-100C	T7-CH18	Düzlemdişi, BÖÇ-Alt, 50mm
9	T8	CDP-10	T8-CH19	Kiriş, Batı-Doğu, 325mm
10	T9	CDP-10	T9-CH20	Kiriş, Doğu-Batı, 325mm
11	T10	SDP-100C	T10-CH42	BÖÇ, Alt, Boyunadoğrultuda
12	T11	SDP-100C	T10-CH43	BÖÇ, Üst, Boyunadoğrultuda
#	Starin-Gauges		Kanal Numarası	Not
13	BRB1U	Straingauge	BRB1U-CH21	BÖÇ-DİŞTÜP, Alt, Üst
14	BRB1L	Straingauge	BRB1L-CH22	BÖÇ-DİŞTÜP, Alt, Alt
15	BRB1W	Straingauge	BRB1W-CH23	BÖÇ-DİŞTÜP, Alt, Batı
16	BRB1E	Straingauge	BRB1E-CH24	BRB DİŞTÜP Alt, Doğu
17	GEL1	Straingauge	GEL1-CH25	Bayrak Plakası, Alt, Doğu, Üst
18	GEL2	Straingauge	GEL2-CH48	Bayrak Plakası, Alt, Doğu, Alt
19	GEU1	Straingauge	GEU1-CH27	Bayrak Plakası, Üst, Doğu, Üst
20	GEU2	Straingauge	GEU2-CH28	Bayrak Plakası, Üst, Doğu, Alt
21	BE1	Straingauge	BE1-CH29	Kiriş, Doğu, Üst
22	BW1	Straingauge	BW1-CH30	Kiriş, Batı, Üst
23	BRB2W	Straingauge	BRB2W-CH31	BÖÇ-DİŞTÜP, Orta, Batı
24	BRB3U	Straingauge	BRB3U-CH32	BÖÇ-DİŞTÜP, Üst, Üst
25	CW1	Straingauge	CW1-CH33	Kolon, Batı, Üst
26	CE1	Straingauge	CE1-CH34	Kolon, Doğu, Üst
27	BRB3L	Straingauge	BRB3L-CH35	BÖÇ-DİŞTÜP, Üst, Alt
28	BRB3W	Straingauge	BRB3W-CH36	BÖÇ-DİŞTÜP, Üst, Batı
29	BRBKN	Straingauge	BRBKN-CH37	BÖÇ-Kanal
30	BRB3E	Straingauge	BRB3E-CH44	BÖÇ-DİŞTÜP, Üst, Doğu
31	BRB2E	Straingauge	BRB2E-CH45	BÖÇ-DİŞTÜP, Orta, Doğu
32	BRB2U	Straingauge	BRB2U-CH46	BÖÇ-DİŞTÜP, Orta, Üst
33	BRB2L	Straingauge	BRB2L-CH47	BÖÇ-DİŞTÜP, Orta, Alt



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)

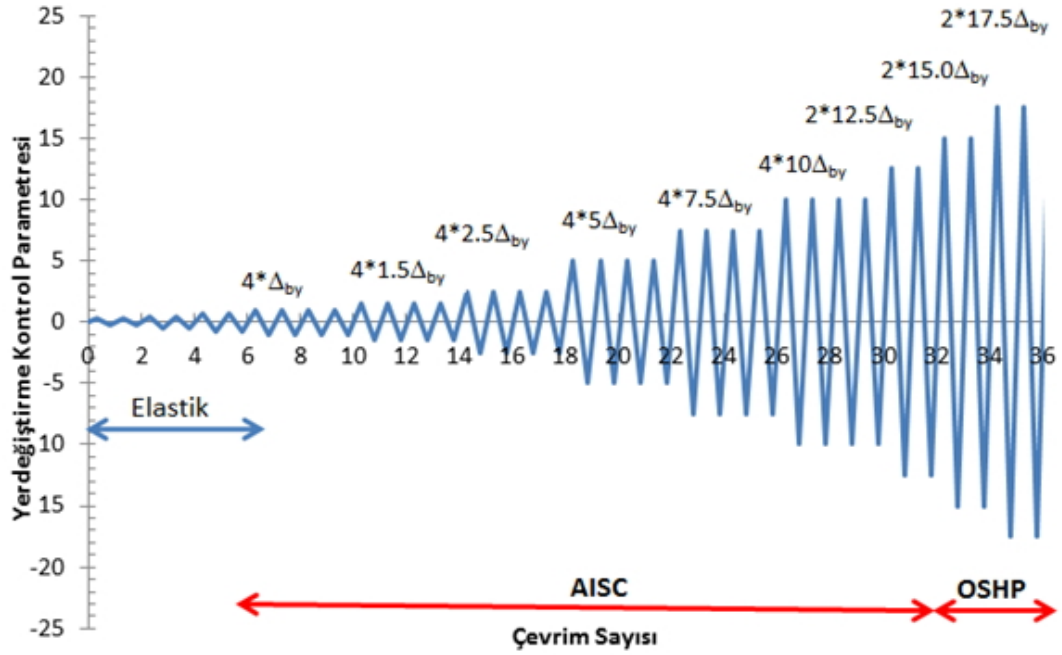


(f)

Şekil 2.24 : LVDT ve Strain gauge yerleşimleri (a) alt uç bayrak plakası arkası LVDT yerleşimi, (b) kolon kuzey doğrultuda LVDT yerleşimi, (c) üst uç bayrak plakası üstü kolon LVDT yerleşimi, (d) BÖÇ'ün boyuna doğrultuda alt uç LVDT yerleşimi, (e) kolon ve kiriş güney bölgesi LVDT yerleşimi ve (f) BÖÇ boyuna doğrultuda alt ve üst uca bağlanan LVDT'ler.

2.3 BRBSC-2 Numunesi Deneyi

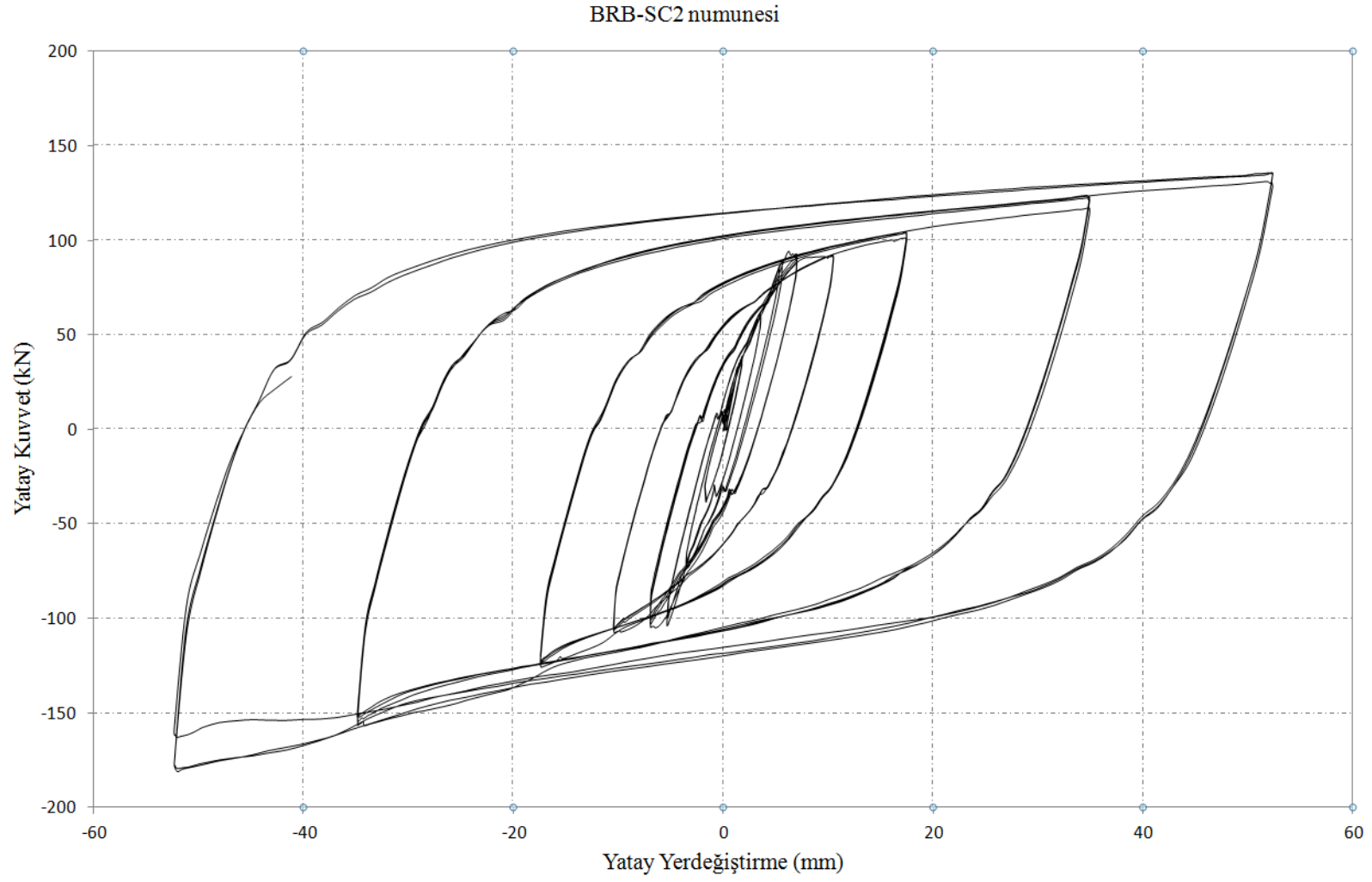
BRBSC-2 numunesinin deneysel etiketi Bölüm 2.2'de sözedildiği gibi TURKBRACE-BRBSC2'dir. Şekil 2.25'te numuneye ilişkin yükleme protokolü gösterilmiştir. Numune ilk olarak güney yönünde yüklenerek çekme etkisinde bırakılmıştır. BRB-SC2 numunesinin deneysel olarak elde edilen yatay kuvvet-yatay yerdeğiştirme histeretik eğrisi Şekil 2.26'da verilmektedir.



Şekil 2.25 : AISC - 341-10'a göre yükleme protokolü.

Numunenin tahmin edilen akma yerdeğiştirmesinin $\pm 1/4$ 'ündeki (%0.095 görelî ötelenme oranı) yatay yerdeğiştirmesi $\pm 1.77\text{mm}$ olan 2 çevrimde, $\pm 2/4$ 'ündeki (%0.19 görelî ötelenme oranı) yatay yerdeğiştirmesi $\pm 3.53\text{mm}$ olan 2 çevrimde, $\pm 3/4$ 'ündeki (%0.28 görelî ötelenme oranı) yatay yerdeğiştirmesi $\pm 5.30\text{mm}$ olan 2 çevrimde elastik davranmıştır. Elastik bölgede, ilk çevrimde çekme yüklemesi altında BRBKN $+700\mu$, basınç etkisinde -660μ , ikinci elastik çevrimde çekme yüklemesinde $+1150\mu$, basınç yüklemesinde -1300μ , üçüncü elastik çevrimde çekme etkisinde $+1900\mu$, basınç etkisinde -2000μ şekildeğiştirme değerleri okunmuştur.

Numunede çekme yüklemesinde $\pm \Delta_{by}^E$ için $+6.98\text{mm}$ yerdeğiştirmesinde (%0.38 görelî ötelenme oranı) akma gerçekleşmiştir. Metal yüzeyine yerleştirilen BRBKN şekil değıştirme ölçerinden ilk çekme pikinde $+2170\mu$, basınç pikinde -4800μ birim şekil değıştirme okuması yapılmıştır. Akma yüklemesinin 2. çekme pikinde BRBKN



Şekil 2.26 : Yatay yerdeğiştirme - kuvvet histeretik eğrisi.

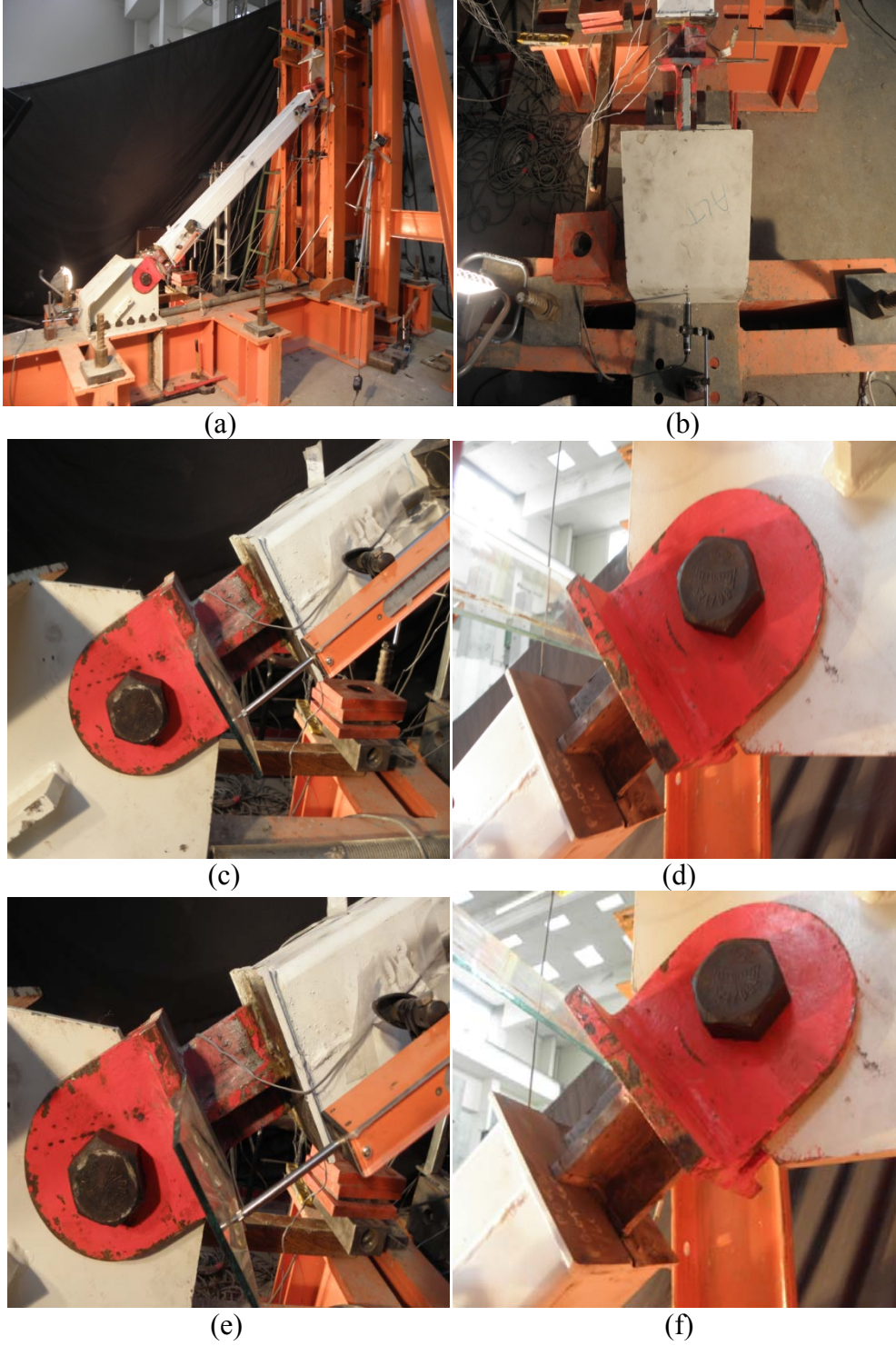
+3350 μ , ikinci basınç pikinde -5700 μ değeri okunmuştur. Bu değerler kupon deneylerinden elde edilen akma yerdeğiştirmesi birim şekil değiştirme değerlerine yakındır. Akma yerdeğiştirmesinde, bayrak levhalarında, birleşimlerde, çaprazın genel durumunda herhangi bir olumsuzluk gözlenmemiştir. $\pm\Delta_{by}^E$ seviyesinde elde edilen maksimum çekme kuvveti +93.00kN, maksimum basınç kuvveti -105.00kN'dur. Bu seviyede T5 düzlem dışı yerdeğiştirmenin -0.02mm~-0.32mm arasında değiştiği gözlenmiştir.

$\pm 1.5\Delta_{by}^E$ (± 10.47 mm yerdeğiştirme, %0.56 görelı ötelenme oranı) seviyesinde elde edilen maksimum çekme kuvveti +91.00kN, maksimum basınç kuvveti -106.00kN'dur. Bu seviyede BRBKN değerleri olarak çekme piklerinde 3400 μ ~4300 μ arasında, basınç piklerinde ise -6000 μ ~-6300 μ okunmuştur.

$\pm 2.5\Delta_{by}^E$ (± 17.45 mm yerdeğiştirme, %0.94 görelı ötelenme oranı) seviyesinde elde edilen maksimum çekme kuvveti +103.40kN, maksimum basınç kuvveti -123.00kN'dur. BRBKN $\pm 2.5\Delta_{by}^E$ seviyesinin ilk çekme pikine giderken +99.57kN kuvvetine karşı gelen +6881 μ 'de hasar görmüştür. β basınç dayanımı düzeltme katsayısı 1.15~1.23 arasındadır. Bu seviyede bayrak levhalarında, birleşimlerde ve çaprazın genel stabilitesinde herhangi bir olumsuzluk gözlenmemiştir.

$\pm 5\Delta_{by}^E$ (± 34.90 mm yerdeğiştirme, %1.88 görelı ötelenme oranı) seviyesinde elde edilen maksimum çekme kuvveti +123.00kN, maksimum basınç kuvveti -154.00kN'dur. Bu seviyede β basınç dayanımı düzeltme katsayısı 1.22~1.32 arasındadır.

$\pm 7.5\Delta_{by}^E$ (± 52.35 mm yerdeğiştirme, %2.82 görelı ötelenme oranı) seviyesinde elde edilen maksimum çekme kuvveti +135.50kN, maksimum basınç kuvveti -176.70kN'dur. Numune $\pm 7.5\Delta_{by}^E$ ve %2.82 görelı öteleme oranı seviyesinde 4. ve son çekme pikine giderken -41.18mm yerdeğiştirme ve +28.03kN'da çekirdekten kopmuştur. Kopma sonrasında yapılan incelemelerde bayrak plakalarında ve birleşim elemanlarında herhangi bir olumsuzluk gözlenmemiştir. Deneysel alışma sonucunda TURKBRACE-BRBSC2 için maksimum basınç kuvvetinin, maksimum çekme kuvvetinden ortalama %28 daha büyük olduğu belirlenmiştir. Numunenin deneysel olarak elde edilen yatay kuvvet-yatay yerdeğiştirme histeretik eğrisi şekil 2.26'da verilmektedir. Ayrıca şekil 2.27'de TURKBRACE-BRBSC2 numunesinin deney fotoğrafları verilmektedir.



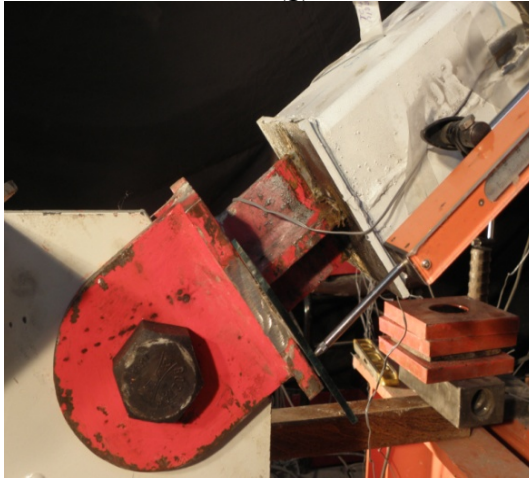
Şekil 2.27 : TURKBRACE-BRBSC2 numunesi deney fotoğrafları (a) Genel görünüş, (b) $-1/4\Delta_{by}^E$ de 1.77mm (%0.10 görelî ötelenme oranı) yatay yerdeğiştirmede alt birleşim düzlem dışı elastik davranış, (c) $+3/4\Delta_{by}^E$ seviyesinde ve 5.30mm (%0.28 görelî ötelenme oranı) yatay yerdeğiştirmede alt uç elastik davranış, (d) $-3/4\Delta_{by}^E$ seviyesinde ve 5.30mm yatay yerdeğiştirmede üst uç elastik davranış, (e) $+\Delta_{by}^E$ seviyesinde +6.98mm (%0.38 görelî ötelenme oranı) yatay akma yerdeğiştirmesinde eksenel alt uç açılımlı ve (f) $+\Delta_{by}^E$ seviyesinde +6.98mm yatay akma yerdeğiştirmesinde eksenel üst uç açılımlı.



(g)



(h)



(i)



(j)

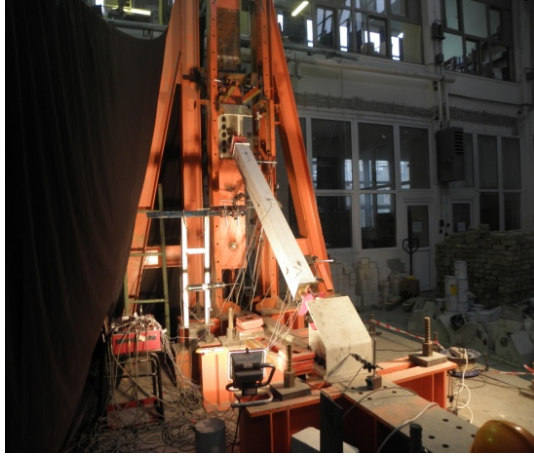


(k)



(l)

Şekil 2.27 (devam): (g) $-\Delta_{by}^E$ seviyesindeki -6.98mm ($\%0.38$ görelî ötelenme oranı) yatay basınç yüklemesinde alt uç eksenel kapanması. (h) $-\Delta_{by}^E$ de -6.98mm yatay basınç yüklemesinde üst uç eksenel kapanması. (i) $+1.5\Delta_{by}^E$ seviyesinde ve $+10.47\text{mm}$ ($\%0.56$ görelî ötelenme oranı) yatay yerdeğiştirmede alt uç eksenel çekme yerdeğiştirmesi. (j) $+1.5\Delta_{by}^E$ seviyesinde $+10.47\text{mm}$ yatay yerdeğiştirmede üst uç eksenel çekme yerdeğiştirmesi. (k) $-1.5\Delta_{by}^E$ seviyesinde ve -10.47mm yatay yerdeğiştirmede alt uç eksenel kapanması. (l) $-1.5\Delta_{by}^E$ seviyesinde ve -10.47mm yatay yerdeğiştirmede üst uç eksenel kapanması.



(m)



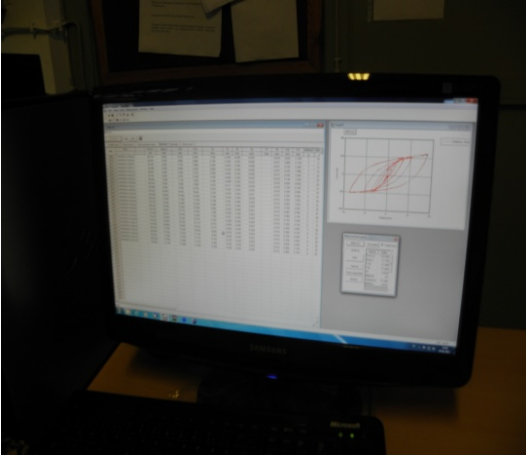
(n)



(o)



(p)



(r)



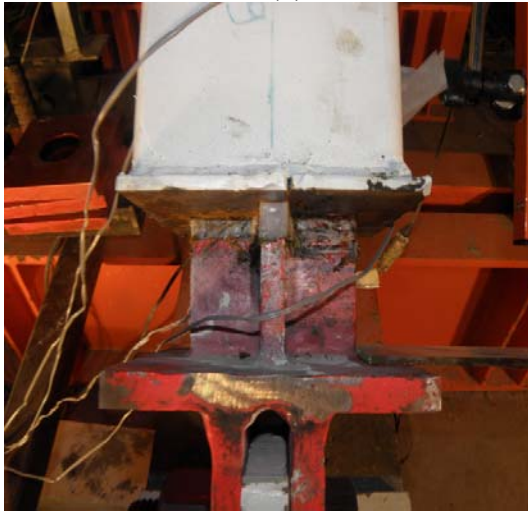
(s)

Şekil 2.27 (devam):(m) $-2.5\Delta_{by}^E$ seviyesindeki $+17.45\text{mm}$ (%0.94 görelî ötelenme oranı) genel görünüş. (n) $+2.5\Delta_{by}^E$ de $+17.45\text{mm}$ yatay çekme yüklemesinde üst uç eksenel yerdeğiştirmesi. (o) $-2.5\Delta_{by}^E$ seviyesinde ve -17.45mm yatay yerdeğiştirmede alt uç eksenel basınç yerdeğiştirmesi. (p) $-2.5\Delta_{by}^E$ seviyesinde -17.45mm yatay yerdeğiştirmede üst uç eksenel basınç yerdeğiştirmesi. (r) $\pm 2.5\Delta_{by}^E$ seviyesinde sistem odası Visual Log bilgisayar programı deney kaydı (s) $\pm 5\Delta_{by}^E$ seviyesinde ve $+34.90\text{mm}$ (%1.88 görelî ötelenme oranı) yatay yerdeğiştirmede alt uç eksenel yerdeğiştirmesi.

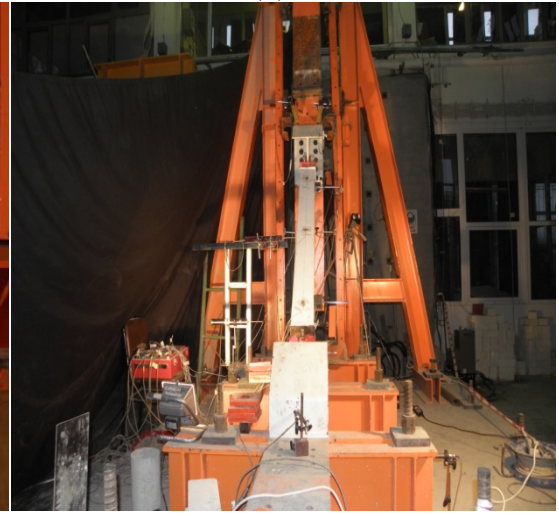


(u)

(v)



(y)



(z)

Şekil 2.27 (devam) : (u) $+7.5\Delta_{by}^E$ seviyesindeki $+52.35\text{mm}$ (%2.81 görelî ötelenme oranı) yatay çekme yüklemesinde üst uç eksenel yerdeğıştirmesi. (v) $-7.5\Delta_{by}^E$ de -52.35mm yatay basınç yüklemesinde üst uç eksenel yerdeğıştirmesi. (y) $\pm 7.5\Delta_{by}^E$ seviyesinde ve $+52.35\text{mm}$ yatay yerdeğıştirmede alt uç eksenel çekme yerdeğıştirmesi. (z) Deney sonrası TURKBRACE-BRBSC2 numunesi genel durum.

2.4 BÖÇ'ün Deney Sonrası İncelenmesi

TURKBRACE-BRBSC2 numunesinin dış tûp kesim işlemleri yapıldıktan sonra numune incelenmiştir. Yapılan incelemeden sonra numunenin güçlendirme bölgesine yakın bir bölgeden koptuğı görülmüştür. Heat Affected Zone (HAZ) adı verilen bu bölgede güçlendirme bölgesini oluşturmak amacıyla yapılan tam penetrasyonlu kût kaynak sonucunda %60'a varan dayanım kaybı görülür. Bundan dolayı bu bölgedeki lifler zayıfladığı için kuvvet aktarımı akma bölgesine yayılı bir plastik mafsall oluşmasına izin vermeden bu liflerde kalıcı deformasyonlar oluşturmuş ve bunun

sonucunda numune güçlendirme bölgesi ile akma bölgesi birleşimine yakın bir bölgeden kopmuştur. Yapılan diğer incelemelerde ise güçlendirme bölgesinde boşluk oluşturmak amacıyla bırakılan straforda ve çelik çekirdeği saran teflon malzemesinde herhangi bir hasar meydana gelmemiştir. Akma bölgesinde burkulmanın şekli incelendiğinde dış tüp tarafında burkulmanın önlenildiği ve herhangi bir yerel burkulma meydana gelmediği tespit edilmiştir. Şekil 2.28'de numunenin kesildikten sonraki fotoğrafları verilmiştir.

Sonuç olarak bu deneysel çalışmada elde edilen deneysel veriler ve kesim işleminden sonra numunenin detaylıca incelenmesi sonucunda elde edilen bilgiler:

Numune basınç ve çekmede simetrik davranış gösterdiği için iyi bir BÖÇ örneği olmuştur. Birleşim bölgesinde ve pin elemanında herhangi bir hasar tespit edilmemiştir. Numune kesildikten sonra incelendiğinde harç malzemesinde herhangi bir hasar meydana gelmemiştir. Sürtünmesiz yüzey malzemesi olarak kullanılan teflonda herhangi bir hasar gözlenmemiştir. Çekirdek akma bölgesi ve güçlendirme bölgesinde yerel burkulma oluşmamıştır. Akma bölgesinin burkulma şekli klasik çaprazdaki gibi akma bölgesi uzunluğunca olmayıp daha küçük şekillerde olduğu tespit edilmiştir.

Güçlendirme bölgesinin akma bölgesi ile birleştiği bölgede tam penetrasyonlu küt kaynak yapıldığı için HAZ bölgesi oluşmuştur. Dayanımın %60'a kadar azaldığı tahmin edilen bu bölgede kopmanın meydana gelmesinden dolayı daha iyi sonuçlar (daha fazla çevrim yapabilmek, daha fazla enerji yutma kapasitesine ulaşmak ve sönüm oranını arttırmak için) alabilmek için HAZ bölgesini akma bölgesi ile birleşim bölgesi üzerinde değil, güçlendirme bölgesi üzerinde yapılmasının daha iyi sonuçlar vereceği varsayılmaktadır.



(a)

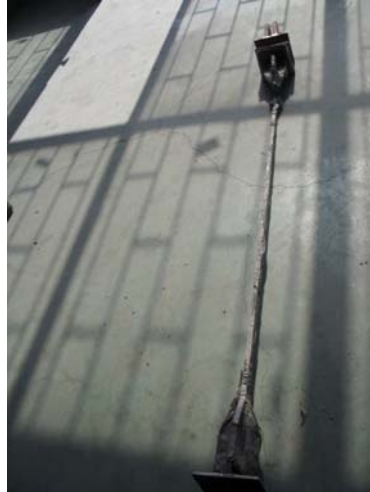
(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

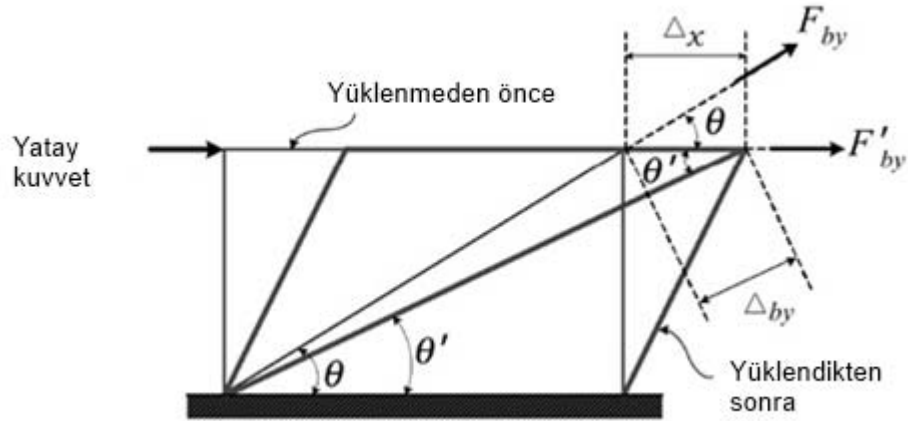
Şekil 2.28 : TURKBRACE-BRBSC2 numunesinin deneyden sonra incelenmesi(a) numunenin kesildikten sonra bileşenleri ile birlikte gösterimi, (b) güçlendirme bölgesi ve boşlukta hasar meydana gelmemesinin tespiti, (c) ve (d) HAZ bölgesinde kopma, (e) dış tüp çıkarıldıktan sonra çelik çekirdeğin görünümü, (f) HAZ bölgesinde.

3. BÖÇ 'ÜN HESAP MODELİ VE İTME (PUSHOVER) ANALİZİ

TURKBRACE-BRBSC2 numunesinin deneysel olarak incelenmesinden sonra elde edilen deney sonuçlarının teorik bir çalışma ile karşılaştırılması gerekmektedir. Bu sayede yapılan deneyden elde edilen verilerin uyumluluğu görülecektir. Öncelikle hesap modeli oluşturulacak, sonrasında sonlu elemanlar programında itme analizi ile hesap modeli karşılaştırılacak, son olarak ise hesap modeli ile itme analizi sonuçları deney sonuçları karşılaştırılacaktır.

3.1 Hesap Modeli'nin Oluşturulması

Hesap modeli oluşturulurken Şekil 3.1'deki çerçeveyi gözönüne alınırsa, Δ_{by} çaprazın ilk akma noktasındaki eksenel yerdeğiştirme miktarını ifade etmektedir. Bu değerin yataydaki izdüşümü ise Δ_x olup elastik kat ötelemesi olarak ifade edilmektedir.



Şekil 3.1 : BÖÇ'ün yerdeğiştirmesi -parametreler.

Burada F'_{by} çerçeveye etkiyen yatay kuvvet, Δ_x çerçevenin yatay yerdeğiştirmesi ve θ çaprazın çerçeve yatayı ile yaptığı açı olmak üzere

$$F'_{by} = F_{by} \cos \theta \quad (3.1)$$

$$\Delta_x = \Delta_{by} / \cos \theta \quad (3.2)$$

bağıntıları kullanılmaktadır. Δ_{by} hesaplanırken, çaprazın çekirdek akma bölgesi inelastik şekil değiştirmesi ile L_1 mafsal noktaları arasındaki uzunluk ile akma bölgesi uzunluğu dışında kalan çekirdek parçasının elastik şekil değiştirmesi birlikte dikkate alınarak

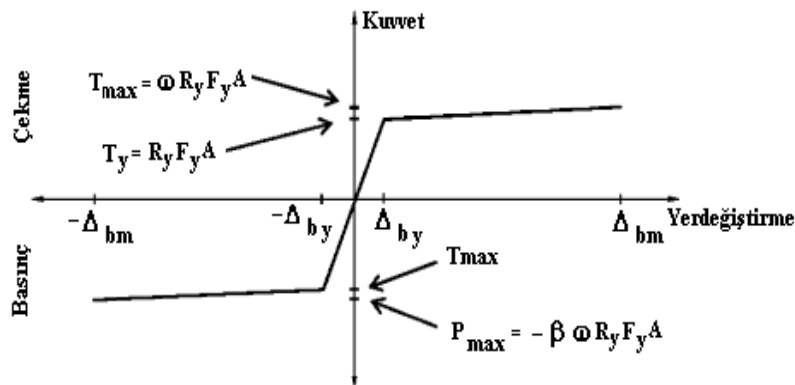
$$\Delta_{by} = \frac{P_{ysc} L_{ysc}}{EA_{sc}} + \frac{P_{ysc} \left[\frac{L_1 - L_{ysc}}{2} \right]}{EA_{tr}} \quad (3.3)$$

bağıntısı belirlenir (Meritt ve diğ. 2003 , Newell ve diğ. 2006). Burada E malzemenin elastisite modülünü, A_{sc} çekirdek elmanın net enkesit alanını, A_{tr} çekirdek elemanın güçlendirme bölgesinin haç enkesit alanını, L_1 mafsal noktaları arasındaki uzunluğu, L_{ysc} çekirdek akma bölgesinin uzunluğunu göstermektedir. Numunenin tek uç açılımı için hesaplanan Δ_{by} değeri Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1 : Δ_{by} değerinin hesaplanması.

Numune	E (GPa)	F_{ysc} (MPa)	t (mm)	b_{ysc} (mm)	b_{tr} (mm)	A_{sc} (mm ²)	P_{ysc} (kN)	$A_{tr} \approx 2b_{tr}t$ (mm ²)	L_1 (mm)	L_{ysc} (mm)	Δ_{by} (mm)
BRB-SC2	208	381	12	25	98	300	114.3	2208	2100	1380	2.62

BÖÇ 'ün çekme ve basınçta hesap modeli kuvvet-yerdeğiştirme diyagramı gösterilmektedir (Şekil 3.2).



Şekil 3.2 : AISC'10 a göre BÖÇ hesabı.

Bu grafikte yukarıda da belirtildiği gibi Δ_{by} çaprazın ilk akma noktasındaki eksenel yerdeğiştirmesi, $\Delta_{bm} 5\Delta_{by}$ değerindeki yerdeğiştirmeyi, ω çekme dayanım düzeltme katsayısını, β basınç dayanımı düzeltme çarpanı göstermektedir. Bu çalışmada,

özellikleri verilen BÖÇ için $\omega=1.45$, $\beta=1.15$ ve R_y deneysel bir çalışma olduğundan 1.00 alınmıştır. Böylece

$$T_y = R_y F_y A = 1 \times 0.381 \times 300 = 114.3 \text{ kN}$$

$$T_{\max} = \omega R_y F_y A = 1.45 \times 1 \times 0.381 \times 300 = 165.74 \text{ kN}$$

$$P_{\max} = -\beta \omega R_y F_y A = 1.15 \times 1.45 \times 1 \times 0.381 \times 300 = -190.6 \text{ kN}$$

değerleri elde edilir. Çizelge 3.2'de hesap modeli diyagramını oluşturmak için kullanılacak yatay yerdeğiştirmeler yükleme protokolüne bağlı olarak gösterilmiştir. Deneyde numune $7.5\Delta_{by}$ 4. çekme pikinde kopmasına karşın hesap modelinde $12.5\Delta_{by}$ değerine kadar gösterilmiştir.

Çizelge 3.2 : AISC10'daki yükleme protokolünün hesap modeline uyarlanması.

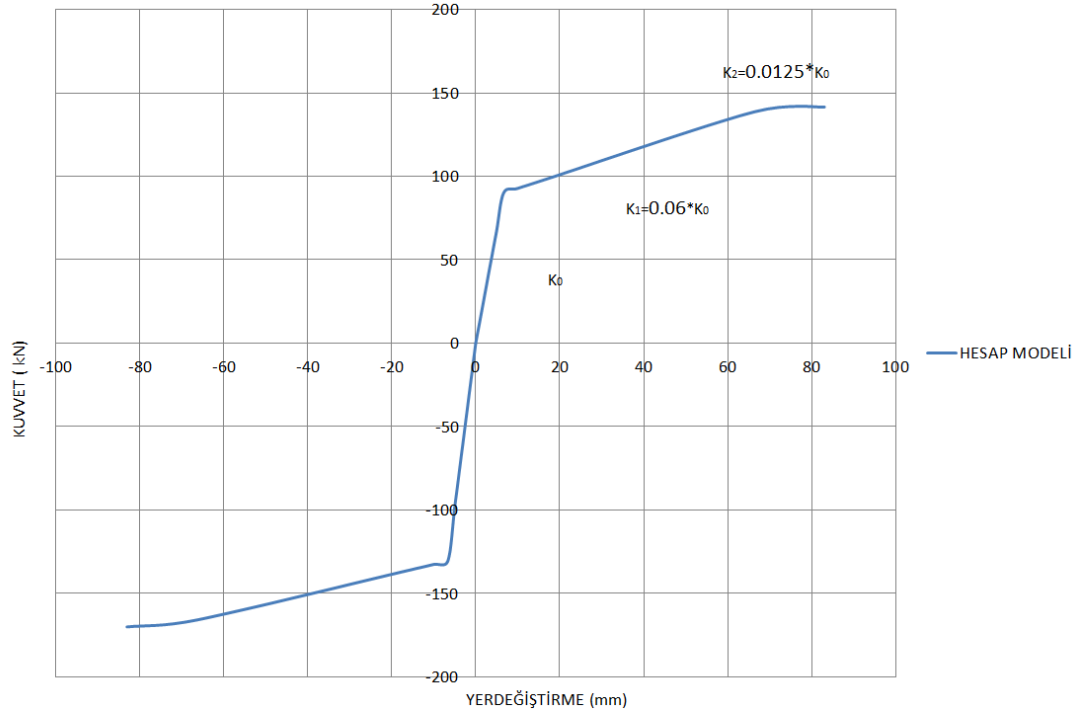
YÜKLEME PROTOKOLÜ	$2\Delta_{by}/\cos 38$ (mm)
$1/4\Delta_{by}= 0.65$	1.66
$1/2\Delta_{by}= 1.30$	3.32
$3/4\Delta_{by}= 1.96$	4.98
$1\Delta_{by}= 2.61$	6.64
$1.5\Delta_{by}= 3.92$	9.96
$2.5\Delta_{by}= 6.54$	16.60
$5\Delta_{by}= 13.08$	33.21
$7.5\Delta_{by}= 19.63$	49.82
$10\Delta_{by}= 26.17$	66.43
$12.5\Delta_{by}= 32.71$	83.03

Çizelge 3.3 : Hesap modeli rijitlikleri.

ÇEKME RİJİTLİĞİ (kN/mm)	BASINÇ RİJİTLİĞİ (kN/mm)
$K_0= 13.56$	$K_0= 19.66$
$K_1= 0.81$	$K_1= 1.18$
$K_2= 0.17$	$K_2= 0.25$

Öncelikle çekme için T_y 'den, basınç için ise $T_{\max}$ 'tan yararlanılarak K_0 rijitliği bulunmuştur. Sonrasında ise Şekil 3.3'teki rijitlik katsayıları kullanılarak Çizelge 3.3'teki değerler elde edilmiştir. Tsai ve diğ., (2004) ve Mazzolani ve Corte (2006) yılında yapmış oldukları çalışmada hesap modelinde kullanılacak olan K_1 rijitliğinin elastik rijitliğin %3~%6 arasında alınabileceğini, Dutta ve Hamburger (2006) yılında

yaptıkları 3D perform analizinde ise K_2 rijitliğinin başlangıç elastik rijitliğin %1.25'i alınabileceğini göstermişlerdir (Şekil 3.4).



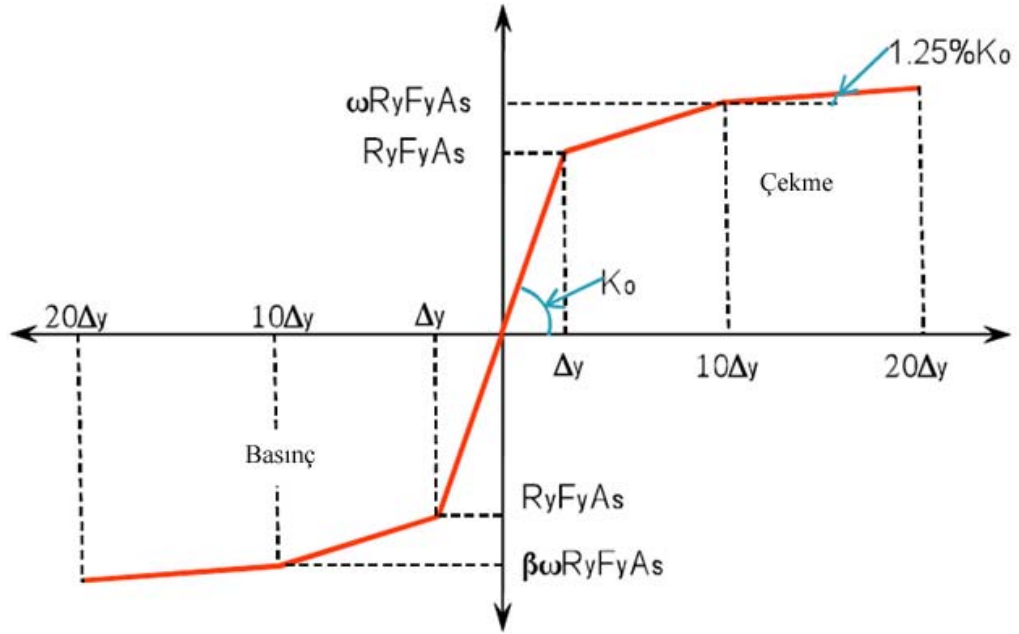
Şekil 3.3 : Hesap modeli oluştururken rijitliklerin birbiri ile bağlantıları.

Rijitlikler ve yükleme protokolündeki deplasmanlar yardımıyla Çizelge 3.4'teki kuvvetler elde edilmiştir.

Çizelge 3.4 : Hesap modeli yerdeğiştirme-kuvvet tablosu.

/cos38	HESAP MODELİ		
	(mm)	(kN)	
	0	0	
1/2Δby=	3.32	45.04	Çekme
3/4Δby=	4.98	67.56	
1Δby=	6.64	90.08	
1.5Δby=	9.96	92.78	
2.5Δby=	16.60	98.18	
10Δby=	66.43	138.68	
12.5Δby=	83.03	141.51	
	0	0	
1/2Δby=	-3.32	-65.30	Basınç
3/4Δby=	-4.98	-97.95	
1Δby=	-6.64	-130.60	
1.5Δby=	-9.96	-132.56	
2.5Δby=	-16.60	-136.48	
10Δby=	-66.43	-165.87	
12.5Δby=	-83.03	-170.03	

Dutta & Hamburger (2006) yılında yapmış oldukları çalışmada 3D performda analiz yaparken oluşturdıkları hesap modeline ilişkin rijitlik değişimleri aşağıdaki diyagramda gösterildiği gibidir.



Şekil 3.4 : Hesap modeli oluştururken rijitliklerdeki değişim (Dutta&Hamburger , 2006).

3.2 İtme Analizi'nin Adımları

SAP 2000'de oluşturulan hesap modeli ve deneysel sonuçları karşılaştırmak için bir model oluşturulmuştur. Model oluşturulurken deneysel çalışmadaki ölçüler dikkate alınarak geometri bakımından uygun girdler oluşturulmuştur. Gridler oluşturulduktan sonra İTÜ Yapı ve Deprem Mühendisliği Laboratuvarı'ndaki deney düzeneğinde bulunan kolon ve kiriş elemanları malzeme kalitesi tanımlanmıştır. Sonrasında ise kolon ve kiriş boyutları SAP 2000'de tanımlanmıştır. Bu tanımlama işleminden sonra ise BÖÇ numunesine ilişkin malzeme tanımı yapılmıştır. Malzeme olarak ise İTÜ Malzeme Anabilim Dalı Laboratuvarı'nda çekme deneyleri sonrasında elde edilen E (elastisite modülü), numune akma ve kopma dayanımları kullanılmıştır (Şekil 3.5). Ayrıca BÖÇ numunesi ilk bölümde de belirtildiği gibi akma bölgesi, güçlendirme bölgesi ve birleşim bölgesinden oluştuğu için akma bölgesi ve güçlendirme bölgesi için farklı malzeme kabulleri yapılmıştır. Aşağıdaki şekillerde detaylıca tasarım aşamaları hakkında bilgiler verilmektedir.

Material Property Data

General Data

Material Name and Display Color: S355JR-MALZEME TESTI

Material Type: Steel

Material Notes: Modify/Show Notes...

Weight and Mass

Weight per Unit Volume: 77

Mass per Unit Volume: 7.85

Units: KN, m, C

Isotropic Property Data

Modulus of Elasticity, E: 2.080E+08

Poisson's Ratio, U: 0.3

Coefficient of Thermal Expansion, A: 1.170E-05

Shear Modulus, G: 80000000

Other Properties for Steel Materials

Minimum Yield Stress, Fy: 381000

Minimum Tensile Stress, Fu: 508000

Effective Yield Stress, Fye: 419100

Effective Tensile Stress, Fue: 558800

☐ Switch To Advanced Property Display

OK Cancel

Şekil 3.5 : BÖÇ akma bölgesi için kullanılacak malzeme deneylerinden alınan değerler.

BÖÇ için güçlendirme bölgesini oluşturmak için RIJIT malzeme tanımı Şekil 3.6'da yapılmıştır.

Material Property Data

General Data

Material Name and Display Color: RIJIT

Material Type: Steel

Material Notes: Modify/Show Notes...

Weight and Mass

Weight per Unit Volume: 0

Mass per Unit Volume: 0

Units: KN, m, C

Isotropic Property Data

Modulus of Elasticity, E: 2.100E+11

Poisson's Ratio, U: 0.3

Coefficient of Thermal Expansion, A: 1.170E-05

Shear Modulus, G: 8.077E+10

Other Properties for Steel Materials

Minimum Yield Stress, Fy: 248211.28

Minimum Tensile Stress, Fu: 399896

Effective Yield Stress, Fye: 372316.9

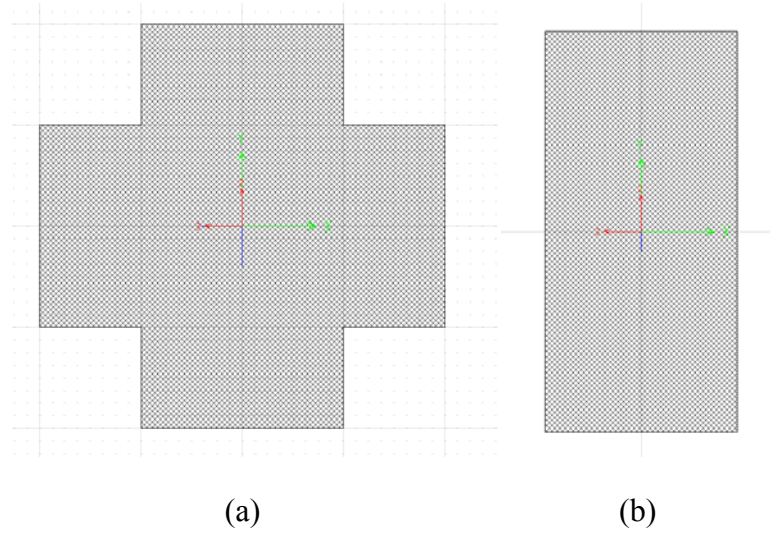
Effective Tensile Stress, Fue: 439885.6

☐ Switch To Advanced Property Display

OK Cancel

Şekil 3.6 : Güçlendirme bölgesi için rijit malzeme tanımı.

İtme analizinde kullanılacak kesitler Şekil 3.7'de gösterilmiştir.



Şekil 3.7 : Tanımlanan kesitler (a) Güçlendirme bölgesi için RIJIT malzeme atanmış 100cm-50cm ebatlarındaki kesit (b) Akma bölgesi için tanımlanmış 1.2cm-2.5 cm ebatlarındaki S355JR-MALZEME TESTİ atanmış PL12/25 kesiti.

Şekil 3.8'de laboratuvarıda deneyde kullanılan çelik kolon ve kirişin malzeme özellikleri tanımlanmıştır.

Material Property Data penceresi, çelik malzemenin özelliklerini tanımlar. Pencere, General Data, Weight and Mass, Isotropic Property Data ve Other Properties for Steel Materials bölümlerine ayrılmıştır.

General Data	
Material Name and Display Color	ST44
Material Type	Steel
Material Notes	Modify/Show Notes...

Weight and Mass	
Weight per Unit Volume	77
Mass per Unit Volume	7.85

Units	
Units	KN, m, C

Isotropic Property Data	
Modulus of Elasticity, E	2.050E+08
Poisson's Ratio, U	0.3
Coefficient of Thermal Expansion, A	1.170E-05
Shear Modulus, G	78846154

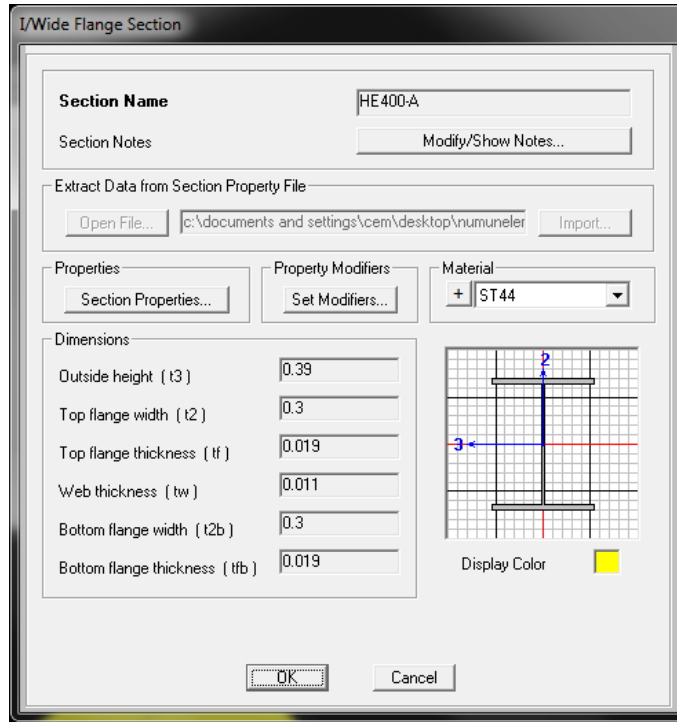
Other Properties for Steel Materials	
Minimum Yield Stress, Fy	275000.
Minimum Tensile Stress, Fu	440000.
Effective Yield Stress, Fye	302500.
Effective Tensile Stress, Fue	484000.

☐ Switch To Advanced Property Display

OK Cancel

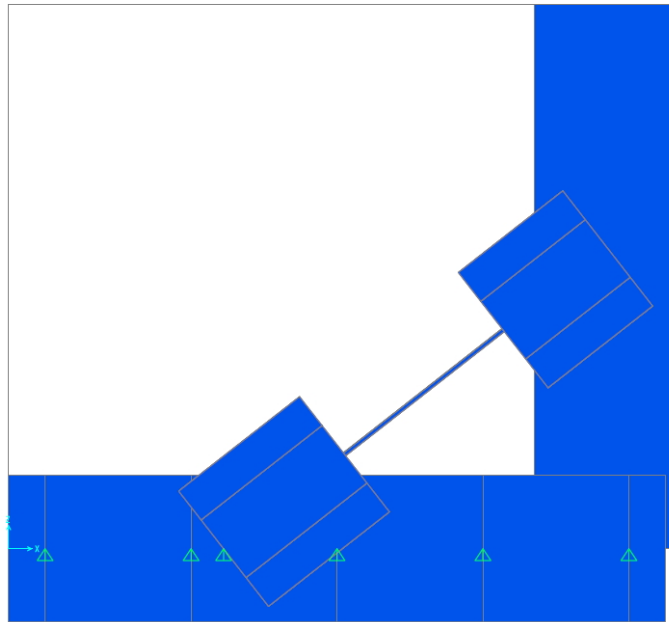
Şekil 3.8 : Laboratuvardaki kolon ve kirişin çelik malzemesi.

Şekil 3.9'da ise tanımlanan malzeme kesiti kullanılarak kolon ve kiriş için HE400-A kesit tanımlanmıştır.

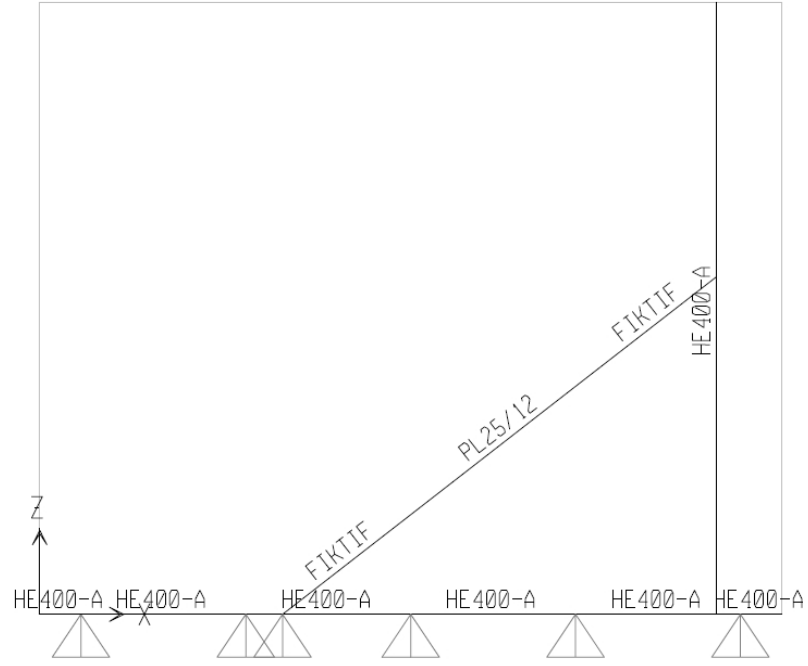


Şekil 3.9 : Laboratuvardaki kolon ve kiriş kesiti.

Şekil 3.10'da SAP 2000'de modellenmiş olan kolon-kiriş-BÖÇ sistemi gösterilmektedir. BÖÇ güçlendirme ve akma bölgesi olarak iki parçaya ayrılmıştır. Akma bölgesi için PL12/25 'lik dikdörtgen çelik çekirdek ile güçlendirme bölgesi için haç şeklinde FIKTIK adı verilen eleman atanmıştır. Şekil 3.11'de ise bu kesitler belirtilmiştir.

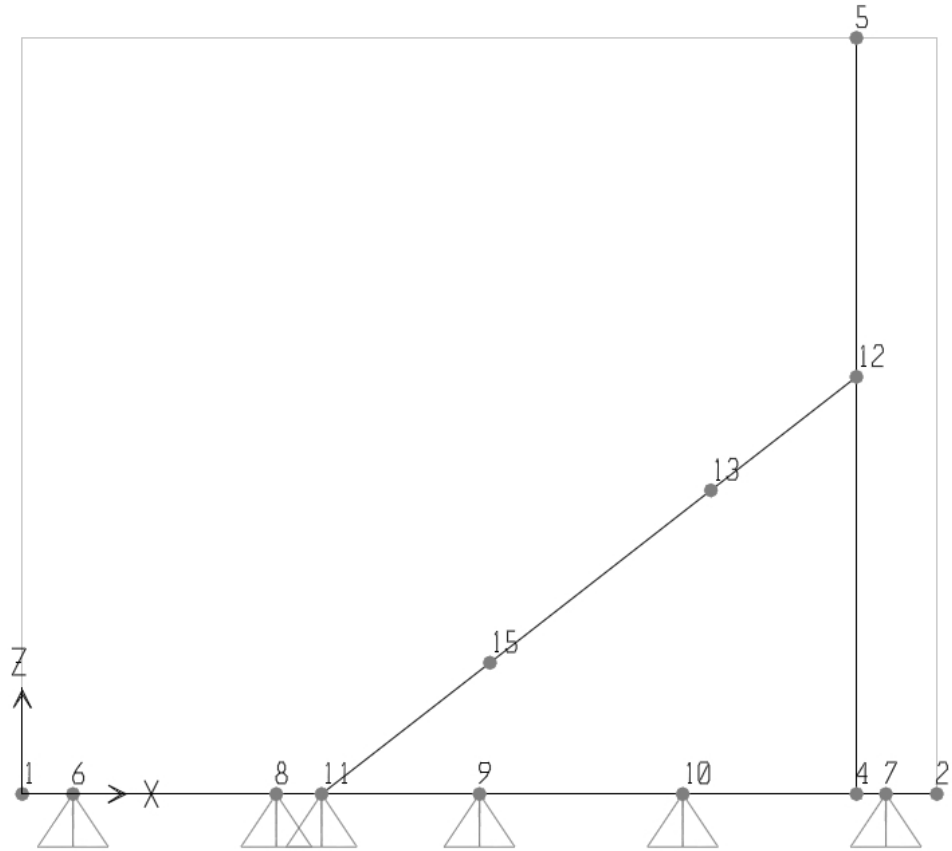


Şekil 3.10 : Deney düzeneğinin SAP 2000'de oluşturulması, kesit görünümü.



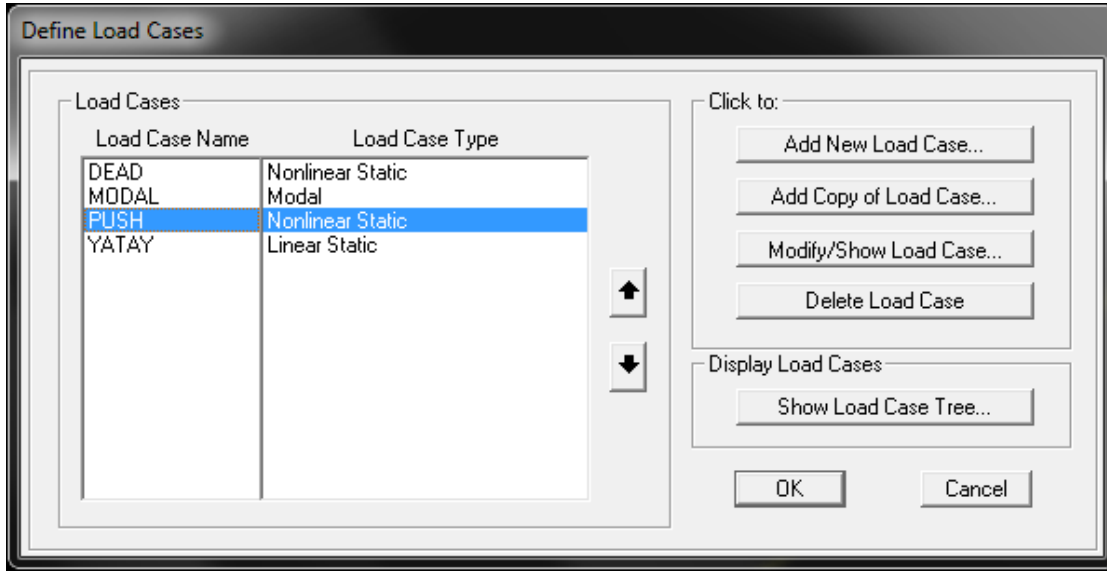
Şekil 3.11 : Deney düzeneği atanmış kesit isimleri.

Şekil 3.12'de sistemin düğüm noktaları gösterilmektedir. 12 nolu düğüm noktası actuatonun kolon-çapraz ile bağlandığı noktayı belirtmektedir.



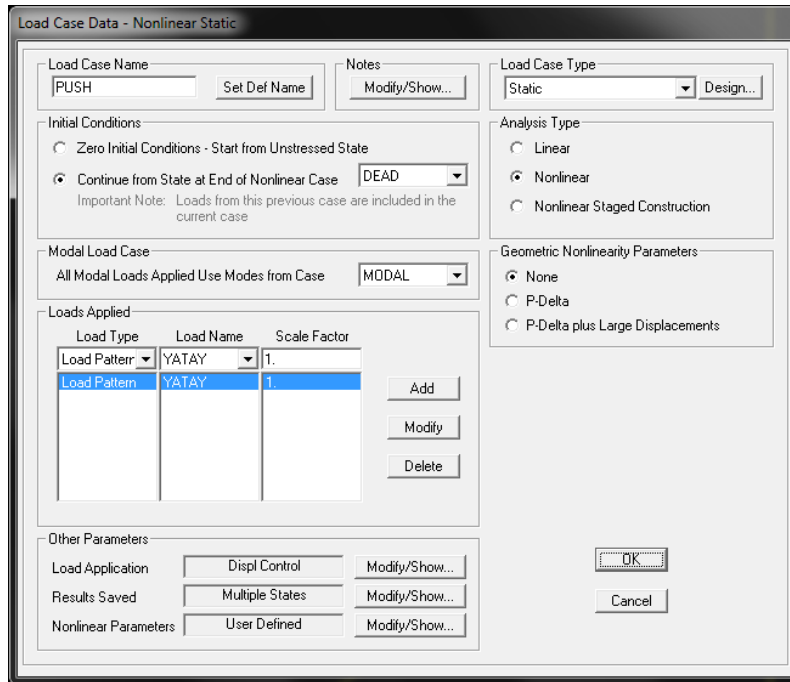
Şekil 3.12 : Sap modeli düğüm noktaları.

Şekil 3.13'te itme analizi için doğrusal olmayan yük tanımını belirtmektedir.



Şekil 3.13 : İtme analizi için doğrusal olmayan yük tanımları.

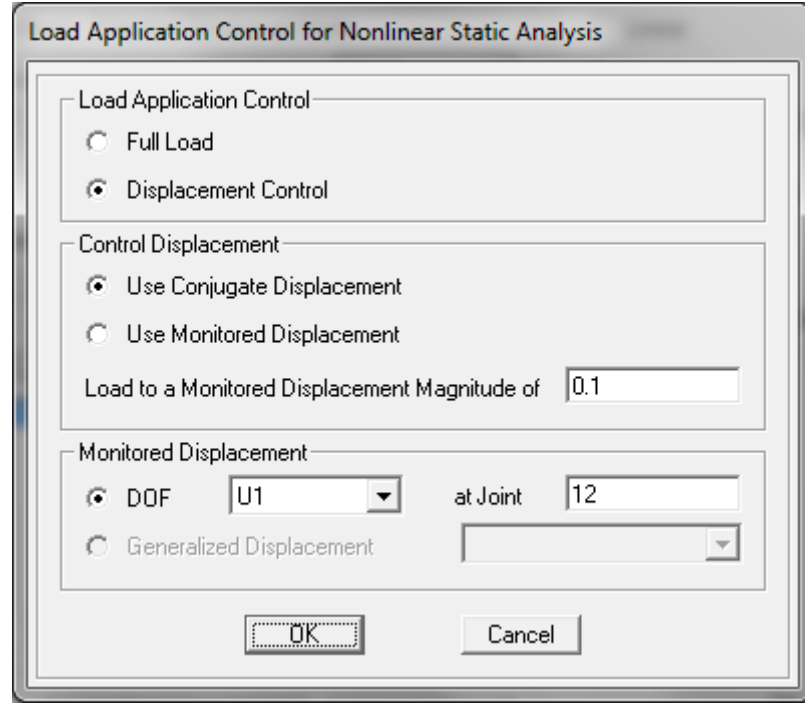
Şekil 3.14'te itme analizi için tanımlanan doğrusal olmayan yük tanımını detaylıca belirtmektedir.



Şekil 3.14 : PUSH yükleme durumu.

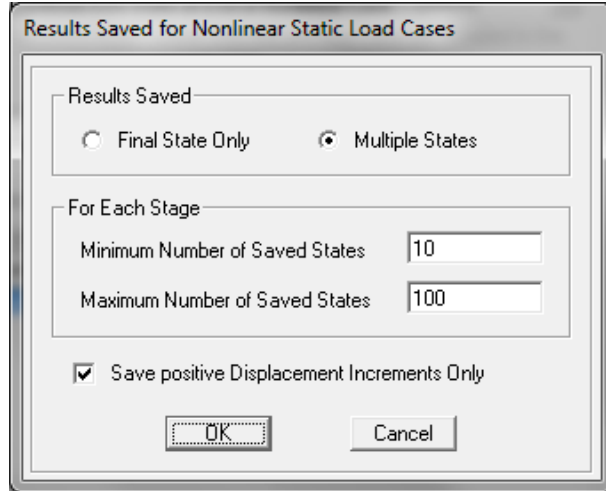
Şekil 3.15'te tanımlanan PUSH yükünün etkitileceği düğüm noktası ve deplasman kontrollü seçeneği seçilmiştir. Buradaki 12 nolu düğüm noktasının seçilmesinin sebebi ise SAP 2000'de modellenen kolon ile BÖÇ birleşim noktası olmasıdır. Bu nokta deneysel çalışmadaki numunede actuatorordan etkitilen yatay yükün SAP 2000'

de ifade edilmesidir. Bu sayede deneysel çalışmaya ilişkin daha uygun bir sistem oluşturulmaya çalışılmıştır.



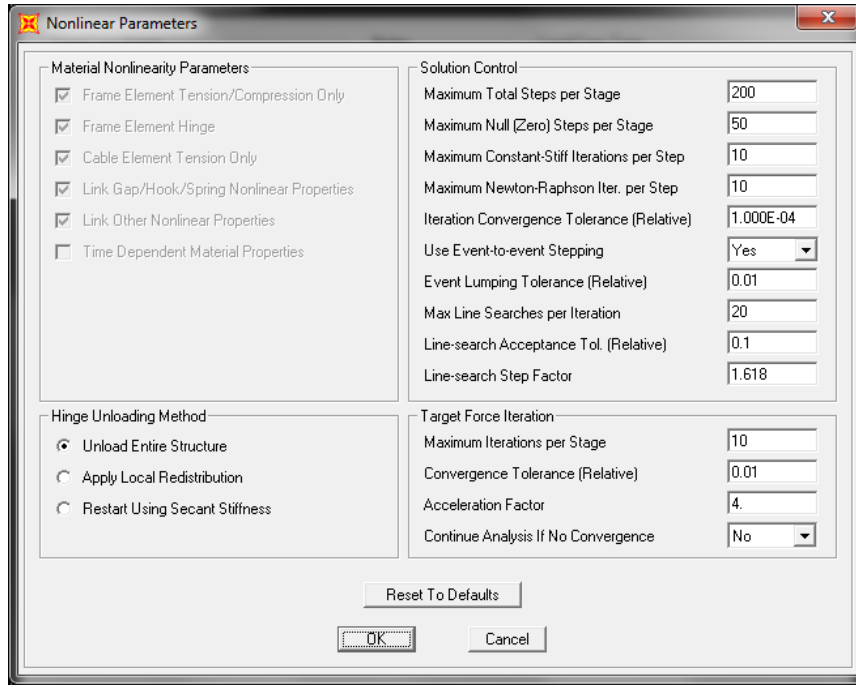
Şekil 3.15 : Deplasman kontrol bilgileri.

Şekil 3.16 itme analizinin sonuçlarını kaydetme aralığını göstermektedir. Bu aralık bu çalışmada yeterli görülmüştür.



Şekil 3.16 : Çözümleri kaydetme ölçütleri.

Şekil 3.17 ise doğrusal olmayan yük tanımlarında kullanılan parametreleri göstermektedir. Bu tablodaki değerler bu çalışmada uygulanabilmesi açısından önemlidir.



Şekil 3.17 : Doğrusal olmayan yük parametreleri.

Plastik mafsalsal tanımı için FEMA 356 (Federal Emergency Management Agency)'den yararlanılmıştır. BÖÇ çekme ve basınçta yaklaşık aynı davranışı gösterdiğinden (gerçekte basınç dayanımı çekme dayanımından %15~30 daha fazla olabilir) basınç ve çekme durumu için aynı plastik mafsalsal katsayıları kullanılmıştır. Çizelge 3.5'te basınç ve çekme durumu için katsayılar gösterilmektedir.

Çizelge 3.5 : Çapraz çekme durumu için normal kuvvet mafsalsal tanımı katsayıları (FEMA 356 Bölüm 5 Braces in Tension).

Tablo 5-7 Doğrusal Olmayan Hesap İçin Modelleme Parametreleri ve Kabul Ölçütleri - Yapısal Çelik Bileşenleri

Bileşen/Etki	Modelleme Parametreleri			Kabul Ölçütleri				
	Plastik Şekildeğiştirme		Artık Dayanım Oranı	Plastik Şekildeğiştirme				
	a	b		IO	Birincil		İkincil	
			c		LS	CP	LS	CP
Çekme etkisindeki çaprazlar (Dışmerkez çaprazlı çelik çerçevelerdeki çaprazlar dışında)	$11\Delta_T$	$14\Delta_T$	0.8	$0.25\Delta_T$	$7\Delta_T$	$9\Delta_T$	$11\Delta_T$	$13\Delta_T$
Çekme etkisindeki kirişler, kolonlar (Dışmerkez çaprazlı çelik çerçevelerdeki kirişler ve kolonlar dışında) ²	$5\Delta_T$	$7\Delta_T$	1.0	$0.25\Delta_T$	$3\Delta_T$	$5\Delta_T$	$6\Delta_T$	$7\Delta_T$

2. Δ_T :Beklenen akma yükündeki (çekmede) eksenel şekildeğiştirme

Şekil 3.18'de normal kuvvet plastik mafsalı tanımlanmıştır. Plastik mafsal tanımlanırken Immediate Occupancy 1.25, Life Safety 7 ve Collapse Prevention değerleri 9 olarak alınmıştır. Mafsal ile ilgili diğer yapılar aşağıda belirtilmiştir.

Frame Hinge Property Data for FH1 - Axial P

Edit

Displacement Control Parameters

Point	Force/SF	Disp/SF
E-	-0.8	-14
D-	-0.8	-11
C-	-1.66	-11
B-	-1	0
A	0	0
B	1	0
C	1.66	11
D	0.8	11
E	0.8	14

☒ Symmetric

Type

☒ Force - Displacement

☐ Stress - Strain

Hinge Length

☐ Relative Length

Hysteresis Type And Parameters

Hysteresis Type

No Parameters Are Required For This Hysteresis Type

Load Carrying Capacity Beyond Point E

☒ Drops To Zero

☐ Is Extrapolated

Scaling for Force and Disp

☐ Use Yield Force Force SF

☐ Use Yield Disp Disp SF

Acceptance Criteria (Plastic Disp/SF)

☒ Immediate Occupancy

☒ Life Safety

☒ Collapse Prevention

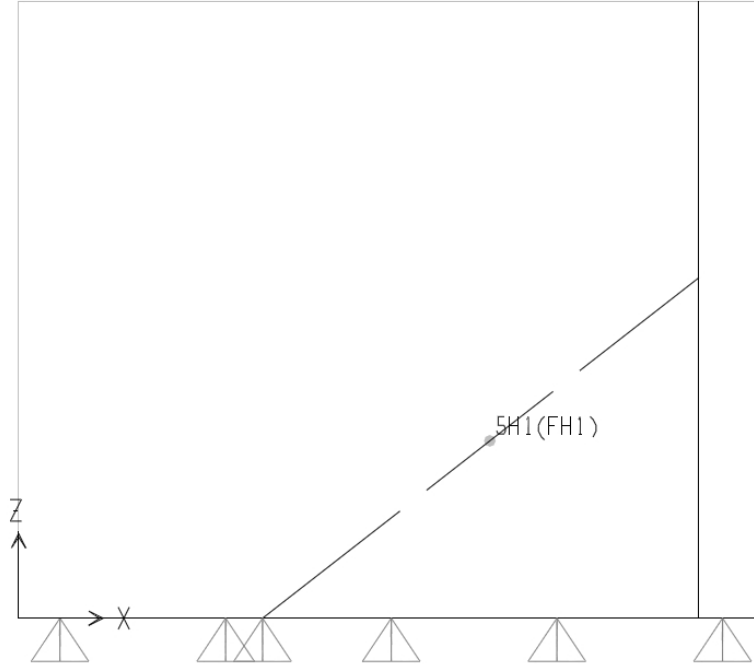
☐ Show Acceptance Criteria on Plot

OK Cancel

Şekil 3.18 : Çekme ve basınç durumları için plastik mafsal tanımı.

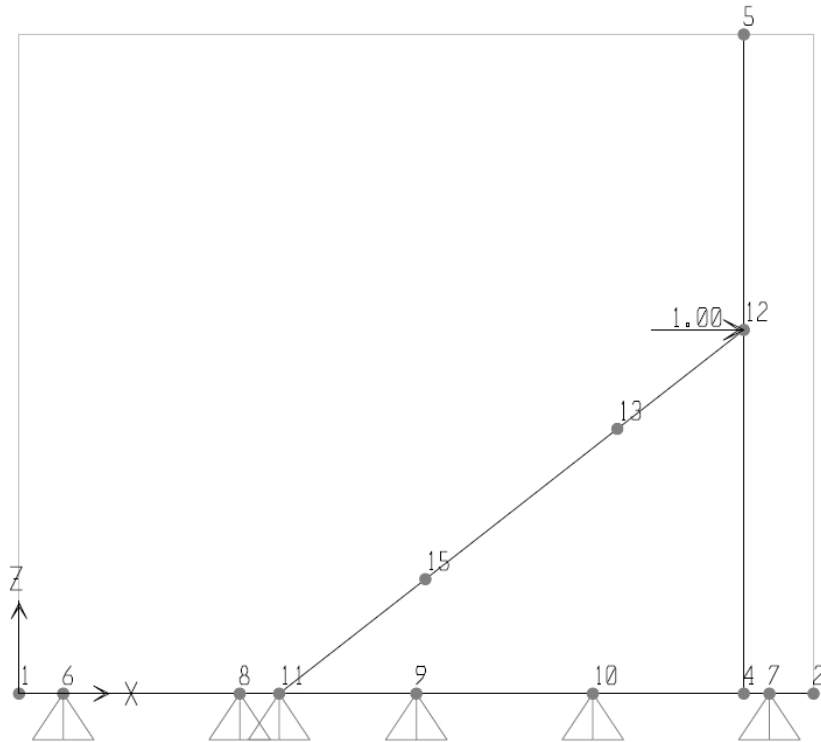
Force SF yerine Bölüm 3.1'deki P_{ysc} (BÖÇ akma kuvveti) ,Disp SF yerine de yine aynı bölümde her iki uçtaki açılımı gözönünde bulundurarak $2\Delta_{by}$ girilmiştir. Point C ise default olarak 1.33 atanmakla birlikte hesap modelinde K_1 rijitliğindeki değişiklikten dolayı burada 1.66 alınmıştır. Bu şekilde BÖÇ için en uygun olan plastik mafsal gerekli müdahaleler yapılarak tanımlanmıştır.

Şekil 3.19'da normal kuvvet mafsalının akma bölgesindeki kesite atanması gösterilmiştir. Görüldüğü gibi deneysel çalışmada kullanılan deney düzeneği SAP 2000' de modellenmiştir. Ayrıca teorik çalışmaya göre yapılan hesaplamalarda numunenin akma bölgesinden kopması istendiği için uygun bir akma bölgesi enkesiti seçilmiştir. Deneysel çalışmada numune beklenildiği gibi akma bölgesinden kopmuştur. İtme analizinde de numunenin akma bölgesinden kopması istendiği için normal kuvvet mafsalı akma bölgesinin ortasında tanımlanmıştır.



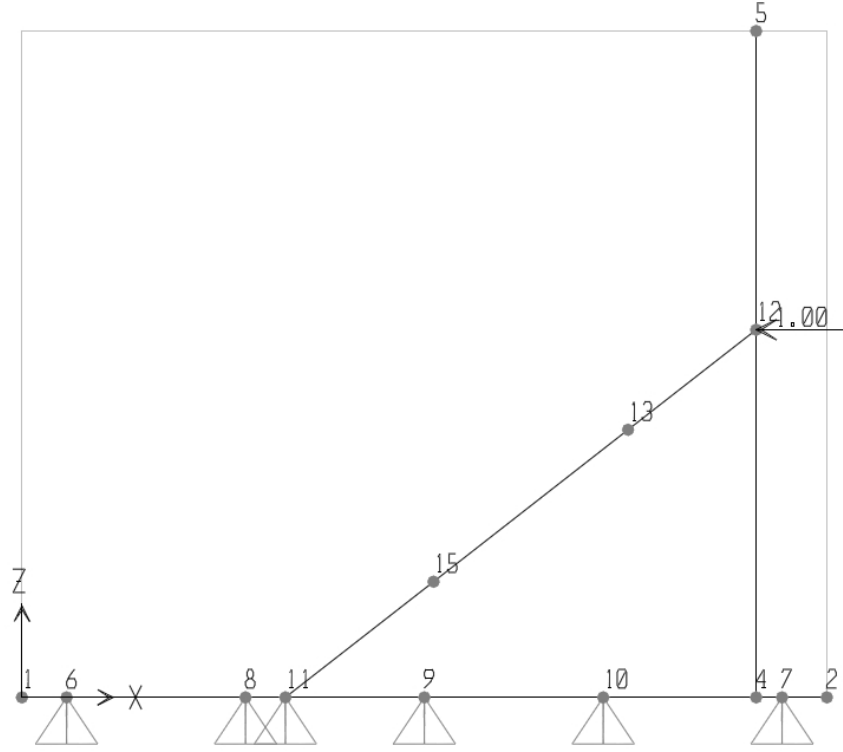
Şekil 3.19 : PL12/25 kesitine normal kuvvet mafsalının atanması.

Şekil 3.20'de ise tanımlanmış olan yatay kuvvetin 12 düğüm noktasına çekme kuvveti olarak etkimesi gösterilmiştir.



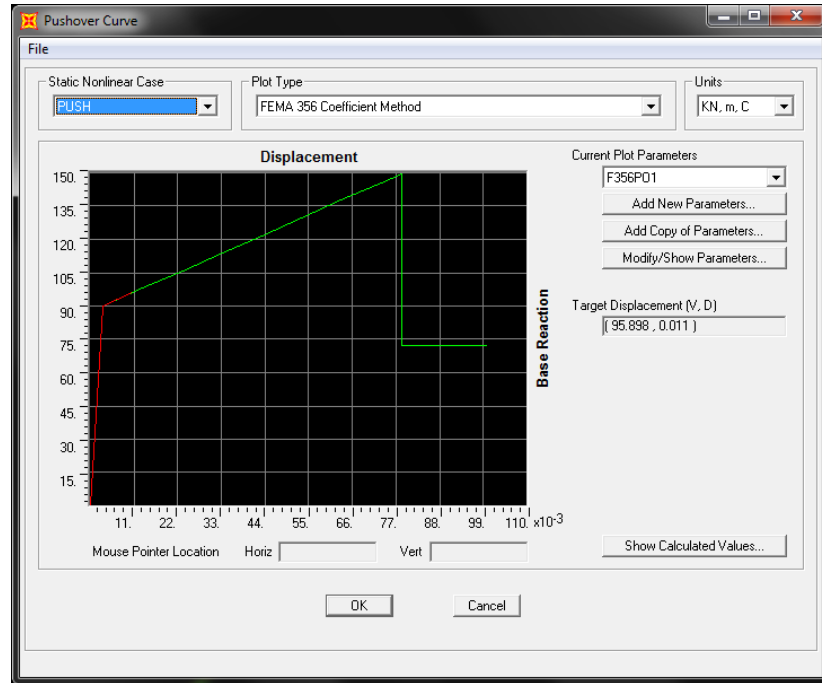
Şekil 3.20 : Load case YATAY'ın çekme etkisi.

Şekil 3.21'de tanımlanmış olan yatay kuvvetin 12 düğüm noktasına basınç kuvveti olarak etkimesi gösterilmiştir.



Şekil 3.21 : Load case YATAY'ın basınç etkisi.

SAP 2000'de analiz yapıldıktan sonra kuvvet - yerdeğiştirme diyagramı Şekil 3.22'de belirtilmiştir.



Şekil 3.22 : FEMA 356'ya göre basınç ve çekme için itme analizi diyagramı.

Yukarıdaki diyagramın tablolaştırılmış durumu Şekil 3.23'te gösterilmiştir.

Step	Displacement m	Base Force KN
0	0.000000	0.000
1	0.003209	90.108
2	0.013209	98.021
3	0.023209	105.933
4	0.033209	113.846
5	0.043209	121.759
6	0.053209	129.672
7	0.063209	137.584
8	0.073209	145.497
9	0.078450	149.644
10	0.078451	72.163
11	0.088451	72.186
12	0.098451	72.210
13	0.100002	72.213

Şekil 3.23 : FEMA 356 'ya göre basınç ve çekme için itme analizi sonuçlarının tablolatırılmış durumu.

Şekil 3.24'te hesap modeli ile itme analizi aynı diyagramları karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma işleminin yapılmasındaki amaç tasarımı yapılan numunenin hesap modeli oluşturulduktan sonra alternatif bir kaynak ile kontrol edilmesidir. Bunu için SAP 2000'de itme analizi yapılmış ve kuvvet-yerdeğiştirme değerleri kontrol edilmiştir. Esas olarak BÖÇ'ün teorik olarak incelenmesinde dikkate alınması gereken yöntem β ve ω gibi değişkenleri de hesaba kattığı için AISC'ye göre oluşturulan hesap modelidir. SAP 2000'de yapılan yaklaşım hesap modeli kadar doğru bir yaklaşımı içermemektedir. Ayrıca Şekil 3.25'te TURKBRACE-BRBSC2 numunesi deneyi-hesap modeli-itme analizi sonuçları karşılaştırma amacıyla aynı grafikte verilmiştir. Deneyisel sonuçları, hesap modeli ve itme analizi sonuçları ile aynı diyagramdaki vermekteki amaç deneyisel çalışmanın teorik çalışmaya yakınlığını kontrol etmektir. Şekil 3.25'te BÖÇ deneyisel sonuçlar ile hesap modeli karşılaştırıldığında küçük farklar görülmektedir. Deneyisel çalışmada çelik çekirdek ile harç arasında bulunan sürtünmesiz yüzey malzemesi basınç ve çekmede sürtünme etkisi ile bir miktar kuvveti harç malzemesine aktardığından dolayı hesap modeline göre daha büyük kuvvet değerleri görülmektedir. Basınç durumu için deneyden elde edilen veriler ile itme analizi ve hesap modeli ile karşılaştırıldığında daha yüksektir. Bunun nedeni, basınç durumunda Poisson oranından dolayı çelik çekirdek ile sürtünmesiz yüzey-harç-çelik tüp arasında(her ne kadar etkisi terkedilse de) bir etkileşimin varlığıdır.

SAP 2000'de akma kuvveti, Disp/SF ve Force/SF değerlerine müdahale ederek daha yakın sonuçlar elde edilebilir. S.Oller ve diğ. 2012'de yapmış oldukları bir çalışmada BÖÇ'ün bileşenlerini ayrı ayrı ABAQUS sonlu elemanlar programında modellemiş ve herbirinin davranışını incelemişlerdir. Sonrasında da bu modelleri birleştirip BÖÇ'ün gerçek davranışına yakın bir davranış elde etmeye çalışmışlardır.

Ayrıca Şekil 3.24 ile Şekil 3.25'te hesap modeli ve itme analizi diyagramlarının farklı görünmesinin sebebi Şekil 3.25'te histeretik eğriden dolayı farklı bir grafik seçilmesidir. Özellikle pushover (itme analizi) 'da akma bölgesinden sonraki kıvrıma bakıldığında Şekil 3.24'te buna benzer bir durum söz konusu değildir.

Hesap modelinden ve pushover (itme) analizinden elde edilen kuvvet-yerdeğiştirme diyagramları incelendiğinde değerlerin birbirine yakın çıktığı görülmektedir. Bu da AISC 341-10' a göre yapılan BÖÇ hesap modelinin SAP 2000 ile yapılan pushover analizindeki sonuçlar ile tutarlı olduğunu göstermektedir.

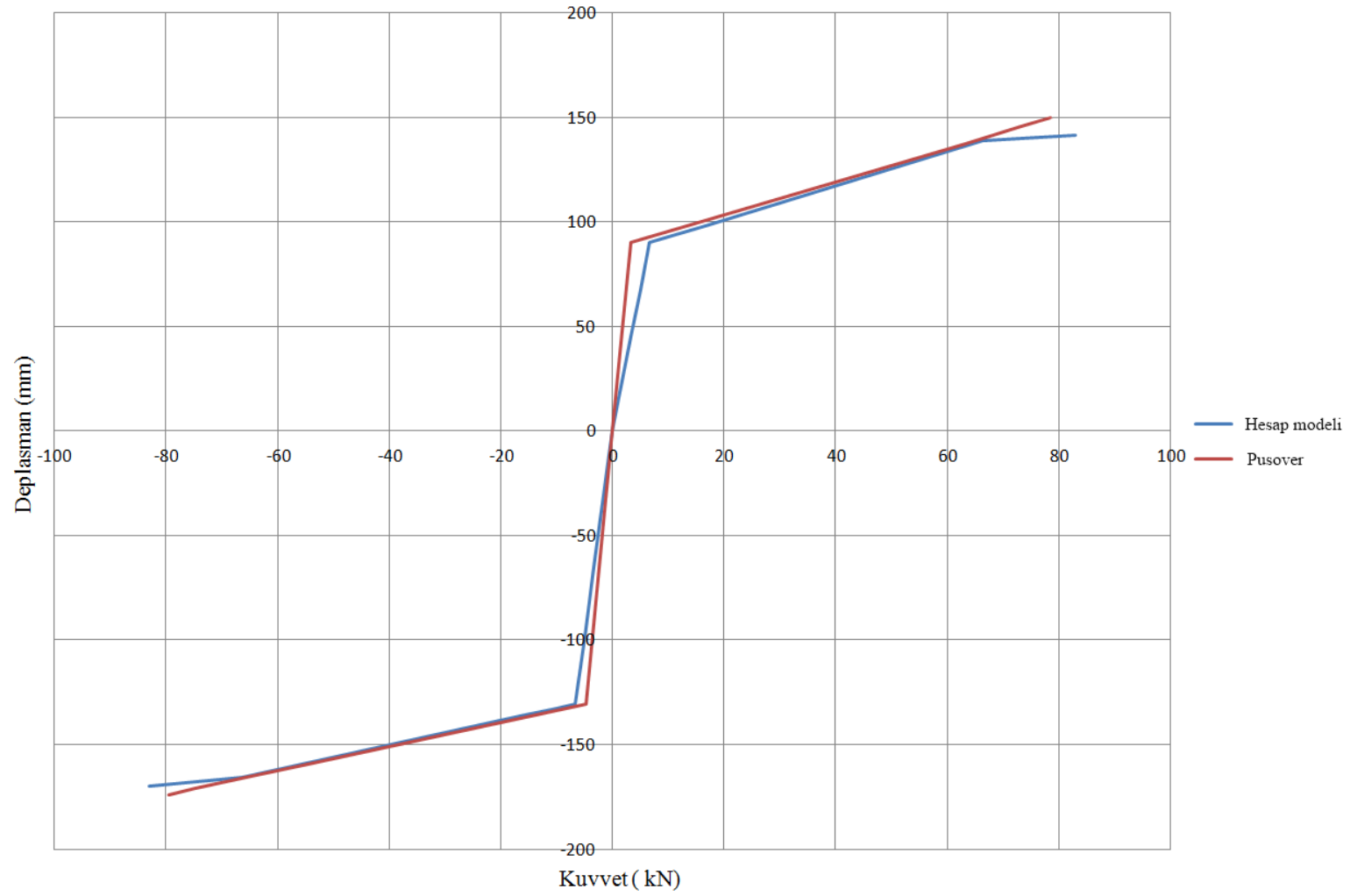
Ayrıca histeretik kuvvet-yerdeğiştirme diyagramının yanında çelik çekirdeğin içine ve dış tüpün alt, orta ve üst bölümüne çeşitli bölümlerinden yerleştirilen straingaugelerden elde edilen yatay kuvvet ve şekildeğiştirme diyagramları ek A'da gösterilmiştir.

Diyagramlar incelendiğinde çelik çekirdeğin içine yerleştirilen straingauge'te şekil değiştirmeler görülmektedir. Dış tüpte strain (10^{-6}) mertebelerinde değerler görülmektedir. Bu sayede BÖÇ'ün kuvvet etkisinde sadece çekirdeğin çalıştığı dış tüpün kılıf görevi yaptığı anlaşılmaktadır.

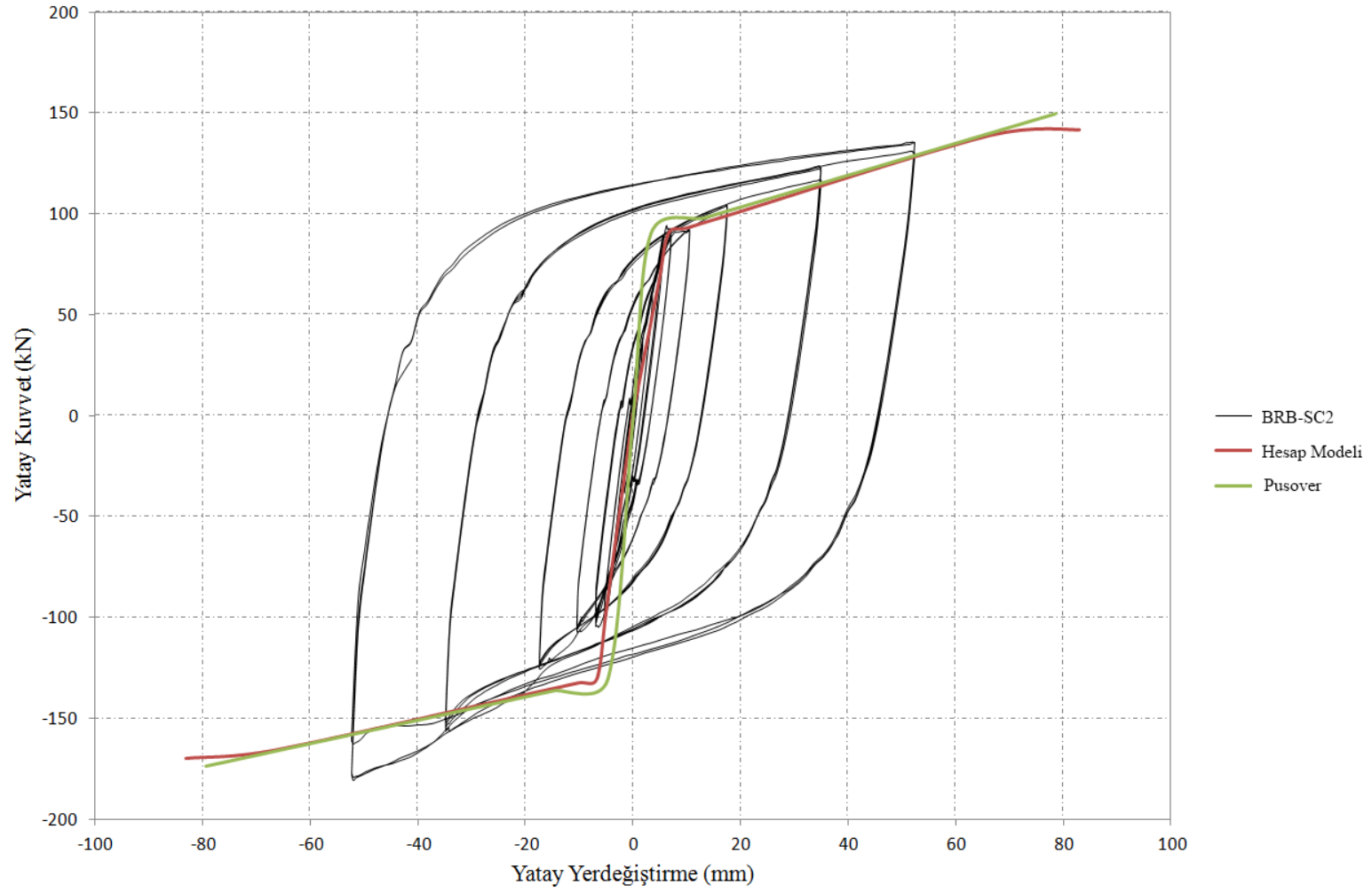
Deneysel çalışmanın sonunda elde edilen β (basınç dayanım düzeltme çarpanı) ve ω (pekleşme düzeltme çarpanı) değerleri Şekil 3.26'da gösterilmiştir. Her çevrimde

$$\omega = \frac{T_{y\max}}{T_y} \text{ ve } \beta = \frac{P_{\max}}{T_{y\max}}$$

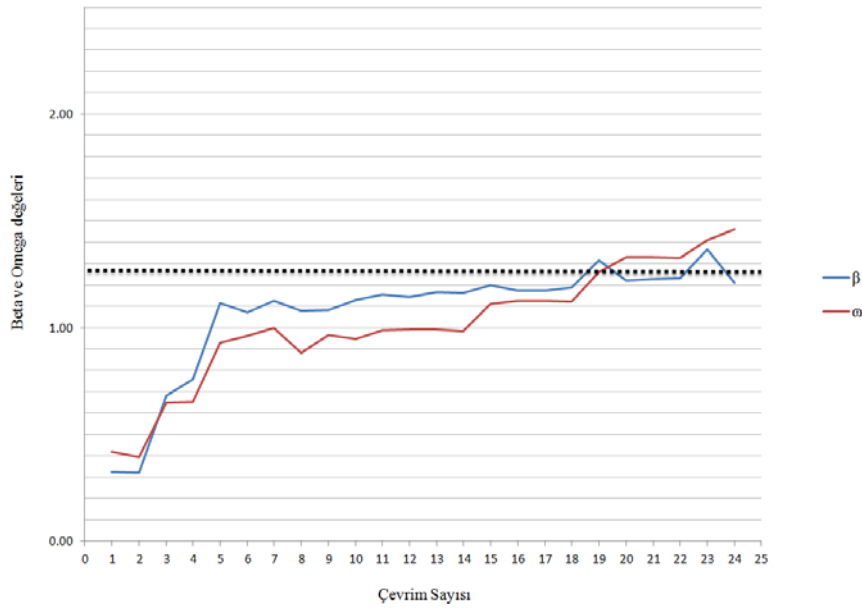
değerler hesaplanmıştır. Siyah kesik çizgi ile gösterilen bölüm AISC 341'de belirtilen 1.3 değerini ifade etmektedir. ω ve β bu değerden büyük olamaz fakat deneysel çalışmada β için 19. ve 23. çevrimlerde, ω için ise 19. çevrimden itibaren 1.3 değerinin üzerinde çıkmaktadır.



Şekil 3.24 : Hesap modeli ile itme analizi sonuçlarının karşılaştırılmış durumu.

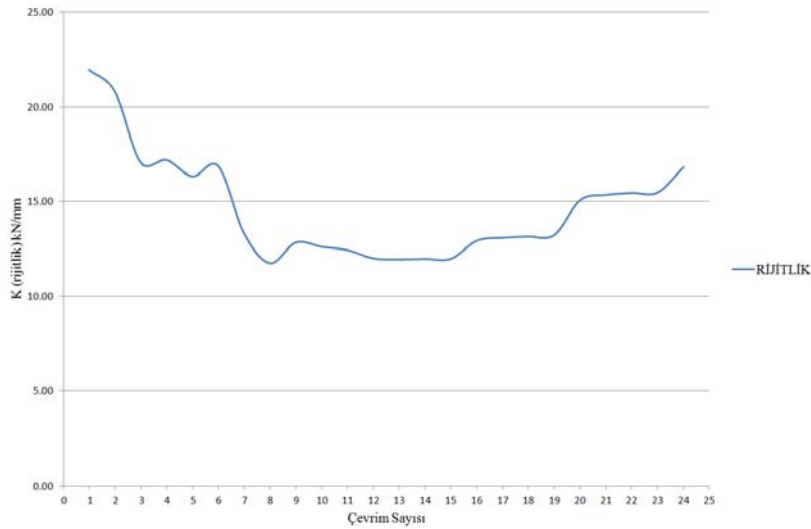


Şekil 3.25 : Deney, hesap modeli ile itme analizi sonuçlarının karşılaştırılmış durumu.



Şekil 3.26 : Deney sonucunda ω ve β değişimi.

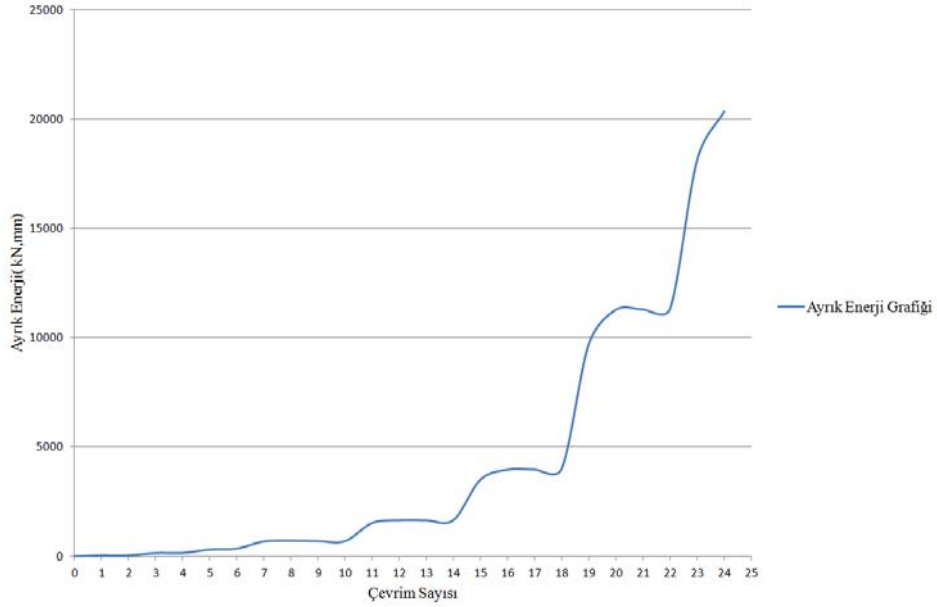
Numunenin çevrimlerine ilişkin eksenel rijitlik değişimi Şekil 3.27'de verilmiştir. Elastik bölge için hesaplanan eksenel rijitlik incelendiğinde ilk çevrimlerde rijitlikte azalmalar görülmekte birlikte son çevrimlere doğru rijitlikte kayıp meydana gelmemiştir.



Şekil 3.27 : Deney sonucunda rijitlik değişimi.

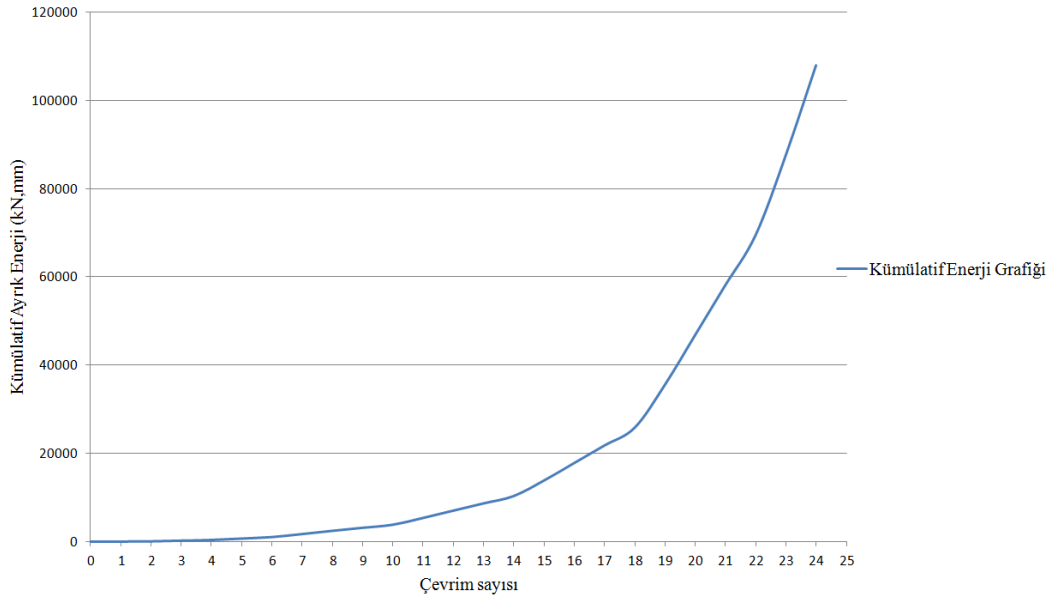
Deneysel çalışmaya bağlı olarak her bir çevrimde oluşan ayırık enerji diyagramı Şekil 3.28'de belirtilmiştir. Ayırık enerji diyagramı Çevrimlerin Ayırıklaştırılması MATLAB Kodu adlı program yardımıyla elde edilmiştir (Yüksel, E. ve Dindar, A.,A., 2009). Çevrim sayısı arttıkça ayırık enerjinin artması numunenin akmaya kadar

ve aktıktan sonraki kuvvet ve yerdeğiştirme değerlerinin büyük olmasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 3.28 : Deney sonucunda elde edilen Ayrık Enerji diyagramı.

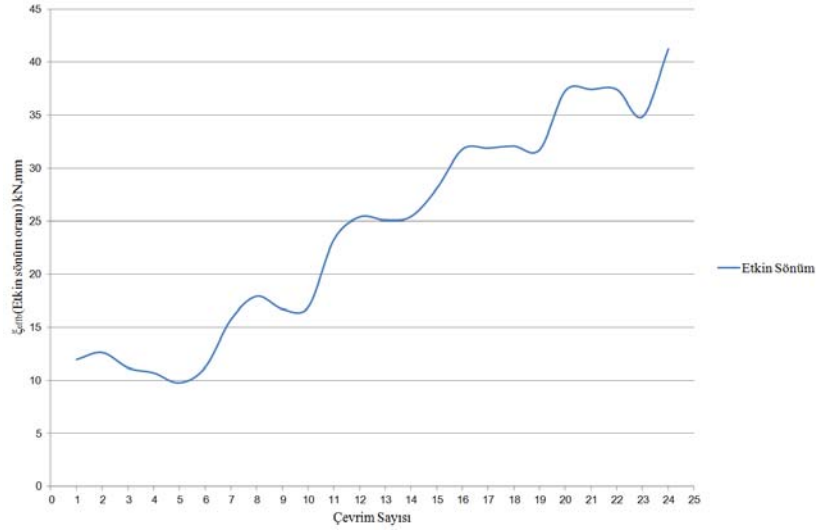
Şekil 3.28'de elde edilen herbir çevrim için verilen ayrık enerjinin çevrim sayısına bağlı kümülatif toplamı ise Şekil 3.29'da belirtilmiştir.



Şekil 3.29 : Deney sonucunda elde edilen kümülatif Ayrık Enerji diyagramı.

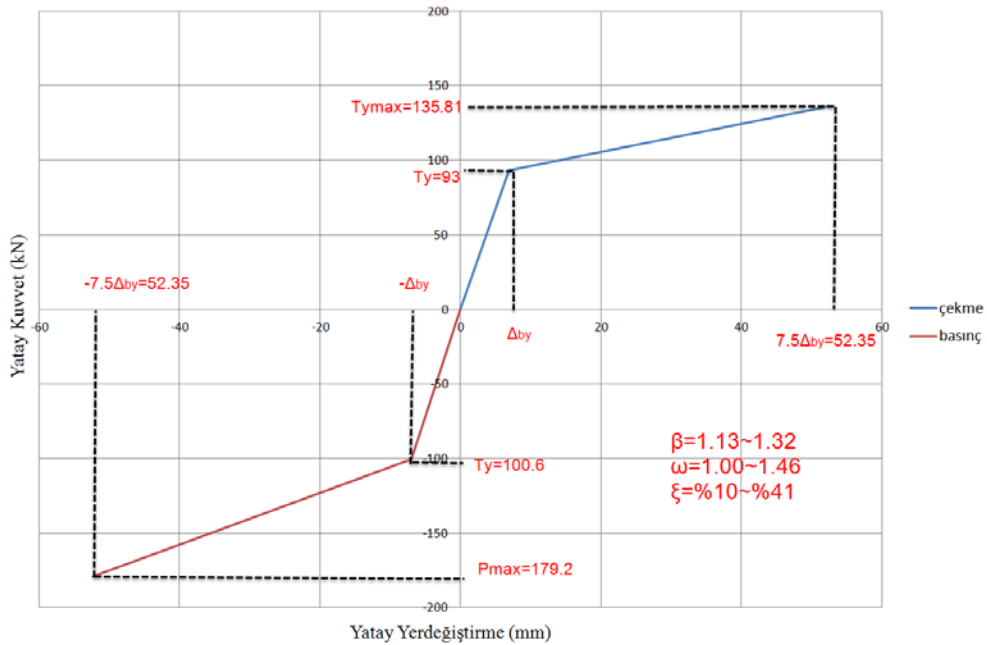
Deneysel çalışmadan elde edilen diğer bir sonuç ise etkin sönüm oranlarının belirlenmesidir. BÖÇ'ler sadece yatay yüklere karşı çalışan çapraz olmamakla

birlikte iyi bir sönümleyici olarak da çalışmaktadır. Şekil 3.30'da gösterildiği gibi her çevrimde etkin sönüm oranları verilmiştir. son çevrim olan 24. çevrime bakıldığında etkin sönüm oranının %41 olduğu görülmektedir.



Şekil 3.30 : Etkin sönüm oranları.

Ayrıca deneysel sonuçlardan elde edilen yatay kuvvet ve yerdeğiştirme değerlerinden faydalanılarak AISC 341 10'e göre T_y , $T_{y\max}$, $P_{\max}$ ile etkin sönüm oranları ile β ve ω değerleri Şekil 3.31'de belirtilmiştir.



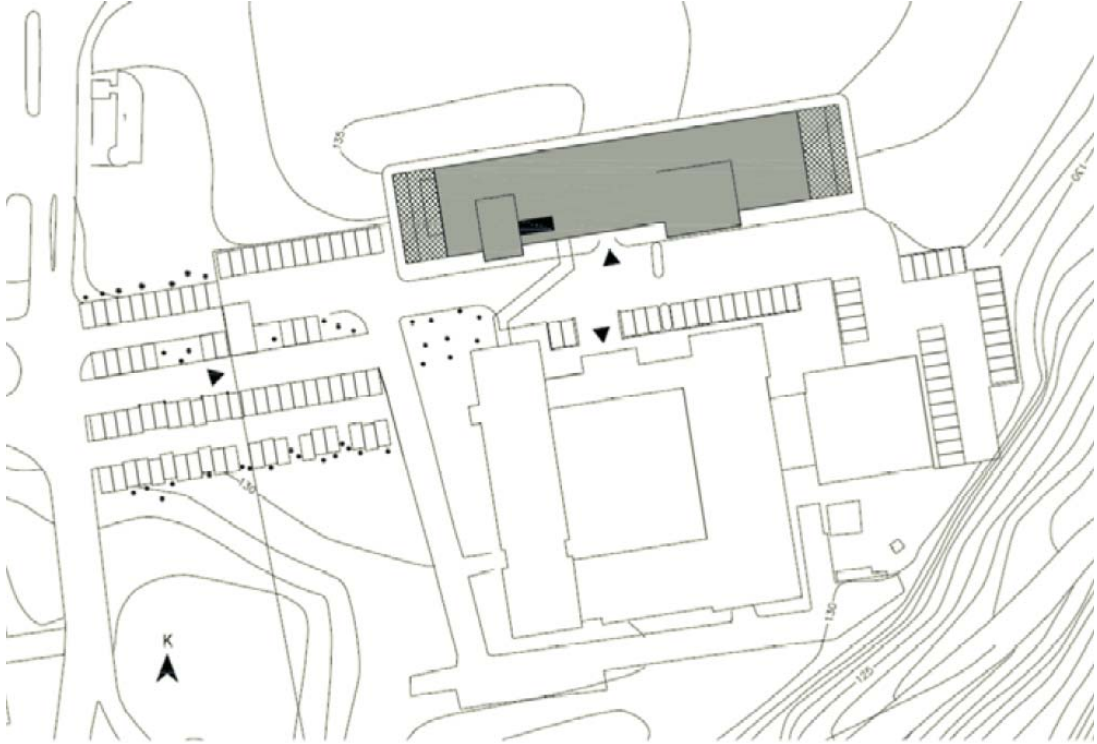
Şekil 3.31 : Deneysel çalışmadan elde edilen kuvvet-yerdeğiştirmeler ile AISC 341'e göre hesap modeli.

4. BÖÇ'LÜ BİR ÇELİK BİNA TASARIM ÖRNEĞİ

BÖÇ'lü çelik çerçevelerden oluşan binaların tasarımında izlenen yolların, hesap adımlarını incelemek üzere Türkiye'de ilk kez tasarlanan ve uygulanan İTÜ Enerji Teknokent Binası (ETB) örnek olarak alınmıştır. Böylece, bu tür binaların tasarımında kullanılabilecek bir yol haritasının çıkarılması amaçlanmıştır. Ayrıca, klasik çaprazlı sistemli çözüm de yapılarak çözüme olan etkileri tartışılmıştır.

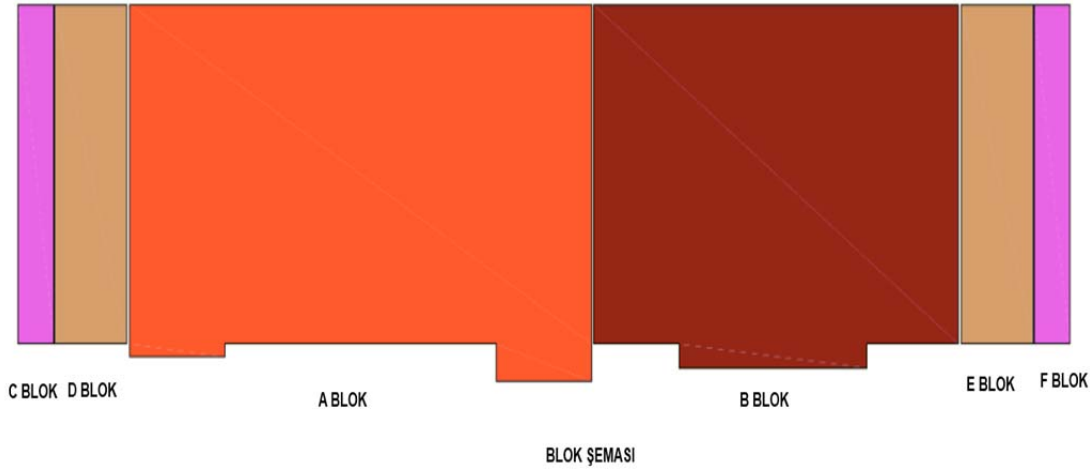
4.1 Genel Yapı Grubu Tanımları

İTÜ, Enerji Teknokent Binası'nın (ETB)'nin mimari ve taşıyıcı sistem müellifleri sırasıyla Y. Doç. Dr. Cem Altun ve Büro İstanbul İnşaat Mühendisliği ve Müşavirlik Ltd. Şti.'dir. Tez yürütücüsü bu proje kapsamında taşıyıcı sistem danışmanı olarak görev yapmıştır. Yatırımcı ve işveren Arı Teknopark Proje Geliştirme Planlama A.Ş.'dir. Binanın toplam inşaat alanı 4724m^2 olup plan ölçüleri $19.55\text{m} \times 82.30\text{m}$ 'dir (Şekil 4.1).



Şekil 4.1 : İTÜ ETB, Anahtar Vaziyet Planı.

Yapı uzun doğrultuda farklı yapı taşıyıcı sistemlerine ve işlevlerine göre küçük bloklara ayrılmıştır (Şekil 4.2). Planda bloklar soldan sağa doğru sırayla 2.80m, 5.65m, 36.30m, 28.65m, 5.65m ve 2.80m olmak üzere 6 blokla dilatasyonlara ayrılmıştır. Temel üst kotu -0.22 m, teknolojik döşeme üst kotu +0.40m'dir. Ana bina olarak sayılan ve blok şemasında A ve B Blok olarak gösterilen katlara ait kotlar +4.54m, +8.79m, +13.04m ve +17.45m olarak sıralanmaktadır. Kat yükseklikleri 1.katta h=4.54m, 2. ve 3. katlarda h=4.25m ve son katta h= 4.41m'dir. Toplam maksimum bina yüksekliği 17.67m öngörülmüştür.



Şekil 4.2 : Blok Şeması.

A ve B Blok'ları ofis binası olarak tasarlanmıştır. D ve E Blok'ları ise su deposu olarak tasarlanmış olup C ve F Blok'ları Güvenlik Giriş Binası (GGB) olarak tasarlanmıştır. Blok şemasına göre taşıyıcı sistemi çelik çerçeve ve BÖÇ'lerden oluşan A ve B bloğun yanısıra C ve F Blok'lar da klasik merkezi çaprazlı çelik çerçeve sisteme sahiptir. Bu bloklarda döşeme taşıyıcı sistemi çeşitli kot ve bloklarda değişiklik göstermekle birlikte öngerilmeli boşluklu döşeme panelleri (panelton) ve kompozit döşeme sistemi olarak seçilmiştir. D ve E Blok'lar ise betonarme perde ve döşemelerden oluşmaktadır. A ve B bloklarına giriş D ve E bloklarından olmaktadır. Temel olarak ise 50cm kalınlığında ve tüm bloklarda aynı olmak üzere radye temel tasarlanmıştır.

Ek B'de +4.540m kotuna ilişkin kalıp planları gösterilmiştir.

Bundan sonraki bölümlerde, yalnızca BÖÇ'lerin kullanıldığı A ve B Blok'lar hakkında bilgiler verilecektir.

4.2 Yapı Taşıyıcı Sistemi

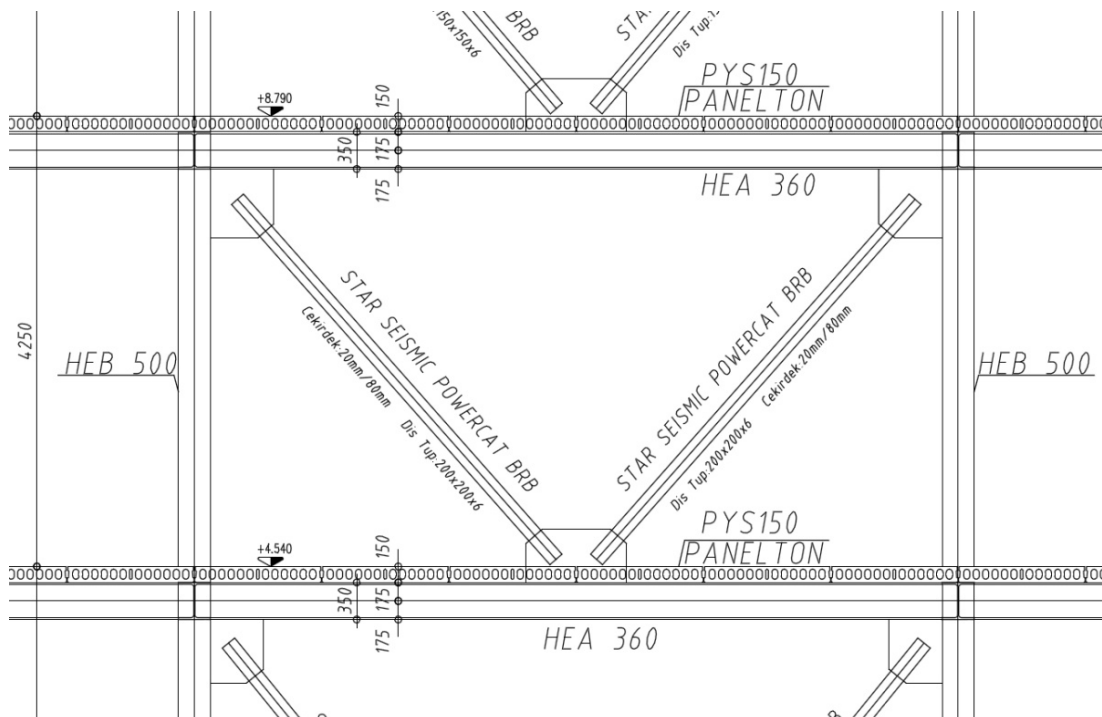
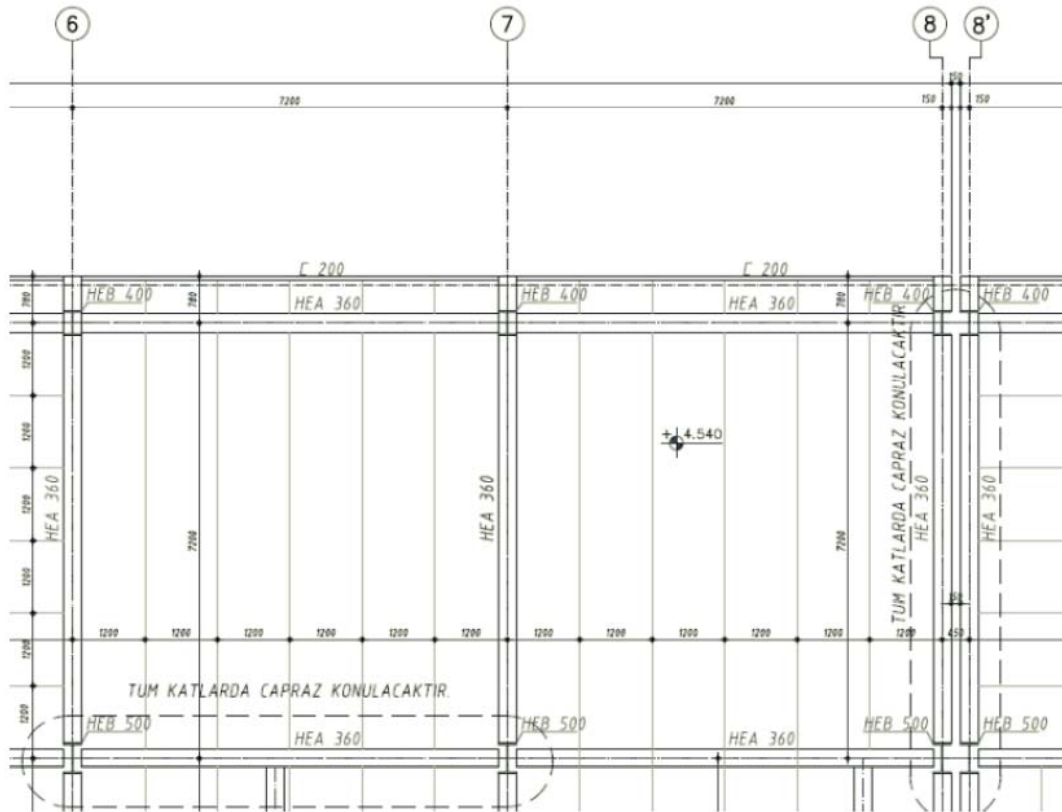
ETB binası ana bina taşıyıcı sistemi çelik çerçeve ve BÖÇ'ler ile öngerilmeli boşluklu döşeme panelleri ve trapez saçlardan oluşturulmuş kompozit döşemelerden oluşmaktadır. Öngerilmeli boşluklu döşeme panelleri A ve B blok için ilk 3 katta çerçeve kirişlerine mesnetlenecek şekilde tasarlanmıştır. dördüncü katta ise tali kirişler de kullanılarak kompozit döşeme sistemi oluşturulmuştur.

BÖÇ'lerle tasarlanan binada deprem yüklerini taşıyan ve bina taşıyıcı sisteminde ve aynı zamanda taşıyıcı sistemi oluşturan elemanların her birinde, deprem yüklerini temel zeminine kadar sürekli bir şekilde ve güvenli olarak aktarılmasını sağlayacak yeterlikte rijitlik, kararlılık ve dayanım bulunmaktadır. Taşıyıcı sistem planda olabildiğince simetrik düzenlenmiştir. Kolon ve çaprazlar sistemde yatay yükler altında minimum dışmerkezlik olacak biçimde, ağırlık ve rijitlik merkezlerinin birbirine yakın olması ilkesi doğrultusunda yerleştirilmiştir. Taşıyıcı sistem yapının mimari gerekliliklerine göre x doğrultusunda 7.20m'lik akslar, y doğrultusunda ise sırasıyla 5.65m, 3.35m ve 7.20m aralıklı kolon aksı yerleşimine göre tasarlanmıştır. Tipik kolon enkesitleri orta akslarda HEB500, kenar akslarda ise HEB400 seçilmiştir. Orta akslarda kolonlar daha fazla düşey yüke maruz kaldıklarından dolayı kenar akstaki kolonlara göre daha büyük boyutlarda seçilmiştir. Ayrıca BÖÇ kesitinin de kolon boyutu belirlemede önemli bir etkisi olmuştur. Bu konuya BÖÇ tasarımında detaylı olarak değinilecektir.

Çaprazlar için süneklik düzeyi yüksek olan BÖÇ kullanılmış, tasarım ve üretimi Star Seismic tarafından yapılmıştır (Star Seismic Power Cat). BÖÇ kesitleri her katta farklı boyutlarda belirlenmiş olup BÖÇ tasarımında bu ürün hakkında detaylı olarak bilgi verilecektir.

Çerçeveyi oluşturan ana kirişler HEA360, HEA400 ve HEA450 seçilmiş olup +4.54m ve +8.9m kotlarında döşemeler söz konusu çerçeve kirişlerine mesnetlenmektedir (Şekil 4.3).

BÖÇ'ün V şeklinde altta HEA360 kesitli kiriş ile üstte HEA360 kiriş ile HEB500 kolona mesnetlenme detayı ve öngerilmeli boşluklu döşeme panelleri Şekil 4.4'te gösterilmektedir.



+13.04m ve +15.04m kotlarında ise 10 cm kompozit döşeme HE260 ve HE320 tali kirişler yardımıyla çerçeve kirişlerine yükleri aktarmaktadır.

4.3 Zemin Durumu ve Karakteristikleri

İnşaat alanı üzerinde yapılan geoteknik incelemeler sonunda hazırlanan rapora göre aşağıdaki bilgiler sunulmuştur:

Zemin emniyet gerilmesi (σ_{zem}) :	=3.50kg/cm ²
Temel altı zemin yoğunluğu (γ_s):	=18kN/m ³
Zemin içsel sürtünme açısı (ϕ_s) :	=33°
Zemin yatak katsayısı (K) :	=20000kN/m ³

4.4 Yükler

4.4.1 Plak döşeme yükleri

PYS150 Panelton (50mm topping dahil)	=3.65kN/m ²
Kompozit döşeme	:0.09x25.00 =2.25kN/m ²

4.4.2 Kaplama yükleri

Temel üstü

Teknolojik döşeme	:0.15x25.00	=3.750kN/m ²
Dolgu(Toprak)	:0.47x18.00	= <u>8.46kN/m²</u>
		$\Sigma=12.22\text{kN/m}^2$

Ofis (+4.70m , +8.85m kotları)

Lifli düzeltme şapı	:0.06x22	=1.32kN/m ²
Diğer		= <u>0.43kN/m²</u>
		$\Sigma=1.50\text{kN/m}^2$

Teras - çatı-1

Eğim betonu (ortalama 12.5cm)	:0.125x25	=3.13kN/m ²
Çakıl	:0.100x25	=2.20kN/m ²
Diğer		= <u>0.17kN/m²</u>
		$\Sigma=5.50\text{kN/m}^2$

Teras-çatı-2

Tesviye şapı (ortalama 10cm)	:0.100x22	=2.20kN/m ²
Yapısal eğim betonu (ortalama 12.5cm)		=3.13kN/m ²
Diğer		= <u>0.17kN/m²</u>
		$\Sigma=5.50\text{kN/m}^2$

4.4.3 Hareketli yükler

Ofisler	$q=3.50\text{kN/m}^2$
Teraslar	$q=3.00\text{kN/m}^2$

4.5 Genel Tasarım İlkeleri

Sistemdeki çelik kolon-kiriş tam ankastre birleşimlerden oluşmaktadır. Çapraz elemanı olan BÖÇ'ün temel kirişine, kolona ve kat çerçeve kirişlerine bağlantısı basit mafsallı birleşimlerden oluşmaktadır. Kritik birleşimler için (deprem ve rüzgâr yükü aktaran bağlantılar) kapasite tasarım ilkeleri kullanılmıştır. Kapasite tasarımı, birleşimin kapasitesinin bağlanan elemanlardan daha yüksek olmasını gerektirir. Deprem ve rüzgâr yüklerinde kritik olmayan tali elemanlar için bağlantılar düşey yükler baz alınarak tasarlanmıştır.

Genel olarak sistemde çerçeve kirişleri, kolon ve tali kirişlerde I profil kullanılmıştır. Yapının dayanım, rijitlik ve sünekliği kullanımı ile arttırılmıştır.

Kirişlerde düşey yüklerden (sürekli ve değişken yüklerden) meydana gelen sehim değerleri hesaplanmış olup sınır değerlere göre kontrol edilmiştir. Ayrıca, kirişlerde düşey yüklerden (sürekli ve değişken) meydana gelen frekans değerleri de hesaplanmış

$f=1/T \geq 4.00 \text{ s}^{-1}$ olduğu gösterilmiştir.

$\delta_{\max}$, mesnetleri birleştiren yatay doğrultudan itibaren ölçülen, ulaşılan son düşey yerdeğiştirme değerini ifade etmektedir. L ise mesnetlenmiş kirişin iki mesnet arası uzunluğunu ifade etmek üzere, döşemeler için yerdeğiştirme sınır değeri olarak ise $\delta_{\max}=L/250$ alınmıştır. Bu formüle göre en kritik kirişler için yapılan sehim hesapları sonraki bölümlerde belirtilmiştir.

4.6 Yükleme Süperpozisyon Katsayıları

$1.0 G + 1.0 Q$	G : Yapı Sabit Yükleri
$1.0 G + 1.0 Q + 1.0 E + 0.3 F$	Q : Geçici Az Zamanlı Yükler
$1.0 G + 1.0 Q - 1.0 E + 0.3 F$	E : X-X yönü Deprem Yükü
$1.0 G + 1.0 Q + 1.0 F + 0.3 E$	F : Y-Y yönü Deprem Yükü
$1.0 G + 1.0 Q - 1.0 F + 0.3 E$	
$0.9G+1.0E + 0.3 F$	
$0.9G-1.0E + 0.3 F$	
$0.9G+1.0F + 0.3 E$	
$0.9G-1.0F + 0.3 E$	

Deprem yüklemelerinde %5 dışmerkezlik gözönüne alınmıştır. Sistem çözümü ETABS 9.5.0 ile yapılmış olup kombinasyonlarda Spektrum değerleri Combo(max.), Combo(min.) olarak otomatik olarak alınmaktadır.

4.7 Deprem Yükleri'nin Belirlenmesi

Yapının taşıyıcı sisteminin statik ve dinamik hesaplarında üç boyutlu (3D) bir hesap modeli oluşturulacaktır. Deprem hesapları modların süperpozisyonu yönteminden yararlanılarak yapılacak ve hesaplarda, kolon eksenleri ile 0°–90°'lik açı yapan depremler gözönünde bulundurulacaktır. Deprem hesaplarında, göz önüne alınacak etkin modların sayısının belirlenmesi için minimum % 90 kütle katılım oranı öngörülmüştür.

Yapı sisteminin boyutlandırılmasında esas alınan deprem etkilerinin Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik 2007 (DBYBHY)'ye göre belirlenmesi gerekmektedir.

Sözkonusu yönetmeliğe göre, deprem kuvvetleri parametreleri:

Deprem Bölgesi : 2°

Deprem Bölge Katsayısı (A_0): 0.30

Bina Önem Katsayısı (I) : 1.0

Hareketli Yük Katılım Katsayısı (n) : 0.60

Yerel Zemin Sınıfı (Z_n) : Z2

Spektrum Karakteristik Periyodu (T_A) : 0.15

Spektrum Karakteristik Periyodu (T_B) : 0.40

BÖÇ'lü Yapı Sistem Davranış Katsayısı (R) : 8

Klasik Merkezi Çaprazlı Yapı Sistem Davranış Katsayısı (R) : 6

Bina yüksekliği ve düzensizlik kriterleri göz önüne alınmaksızın eşdeğer deprem yüklemesi yerine, 3 boyutlu modal dinamik analiz yöntemi kullanılmıştır. Buna karşılık yönetmeliğin öngördüğü minimum taban kesme kuvvetleri ve eşdeğer deprem yüklemesine ilişkin kat kesme kuvvetleri de sunulmuştur. Ayrıca kat yerdeğiştirme ve görelî ötelemeleri, burulma düzensizliği, döşemede süreksizlik, planda çıkıntı olması, komşu katlar arası dayanım düzensizliği ve 2. mertebe etkileri sınır kontrolleri de yapılmıştır.

4.8 ETB Binası'nın Klasik Merkezi Çaprazlı Olarak Modellenmesi

Klasik çaprazlı sistemler özellikle deprem bölgelerinde yapılacak binalarda sıkça uygulanan sistemlerdir. Süneklik düzeyi normal ve yüksek olan çelik yapı tasarımında yapının atalet ve rijitliğinde olumlu yönde önemli etkileri vardır. Özellikle yerdeğiştirme, görelî kat ötelemesi, yapı doğal titreşim periyodları ve ikinci mertebe etkileri üzerinde azaltıcı etkileri olduğundan sıkça tercih edilen sistemlerdir. Genellikle kolon ve kiriş bağlantı detayı mafsallı olarak tasarlanır ve bulunduğu sistemde sadece yatay yük alacak şekilde tasarlanırlar. Ayrıca binaya etkiyen yatay kuvveti zemine kadar güvenli bir şekilde aktarmaktadırlar.

ETB Binası'nın klasik merkezi çaprazlı olarak modellenmesinde tez kapsamında sadece A blok için hesaplamalar yapılmıştır. Yapı tasarımındaki kolon boyutları HEB400, HEB600, HEB800 ve HEB900; kiriş boyutları HEA400, HEA450 ve HEA550; çapraz boyutları ise SHS200.200.8 ve SHS250.250.8 olarak seçilmiştir. Klasik merkezi çaprazlar yapıda C4-5 ve C6-7 aksları arasında V şeklinde ve ilk katında SHS250.250.8 iki ve üçüncü katta ise SHS200.200.8 olarak, 3'C-B ve 8 C-B aksları arasında ise ters V şeklinde ilk katında SHS250.250.8 iki ve üçüncü katta ise SHS200.200.8 olarak tasarlanmıştır. Kolon-çapraz ve kiriş-çapraz bağlantı detayları

mafsallı, çerçeve kiriş ve kolonları arasında ise ankastre bağlantı detayı yapılmıştır. Döşeme sistemi olarak ise öngerilmeli boşluklu döşeme panelleri ve kompozit döşeme sistemi seçilmiştir.

4.8.1 Malzeme ve kesit bilgileri

ETB Binası A Blok ETABS modellemesinde çelik kalitesi olarak ST44 (S275JR) seçilmiştir (Şekil 4.5). Döşeme ve temel tasarımında ise C35 malzeme kalitesinde beton kullanılmıştır (Şekil 4.6). Kolon, kiriş ve çaprazlar çubuk eleman olarak, kompozit döşeme sistemi ve öngerilmeli boşluklu döşeme paneli membran döşeme olarak, temel ise shell döşeme sistemi modellenmiştir.

The screenshot shows the 'Material Property Data' dialog box for a steel material. The 'Material Name' is 'ST44'. The 'Type of Material' is 'Isotropic'. The 'Type of Design' is 'Steel'. The 'Analysis Property Data' section includes: Mass per unit Volume (0), Weight per unit Volume (78), Modulus of Elasticity (2.100E+08), Poisson's Ratio (0.3), Coeff of Thermal Expansion (1.170E-05), and Shear Modulus (80769231). The 'Design Property Data' section includes: Minimum Yield Stress, Fy (280000), Minimum Tensile Strength, Fu (440000), and Cost per Unit Weight (0.102). The 'Display Color' is set to a dark grey color.

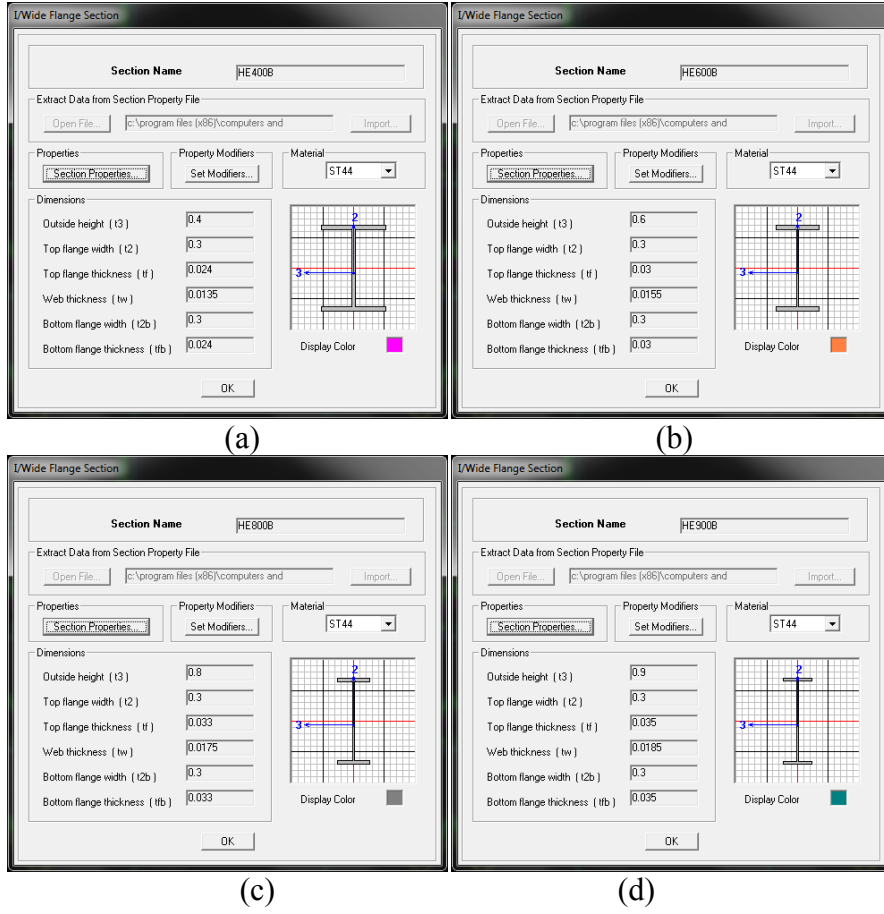
Şekil 4.5 : Çelik Kalitesi.

Öngerilmeli boşluklu döşeme panelleri, kompozit döşeme sistemleri ve temelde kullanılan C35 beton kalitesi Şekil 4.6'daki gibidir.

The screenshot shows the 'Material Property Data' dialog box for a concrete material. The 'Material Name' is 'C35'. The 'Type of Material' is 'Isotropic'. The 'Type of Design' is 'Concrete'. The 'Analysis Property Data' section includes: Mass per unit Volume (0), Weight per unit Volume (24.5166), Modulus of Elasticity (32361950), Poisson's Ratio (0.2), Coeff of Thermal Expansion (9.900E-06), and Shear Modulus (13484145.8). The 'Design Property Data (EUROCODE 2-1992)' section includes: Charact. Conc Cyl Strength, fck (34323.28), Bending Reinf. Yield Stress, fyk (411879.3), Shear Reinf. Yield Stress, fywk (411879.3), and a checkbox for 'Lightweight Concrete' (unchecked). The 'Display Color' is set to a blue color.

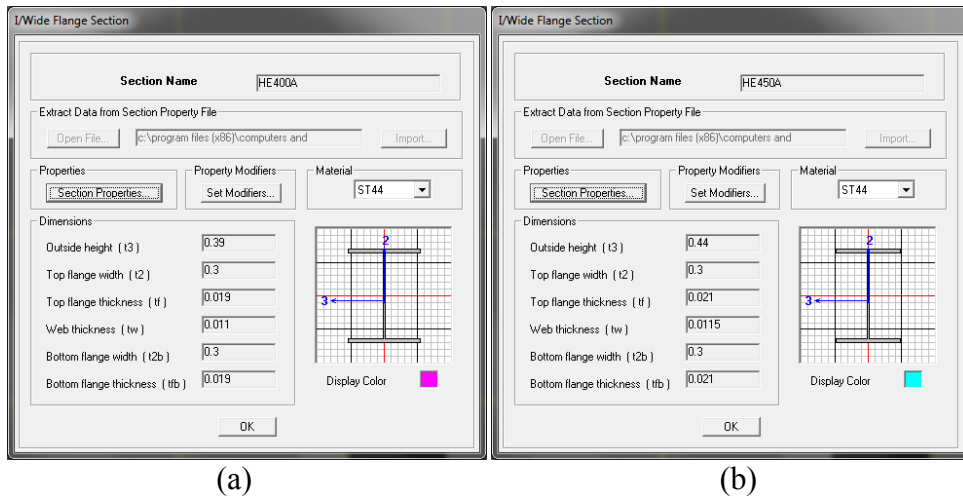
Şekil 4.6 : Beton Kalitesi.

Yapının modellenmesinde kullanılan kolonlara ilişkin enkesit özellikleri Şekil 4.7'de belirtilmiştir.

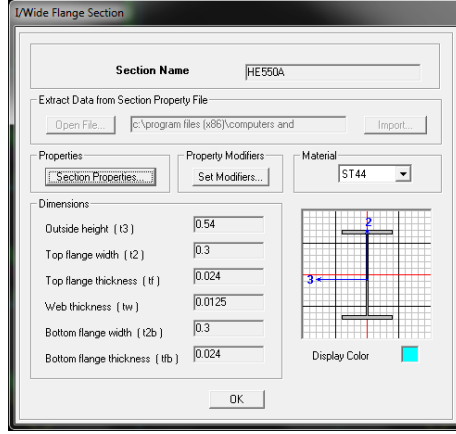


Şekil 4.7 : Çelik kolon boyutları, (a) HEB400 kolonu, (b) HEB600 kolonu, (c) HEB800 kolonu, ve (d) HEB900 kolonu.

Yapının modellenmesinde kullanılan kirişlere ilişkin enkesit özellikleri Şekil 4.8'de belirtilmiştir.

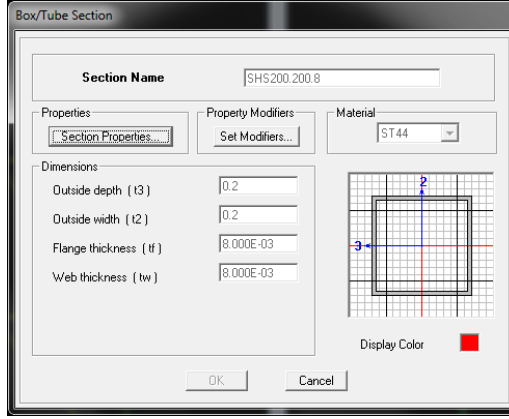


Şekil 4.8 : Çelik kiriş boyutları, (a) HEA400 kirişi, (b) HEA450 kirişi ve (c) HEA550 kirişi.

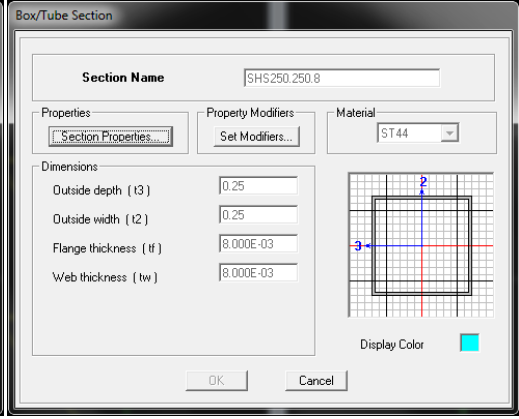


(c)

Şekil 4.8 (devam): Çelik kiriş boyutları (c) HEA550 kirişi
Sistemde kullanılan klasik çapraz boyutları da Şekil 4.9'da verilmiştir.



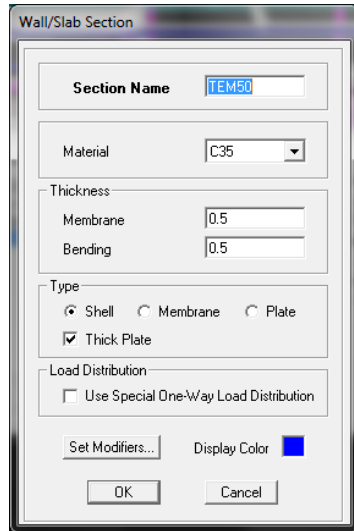
(a)



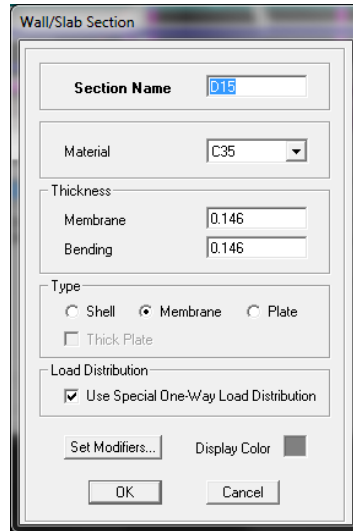
(b)

Şekil 4.9 : Çelik çapraz boyutları.

Yapıda modellenen temel ve döşeme kalınlıkları Şekil 4.10'da belirtilmiştir.

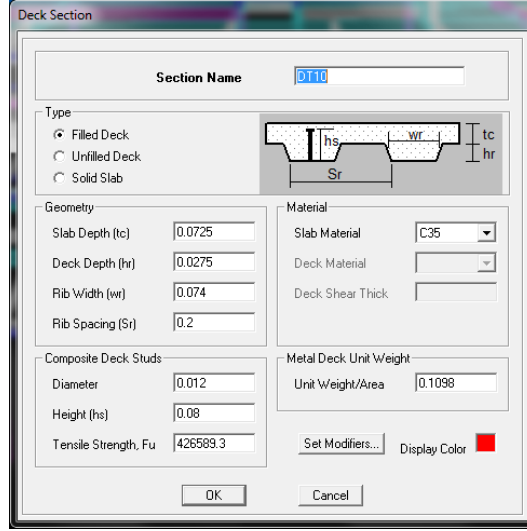


(a)



(b)

Şekil 4.10 : (a) Betonarme temel, (b) öngerilmeli boşluklu döşeme panelleri ve (c) kompozit döşeme tanımları.



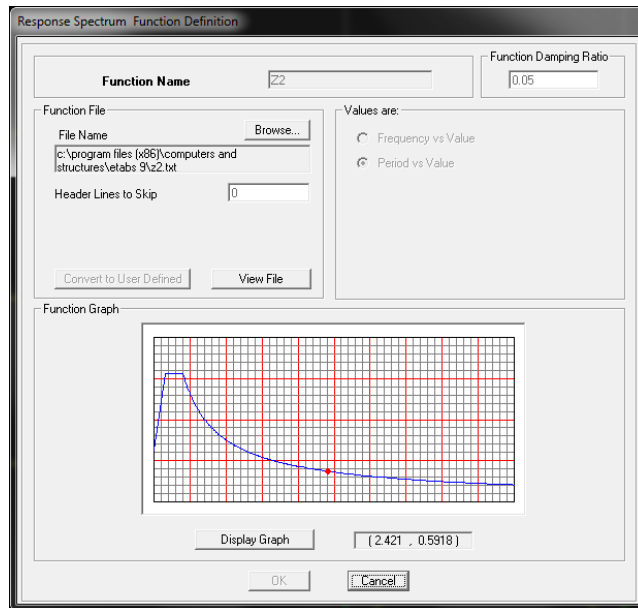
(c)

Şekil 4.10 (devam):(c) kompozit döşeme tanımı.

4.8.2 Zemin sınıfı

Genel olarak zemin raporundan alınan bilgiler; temel altında bulunan grovaklar orta dirençli kaya özelliği göstermektedir. Zemin emniyet gerilmesi $q_{zem}=3.50\text{kg/cm}^2$ olarak , yatak katsayısı ise $k_v=200000\text{kN/m}^3$ olarak belirlenmiştir. $\beta=0$ (şev açısı) ve $\delta=0$ (sürtünme açısı) kabulleri ile fiktif zemin parametreleri, γ_n (doğal birim hacim ağırlığı)= 24.90kN/m^3 olarak belirlenmiştir.

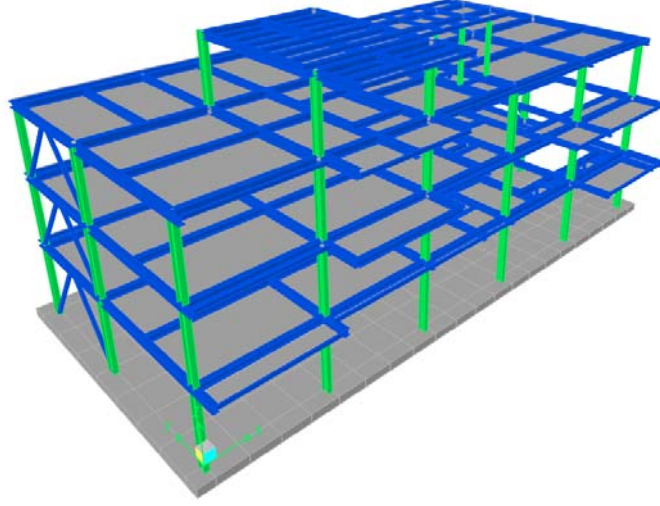
Tüm çalışmaların ışığı altında, ilgili yapının bina önem katsayısı 1.0, zemin grubu B, yerel zemin sınıfı ise Z2 olarak alınabileceği ve $T_a=0.15\text{s}$, $T_b=0.40\text{s}$ olduğu görülmektedir (Şekil 4.11).



Şekil 4.11 : Z2 zemin sınıfı spektrumu.

4.9 ETABS Sonlu Elemanlar Programında Çözümün İncelenmesi

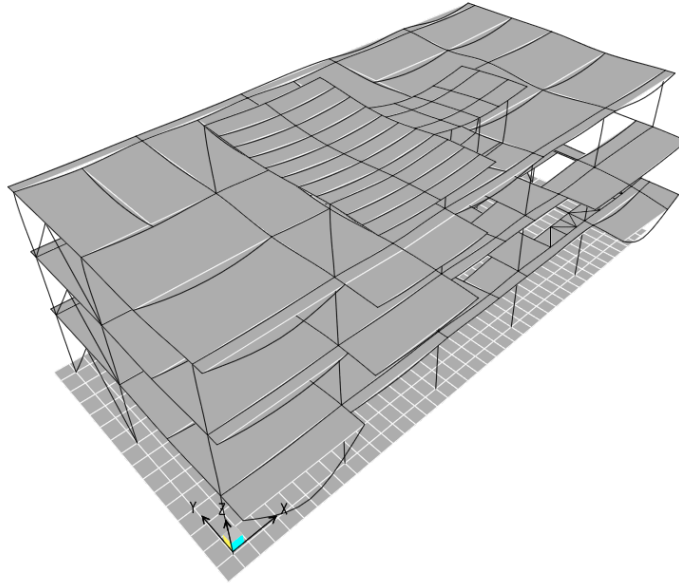
Klasik merkezi çaprazlı modele ilişkin ETABS programından alınan görünüş Şekil 4.12'de belirtilmiştir.



Şekil 4.12 : Üç boyutlu görünüş-klasik merkezi çaprazlı model.

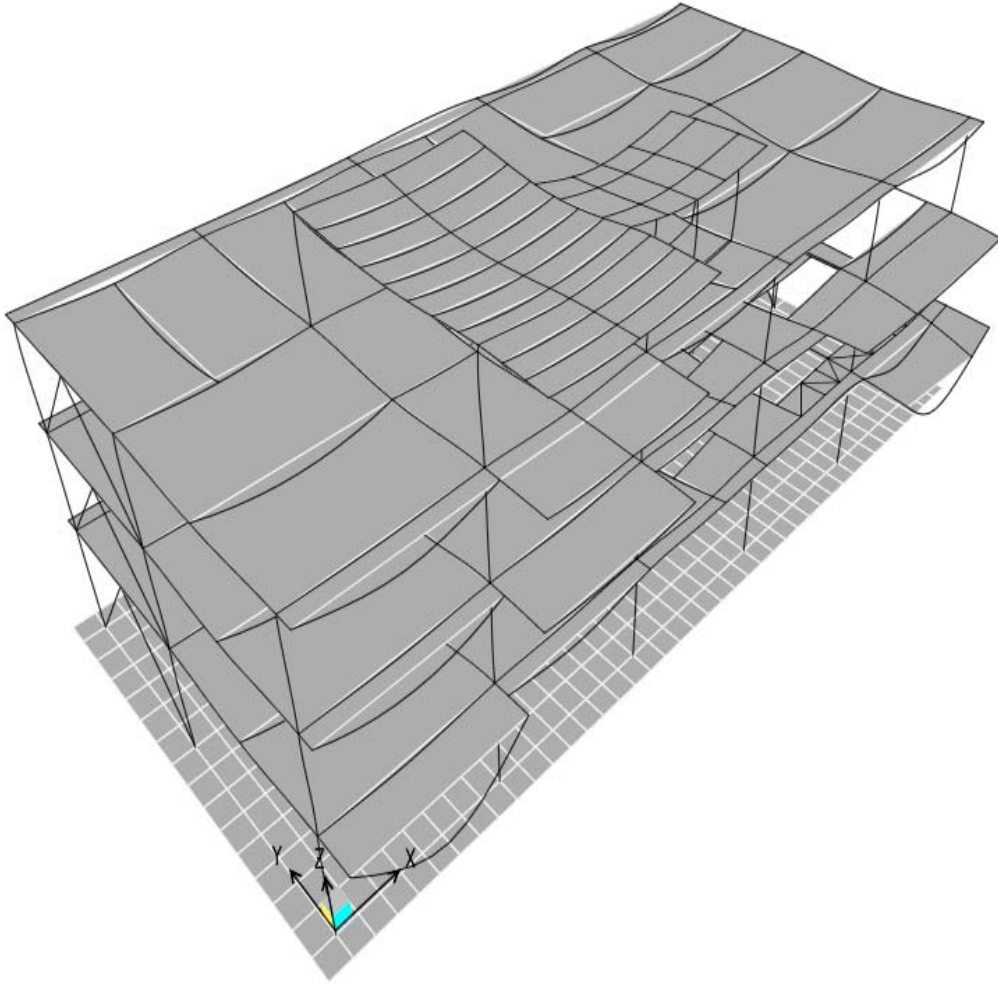
4.9.1 Deformasyon şekilleri ve periyodlar

ETB binasında düşey yüklerden ve deprem etkilerinden kaynaklanan deformasyon şekilleri ile doğal titreşim periyotları aşağıda belirtilmiştir. Ölü yüklerden kaynaklanan deformasyon şekli Şekil 4.13'te verilmiştir.



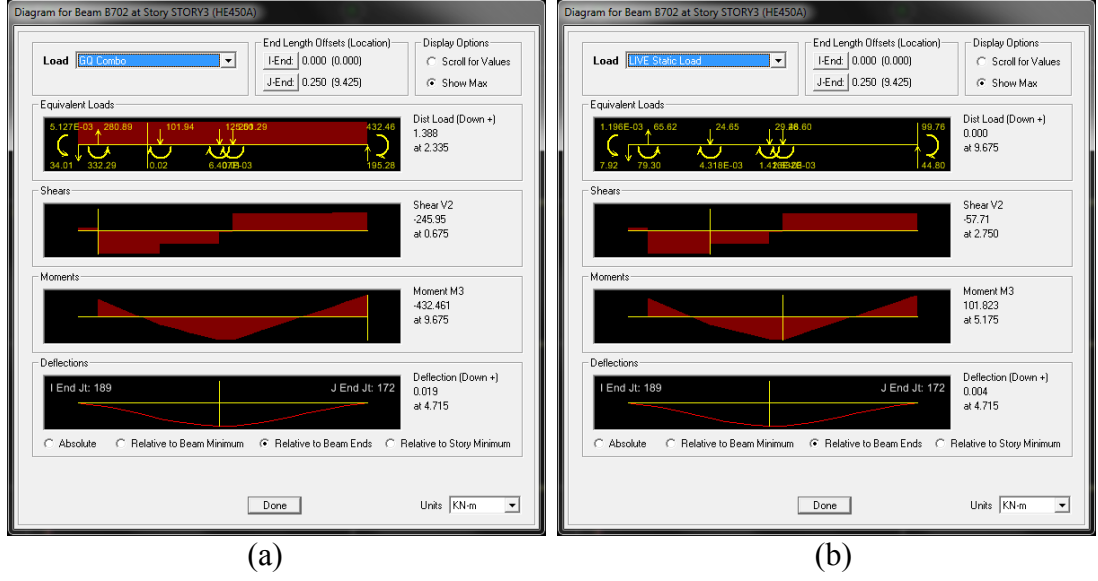
Şekil 4.13 : Deformasyon şekli (ölü yükler).

ETB binasının hareketli yüklerden kaynaklanan deformasyon şekli Şekil 4.14'te belirtilmiştir.



Şekil 4.14 : Deformasyon şekli (hareketli yükler).

Ayrıca modelde deformasyon şekilleri incelendikten sonra çelik taşıyıcı sistemlerde en önemli sorun yaratabilecek durumlardan birisi olan sehim hesabı yapılmıştır. Sehim hesabı yapılırken en kritik 3 kiriş seçilmiştir. Seçilen bu kirişlerde ölü yük (G) ile hareketli yük (Q)'ten dolayı ve sadece hareketli yük (Q) durumundaki sehimler kontrol edilmiştir. G+Q yüklemesi için maksimum sehim sınırı $L/240$ ve Q yüklemesi için maksimum sehim sınırı $L/360$ olarak seçilmiştir. Bu sehim sınırları kullanılarak ilgili kirişlerde gerekli sehim kontrolleri yapılmıştır. En kritik üç kirişten birincisine ilişkin kesit tesirleri Şekil 4.15'te belirtilmiştir. Aşağıda belirtildiği gibi sehim açısından belirtilen kirişlerde sorun tespit edilmemiştir.



Şekil 4.15 : 6 D-C aksları arası 3. kat kirişi (a) G+Q yüklemesi altında kesit tesirleri,(b) Q (LIVE) yüklemesi altında kesit tesirleri.

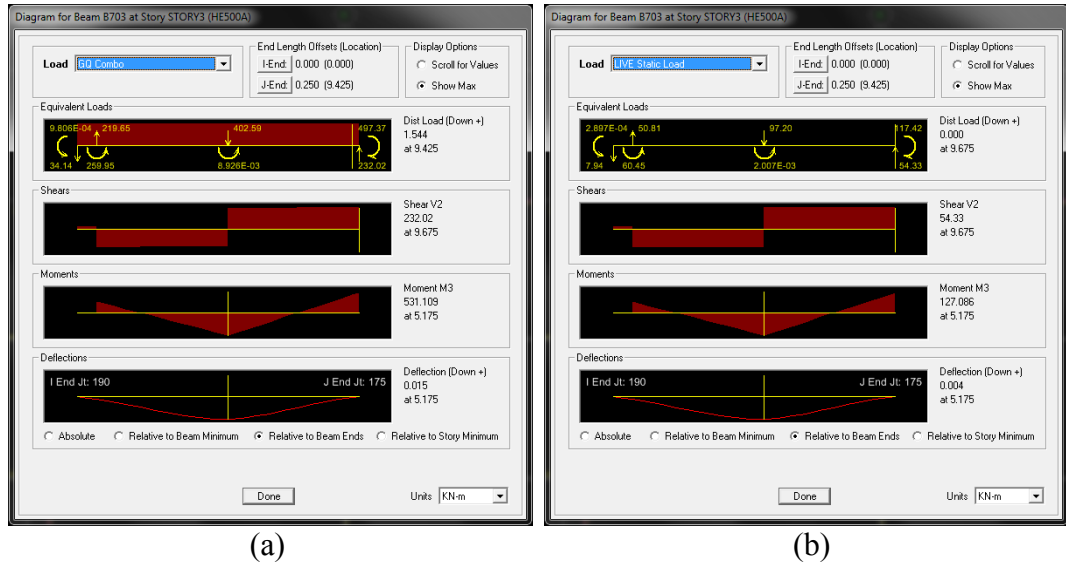
$$L(\text{uzunluk})=9675\text{mm}$$

$$\text{Maksimum sehim (G+Q)}= 18.56\text{mm} = L/521 < L/240$$

$$\text{Maksimum sehim (Q)}= 4.34\text{mm} = L/2230 < L/360$$

G+Q ve Q yüklemelerinde sehim şartı sağlanmaktadır.

En kritik üç kirişten ikincisine ilişkin kesit tesirleri Şekil 4.16'da belirtilmiştir.



Şekil 4.16 : 7 D-C aksları arası 3. kat kirişi (a) G+Q yüklemesi altında kesit tesirleri,(b) Q (LIVE) yüklemesi altında kesit tesirleri.

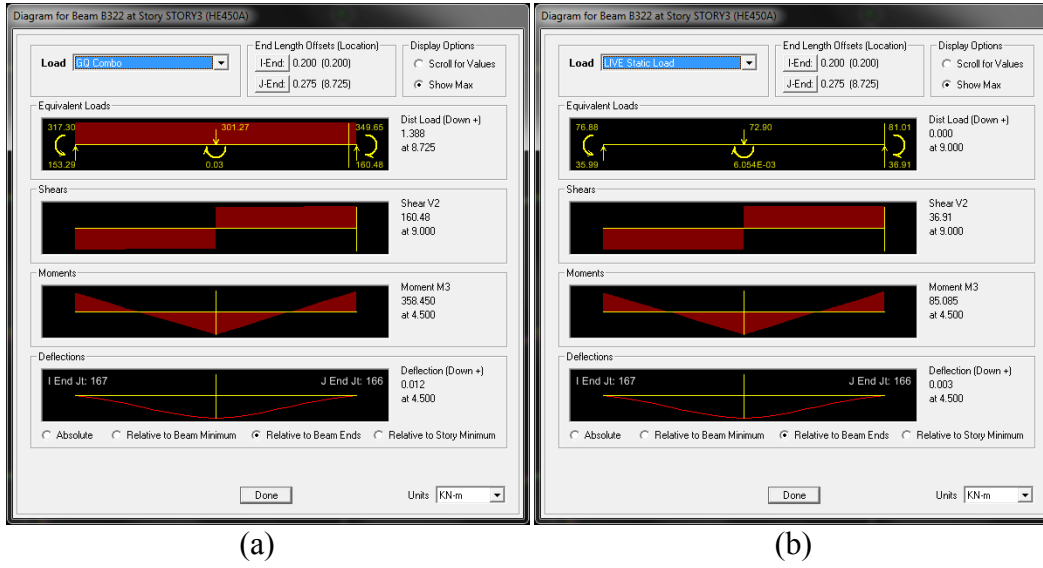
$$L(\text{uzunluk})=9675\text{mm}$$

$$\text{Maksimum sehim (G+Q)}= 15.33\text{mm} = L/632 < L/240$$

$$\text{Maksimum sehim (Q)}= 3.67\text{mm} = L/2636 < L/360$$

G+Q ve Q yüklemelerinde sehim şartı sağlanmaktadır.

En kritik üç kirişten üçünsüne ilişkin kesit tesirleri Şekil 4.17'de belirtilmiştir.



Şekil 4.17 : 4 D-C aksları arası 3. kat kirişi (a) G+Q yüklemesi altında kesit tesirleri, (b) Q (LIVE) yüklemesi altında kesit tesirleri.

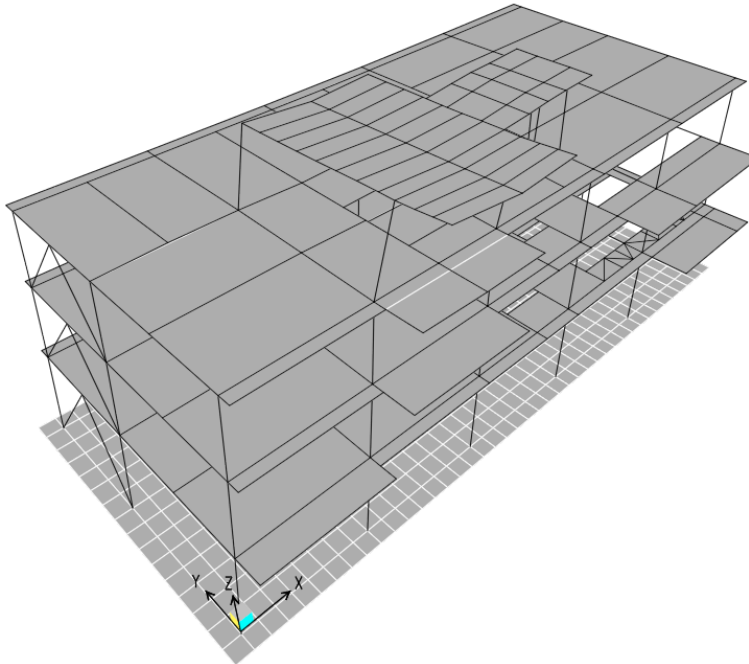
$$L(\text{uzunluk})=9675\text{mm}$$

$$\text{Maksimum sehim (G+Q)}= 11.54\text{mm} = L/838 < L/240$$

$$\text{Maksimum sehim (Q)}= 2.70\text{mm} = L/3583 < L/360$$

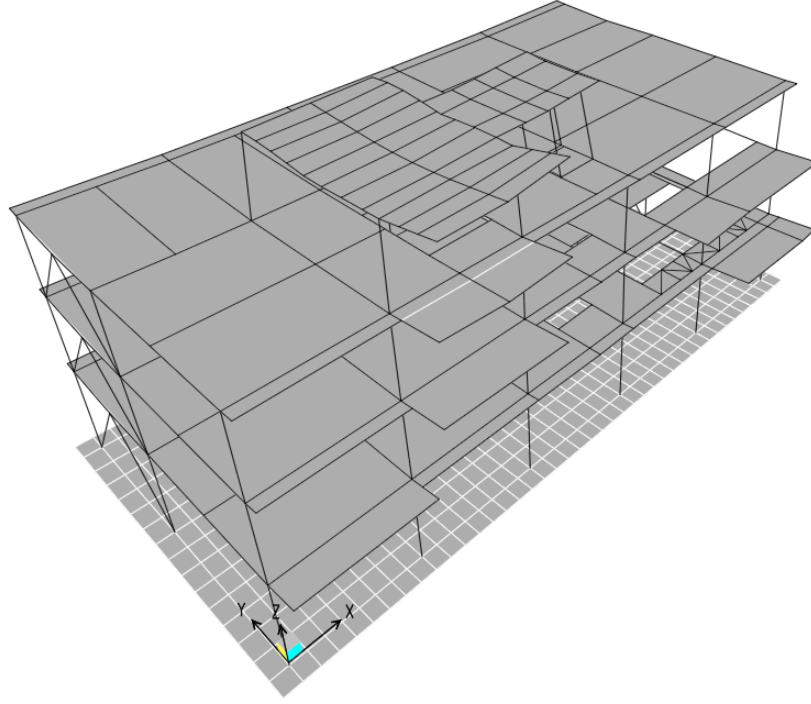
G+Q ve Q yüklemelerinde sehim şartı sağlanmaktadır.

ETB binasının X doğrultusunda deprem etkisinden dolayı oluşan deformasyon şekli Şekil 4.18'de belirtilmiştir.



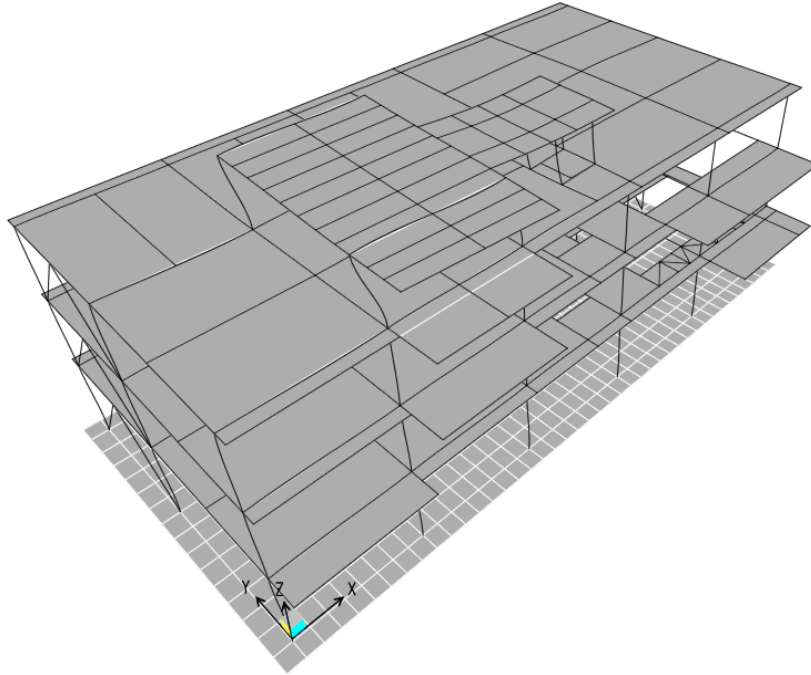
Şekil 4.18 : Spec1, X doğrultusu deformasyon şekli.

ETB binasının Y doğrultusunda deprem etkisinden dolayı oluşan deformasyon şekli Şekil 4.19'da belirtilmiştir.



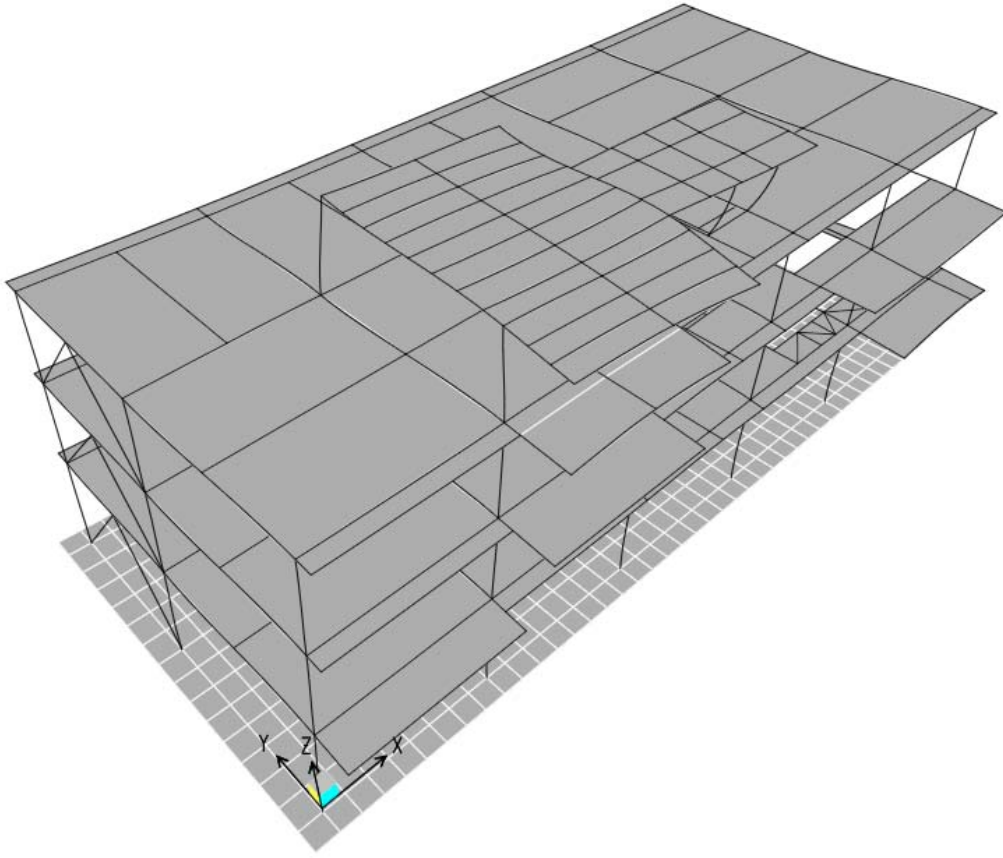
Şekil 4.19 : Spec2, Y doğrultusu deformasyon şekli.

ETB binasının X doğrultusundaki doğal titreşim periyodu Şekil 4.20'de belirtilmiştir.



Şekil 4.20 : $T_x=0.75s$ (X doğrultusu doğal titreşim periyodu).

ETB binasının X doğrultusundaki doğal titreşim periyodu Şekil 4.21'de belirtilmiştir.



Şekil 4.21 : $T_y=0.62s$ (Y doğrultusu doğal titreşim periyodu).

4.9.2 Deprem hesabı

Deprem hesabı yapılırken DBYBHY 2007 kullanılmış olup Z2 zemin sınıfı için spektrum eğrileri tanımlanmıştır. Bölüm 4.7'de sözü edildiği gibi yapı için üç boyutlu dinamik analiz yapılmıştır. Bina yüksekliği ve düzensizlikler gözönünde bulundurularak eşdeğer deprem yükleri tanımlanmış ve minimum değerler kontrol edilmiştir.

$$V_t = \frac{W * A(T_1)}{R_a(T_1)} \geq 0.10 * A_o * I * W \quad (4.1)$$

$$V_{tx} = \frac{33128.4 \times 1 \times 0.3 \times 1.51}{6} = 2505 kN \geq 0.10 \times 0.3 \times 1 \times 33128.4 = 994 kN$$

$$V_{ty} = \frac{33128.4 \times 1 \times 0.3 \times 1.76}{6} = 2917 kN \geq 0.10 \times 0.3 \times 1 \times 33128.4 = 994 kN$$

Şekil 4.22'de hareketli yük katılım katsayısı $n=0.6$ alınmıştır.

Define Mass Source

Mass Definition

☐ From Self and Specified Mass
☒ From Loads
☐ From Self and Specified Mass and Loads

Define Mass Multiplier for Loads

Load	Multiplier
DEAD	1
DEAD	1
LIVE	0.6

☒ Include Lateral Mass Only
☒ Lump Lateral Mass at Story Levels

Şekil 4.22 : Ölü ve hareketli yük katılım katsayıları.

Spec1 ve Spec2 için U1 ve U2 fonksiyonlarına girilen deprem parametreleri Şekil 4.23'te belirtilmiştir. Sönüm oranı olarak her iki deprem yönü için 0.05 alınmıştır.

Response Spectrum Case Data

Spectrum Case Name: **SPEC1**

Structural and Function Damping

Damping: 0.05

Modal Combination

☒ CQC ☐ SRSS ☐ ABS ☐ GMC

f1: f2:

Directional Combination

☒ SRSS ☐ ABS Orthogonal SF

Input Response Spectra

Direction	Function	Scale Factor
U1	Z2	0.887
U2		
UZ		

Excitation angle: 0.

Eccentricity

Ecc. Ratio (All Diaph.): 0.05

Override Diaph. Eccen.:

Response Spectrum Case Data

Spectrum Case Name: **SPEC2**

Structural and Function Damping

Damping: 0.05

Modal Combination

☒ CQC ☐ SRSS ☐ ABS ☐ GMC

f1: f2:

Directional Combination

☒ SRSS ☐ ABS Orthogonal SF

Input Response Spectra

Direction	Function	Scale Factor
U1		
U2	Z2	0.876
UZ		

Excitation angle: 0.

Eccentricity

Ecc. Ratio (All Diaph.): 0.07

Override Diaph. Eccen.:

(a)

(b)

Şekil 4.23 : Deprem parametreleri (a) X doğrultusu ve (b) Y doğrultusu.

ETABS programında Spec1 ve Spec2 için girilen deprem parametreleri sonucunda programdan elde edilen zemin kat kesme kuvvetleri Şekil 4.24'te belirtilmiştir. Bu değerler (4.1) 'deki hesaplanan V_{tx} ve V_{ty} ile karşılaştırıldığında yakın değerler elde edilmiştir.

Response Spectrum Base Reactions									
Edit View									
Response Spectrum Base Reactions									
	Spec	Mode	Dir	F1	F2	F3	M1	M2	M3
▶	SPEC1	1	U1	2123.16	0.62	0.00	-9.550	24446.524	-12907.401
	SPEC1	2	U1	0.03	-9.02	0.00	102.659	0.089	-148.651
	SPEC1	3	U1	498.36	6.98	0.00	-47.520	3341.451	-10177.621
	SPEC1	4	U1	12.53	21.33	0.00	-166.590	-9.900	2652.258
	SPEC1	5	U1	3.99	-23.43	0.00	97.094	1.081	-501.784
	SPEC1	6	U1	0.09	4.53	0.00	-1.680	-0.030	42.212
	SPEC1	7	U1	394.95	10.41	0.00	18.571	-472.295	-2669.713
	SPEC1	8	U1	1.18	-18.98	0.00	0.670	-0.304	-433.882
	SPEC1	9	U1	46.22	6.71	0.00	-11.217	62.715	-243.684
	SPEC1	10	U1	0.67	2.88	0.00	-3.410	-1.030	-145.991
	SPEC1	11	U1	0.16	-2.88	0.00	4.818	0.138	-63.224
	SPEC1	12	U1	0.17	0.51	0.00	-0.359	0.214	-26.984
	SPEC1	13	U1	0.04	0.24	0.00	-0.620	0.034	3.915
	SPEC1	14	U1	0.02	0.20	0.00	0.381	0.006	4.487
	SPEC1	15	U1	0.02	0.21	0.00	-0.414	0.006	4.996
	SPEC1	16	U1	0.08	-0.02	0.00	0.029	0.045	1.960
	SPEC1	17	U1	0.01	-0.03	0.00	0.009	0.001	-0.412
	SPEC1	18	U1	0.01	0.03	0.00	-0.037	-0.001	0.927
	SPEC1	19	U1	1102.48	-57.37	0.00	-12.151	-242.446	-10103.216
	SPEC1	20	U1	3.03	58.73	0.00	12.872	-0.663	1032.168
	SPEC1	All	All	2503.33	40.25	0.00	218.237	24847.634	19079.216
	SPEC2	1	U2	0.62	0.00	0.00	-0.003	7.106	-3.752
	SPEC2	2	U2	-8.91	2646.14	0.00	-30107.425	-26.027	43595.835
	SPEC2	3	U2	6.89	0.10	0.00	-0.657	46.195	-140.704
	SPEC2	4	U2	21.07	35.85	0.00	-279.980	-16.639	4457.529
	SPEC2	5	U2	-23.14	135.95	0.00	-563.388	-6.272	2911.592
	SPEC2	6	U2	4.47	218.00	0.00	-80.933	-1.426	2033.122
	SPEC2	7	U2	10.28	0.27	0.00	0.483	-12.296	-69.505
	SPEC2	8	U2	-18.74	300.92	0.00	-10.619	4.827	6880.338
	SPEC2	9	U2	6.63	0.96	0.00	-1.609	8.995	-34.950
	SPEC2	10	U2	2.84	12.29	0.00	-14.568	-4.399	-623.691
	SPEC2	11	U2	-2.85	51.14	0.00	-85.503	-2.442	1121.933
	SPEC2	12	U2	0.50	1.53	0.00	-1.077	0.641	-80.948
	SPEC2	13	U2	0.24	1.33	0.00	-3.436	0.186	21.703
	SPEC2	14	U2	0.19	2.17	0.00	4.239	0.065	49.891
	SPEC2	15	U2	0.21	2.67	0.00	-5.210	0.081	62.935
	SPEC2	16	U2	-0.02	0.00	0.00	-0.007	-0.011	-0.465
	SPEC2	17	U2	-0.03	0.11	0.00	-0.036	-0.005	1.713
	SPEC2	18	U2	0.03	0.09	0.00	-0.099	-0.003	2.472
	SPEC2	19	U2	-56.66	2.95	0.00	0.624	12.459	519.209
	SPEC2	20	U2	58.01	1125.89	0.00	246.743	-12.711	19786.146
	SPEC2	All	All	39.75	2915.44	0.00	30149.543	50.302	49325.228

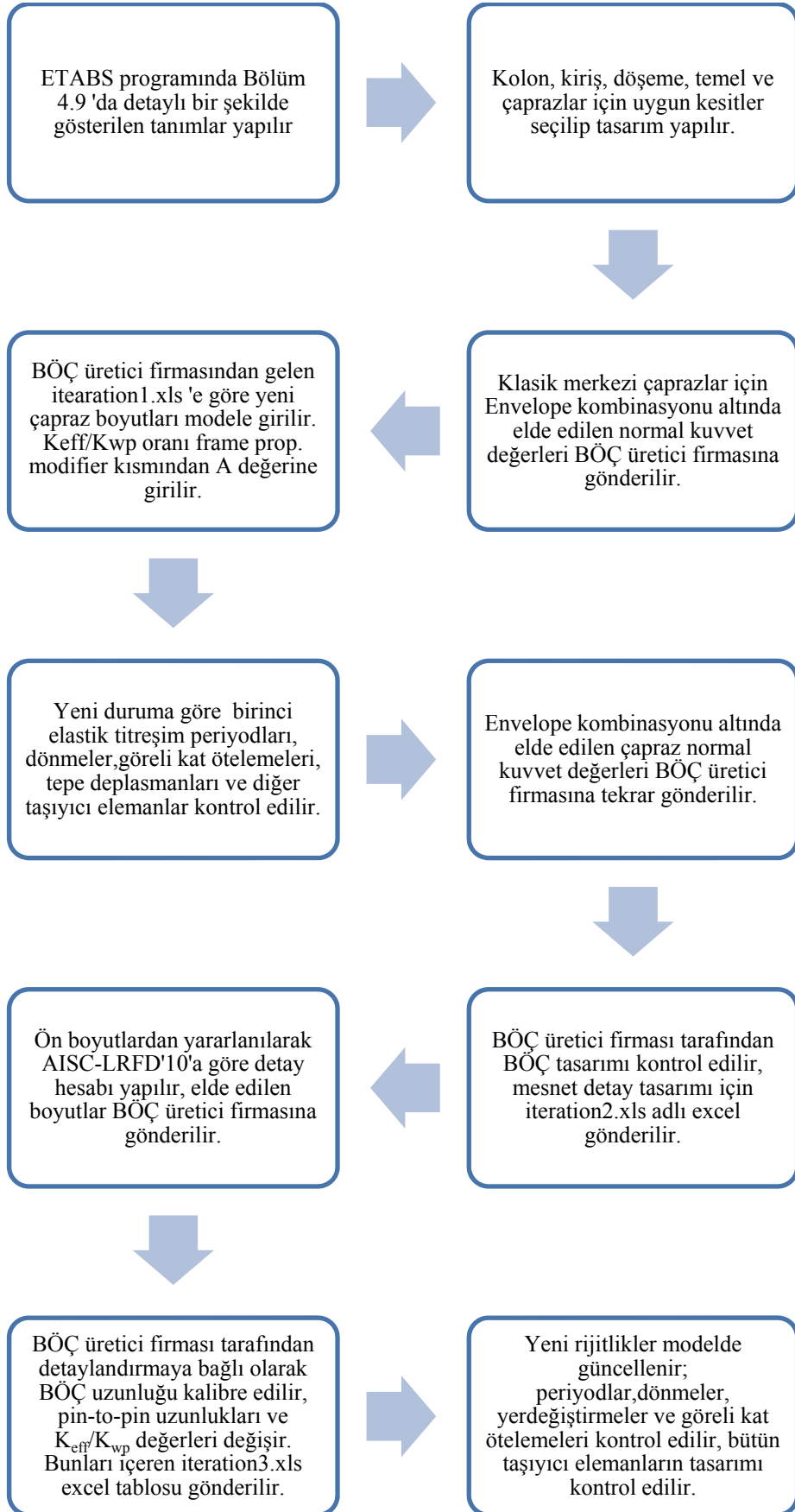
Şekil 4.24 : ETABS programından elde edilen zemin kat kesme kuvvetleri.

4.10 BÖÇ Tasarımı Akış Şeması

BÖÇ tasarımı için öncelikle klasik merkezi çapraz kullanılarak bina ETABS programında modellenmiştir. Uygun kesitler seçildikten sonra detaylı olarak DBYBHY 2007'ye göre kontroller yapılmıştır. Yapılan bu kontroller sonrasında ise çelik çaprazlardan elde edilen kesit tesirleri BÖÇ üretici firmaya gönderilmiştir. BÖÇ üretici firması kesit tesiri değerlerine bağlı olarak her bir çapraz için özel olarak BÖÇ tasarımlarını yaptıktan sonra detaylarını excel tablosu şeklinde göndermiştir. Gönderilen excel tablosundan yararlanılarak BÖÇ'lerin çelik çekirdekli bölümün boyutları MAT1 (tasarımı yapılmayan malzeme) ETABS programında tanımlandıktan sonra malzeme olarak MAT1 seçilir. MAT1 malzemesi atanmış olan BÖÇ'ler çelik tasarımına dahil olmaz. Bu sayede BÖÇ tasarımının tamamen üretici firma tarafından yapılması sağlanır. BÖÇ üreticisi tarafından gönderilen excel tablosundaki her bir BÖÇ için arttırılmış eksenel rijitlikler (K_{eff}/K_{wp}) girilir. Girilen yeni eksenel rijitliklere göre taşıyıcı sisteme bağlı olarak birinci elastik titreşim periyodları hesaplanır ve buna bağlı olarak deprem kuvvetleri hesaplanır. Sonrasında bütün yapının yatay deprem etkilerinden dolayı yatay yerdeğiştirmeleri, görelî kat ötelemeleri ve taşıyıcı sistemi oluşturan diğer elemanlar kontrol edilir. BÖÇ'lü çapraz elemanlardaki en elverişsiz durumudaki kesit tesirleri BÖÇ üretici firmaya gönderilir. Üretici firma bu bilgilerden yararlanarak BÖÇ kesitlerini tekrar kontrol eder ve eğer seçilen kesitler yeterliyse bağlantı detayları için bir önboyutlandırma yaparak ikinci excel tablosunu gönderir. Gönderilen ikinci excel tablosuna bağlı olarak kolon-BÖÇ ve kiriş-BÖÇ bağlantı detayı önboyutlandırmalarından yararlanılarak AISC-LRFD-10'a göre hesaplar yapılır. Belirlenen plaka kalınlıkları, mafsallı pin boyutları, rijitleştirici plakalar ile plakaların düzlem dışı burkulmasını önleyecek levha boyutları BÖÇ üretici ile paylaşılır. Bu bilgilerden yola çıkarak BÖÇ üreticisi akma ve güçlendirme bölgesi uzunluklarını gözden geçirir. Yapılan değişiklikler sonunda pin-to-pin ve K_{eff}/K_{wp} değerlerindeki değişiklikler excel tablosu halinde BÖÇ üreticisinden gelir. Yeni rijitlikler her bir çapraz için kontrol edildikten sonra ETABS modeli tekrardan kontrol edilir. Eğer modelde herhangi bir kesitin değişmesine gerek kalmıyorsa bütün taşıyıcı elemanların detaylandırması yapılır.

Yukarıda anlatılanlar şematik olarak ve aşama aşama akış şemasında gösterilmiştir.

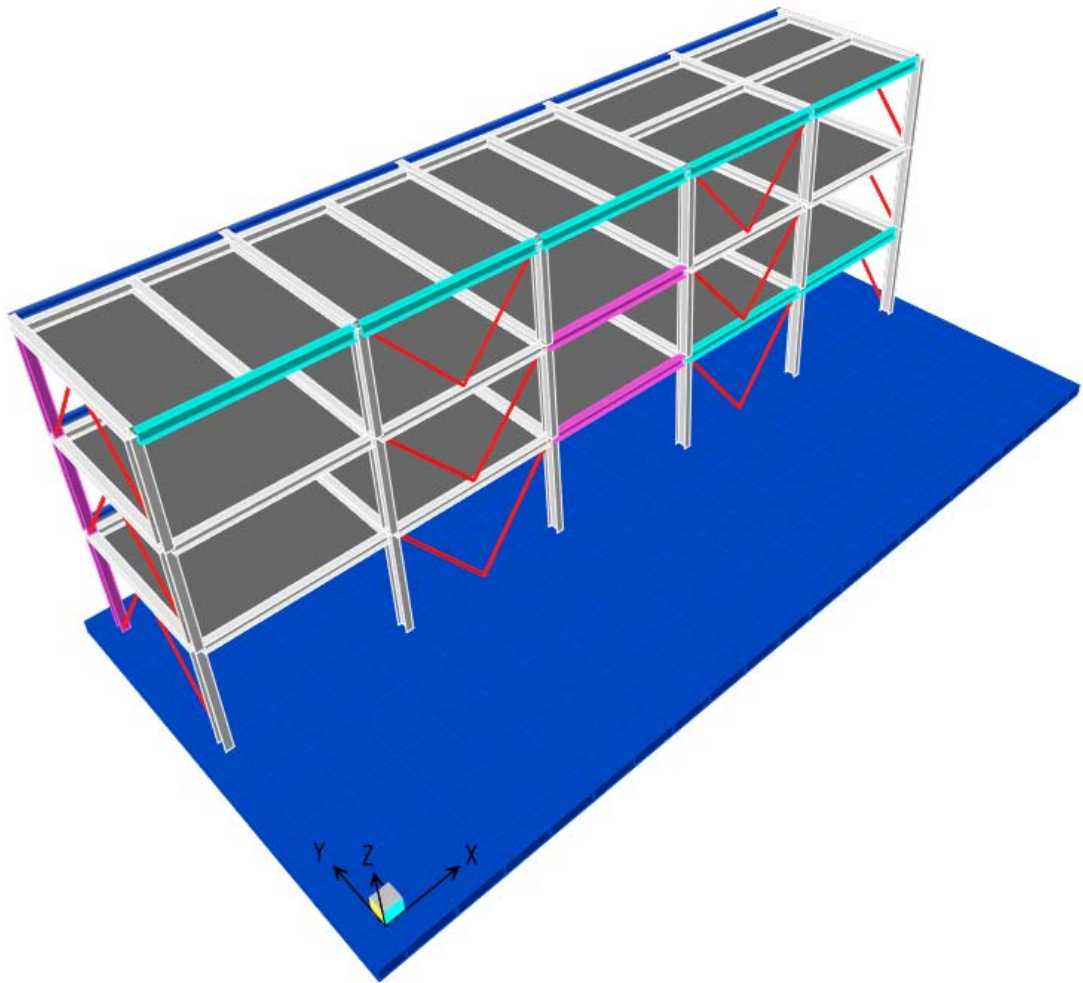
BÖÇ tasarımı akış şeması



BÖÇ tasarımı akış şemasında sözü edilen iteration1, iteration2 ve iteration3 excel tabloları ile mesnet detay hesabı ek C'de sunulmuştur. Iteration1, 2, ve 3'te gösterilen BÖÇ'ler A ve B blok için olmakla birlikte Bölüm 4.8, Bölüm 4.9 ve Bölüm 4.11'de A blok için tasarım aşamaları açıklanmıştır.

4.11 ETB Binası'nın BÖÇ'lü Olarak Modellenmesi

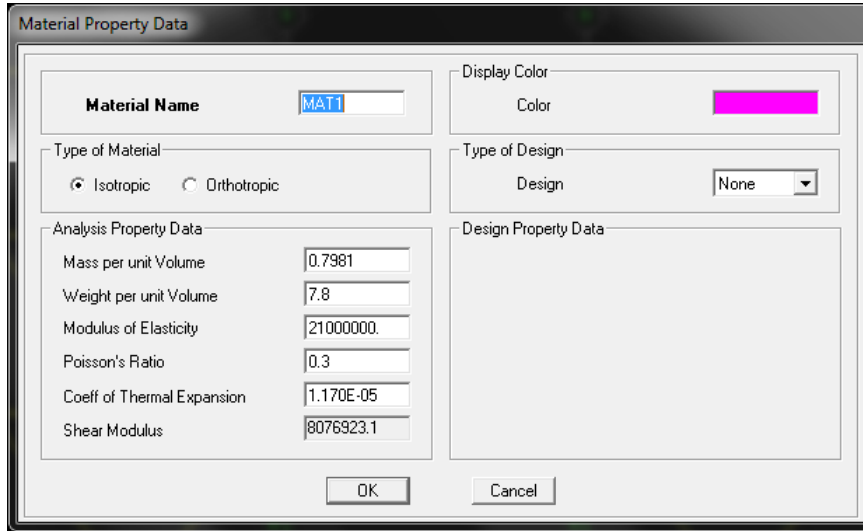
Bölüm 4.10'da sözedildiği gibi klasik çaprazlı tasarımdan farklı olarak, BÖÇ'lü tasarımda çapraz boyutları değişip rijitlikleri belli bir oranda artırılmıştır. Bu bölümde Bölüm 4.8'deki model kullanılarak çeşitli değişiklikler yapılarak BÖÇ'lü duruma göre tasarım tekrarlanmıştır. ETB binasının BÖÇ'lü olarak ETABS programında modellenmesi Şekil 4.25'te belirtilmiştir. V şeklindeki BÖÇ'ler binanın C aksında olduğu için rahat görülebilmesi adına binanın diğer bölümü gösterilmemiştir. Ayrıca BÖÇ'ler kırmızı renk ile belirtilmiştir.



Şekil 4.25 : Üç boyutlu görünüş-BÖÇ'lü model (A-C aksları arası).

4.11.1 Malzeme ve kesit bilgileri

Bölüm 4.8.1 'deki klasik çapraz için modellemeye yapılanlar BÖÇ'lü model tasarımında da kullanılmıştır. Buna ek olarak BÖÇ kesitleri için Şekil 4.26'daki malzeme tanımlanmıştır. Bu malzemenin tanımlanmasının sebebi ise BÖÇ'ler BÖÇ üreticisi tarafından tasarlandığı için ETABS programında çelik tasarımı yapılmaması içindir.

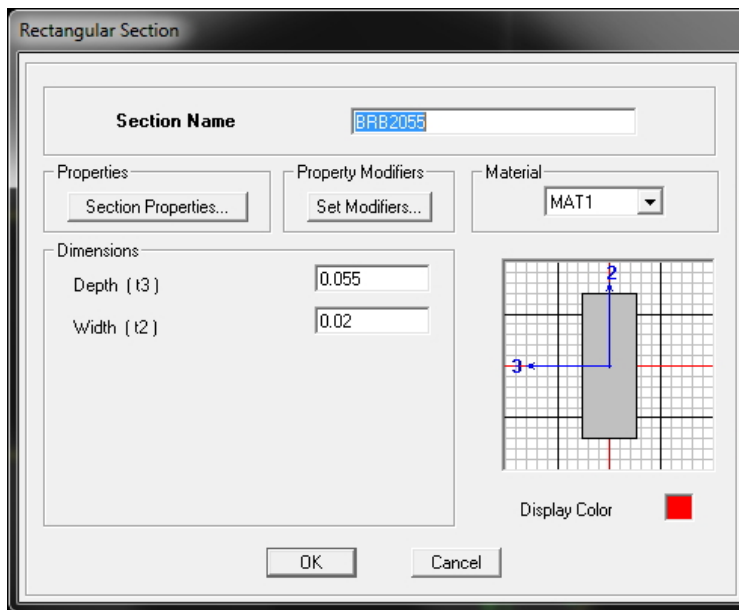


The dialog box titled "Material Property Data" contains the following fields and options:

- Material Name:** MAT1
- Display Color:** A color selection box showing a magenta color.
- Type of Material:** Radio buttons for ☒ Isotropic and ☐ Orthotropic.
- Type of Design:** A dropdown menu set to "None".
- Analysis Property Data:**
 - Mass per unit Volume: 0.7981
 - Weight per unit Volume: 7.8
 - Modulus of Elasticity: 21000000.
 - Poisson's Ratio: 0.3
 - Coeff of Thermal Expansion: 1.170E-05
 - Shear Modulus: 8076923.1
- Design Property Data:** An empty text area.
- Buttons:** OK and Cancel.

Şekil 4.26 : BÖÇ malzemesi.

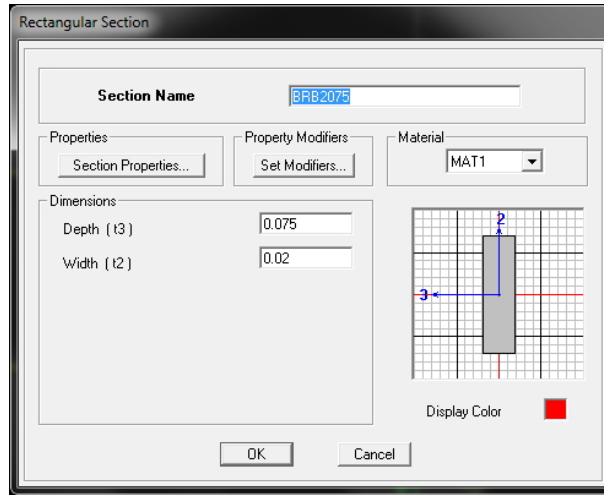
BÖÇ üreticisi tarafından gönderilen BÖÇ kesitleri ETABS programında tanımlanmıştır. Şekil 4.27'den Şekil 4.32'ye kadar toplamda 6 farklı boyutlarda BÖÇ enkesitleri belirtilmiştir.



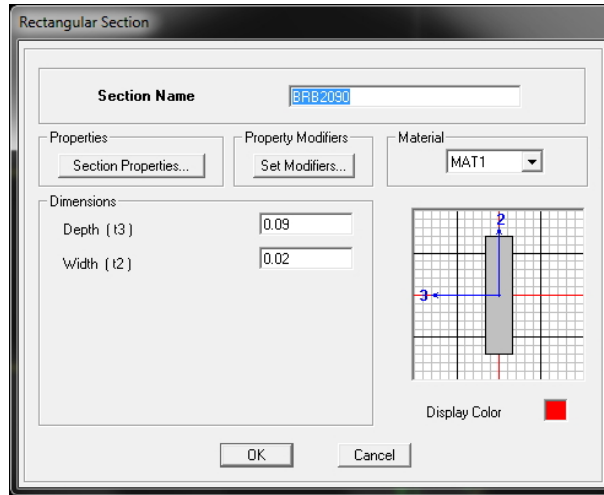
The dialog box titled "Rectangular Section" contains the following fields and options:

- Section Name:** BRB2055
- Properties:** A button labeled "Section Properties...".
- Property Modifiers:** A button labeled "Set Modifiers...".
- Material:** A dropdown menu set to "MAT1".
- Dimensions:**
 - Depth (t3): 0.055
 - Width (t2): 0.02
- Diagram:** A grid showing a rectangular section with dimensions t2 and t3 indicated by arrows.
- Display Color:** A color selection box showing a red color.
- Buttons:** OK and Cancel.

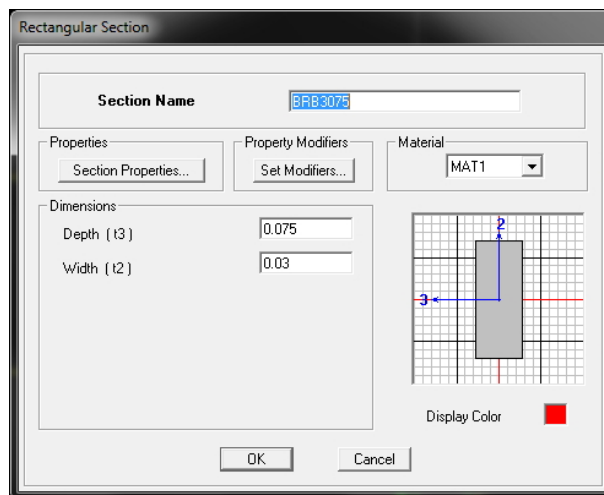
Şekil 4.27 : BRB-20x50.



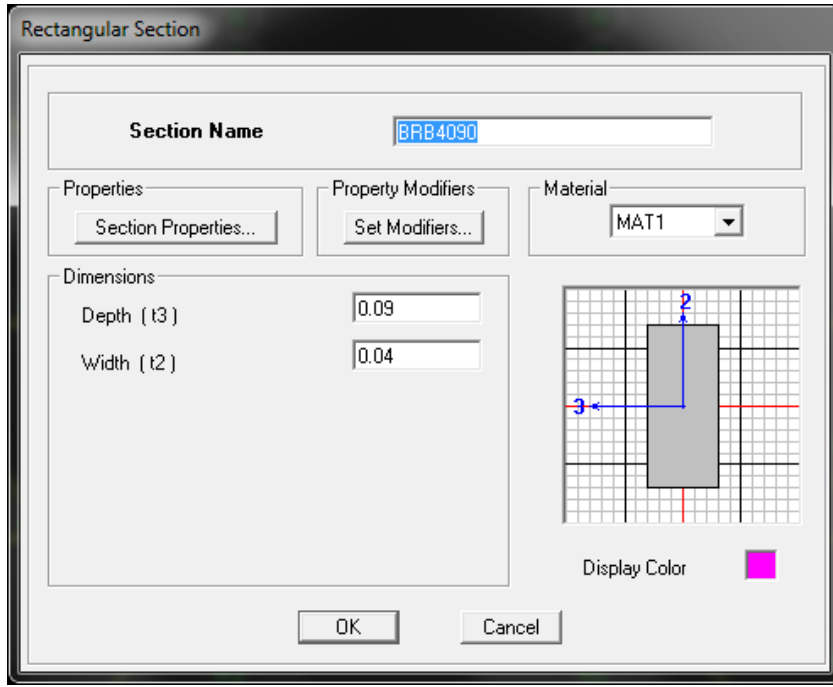
Şekil 4.28 : BRB-20X80.



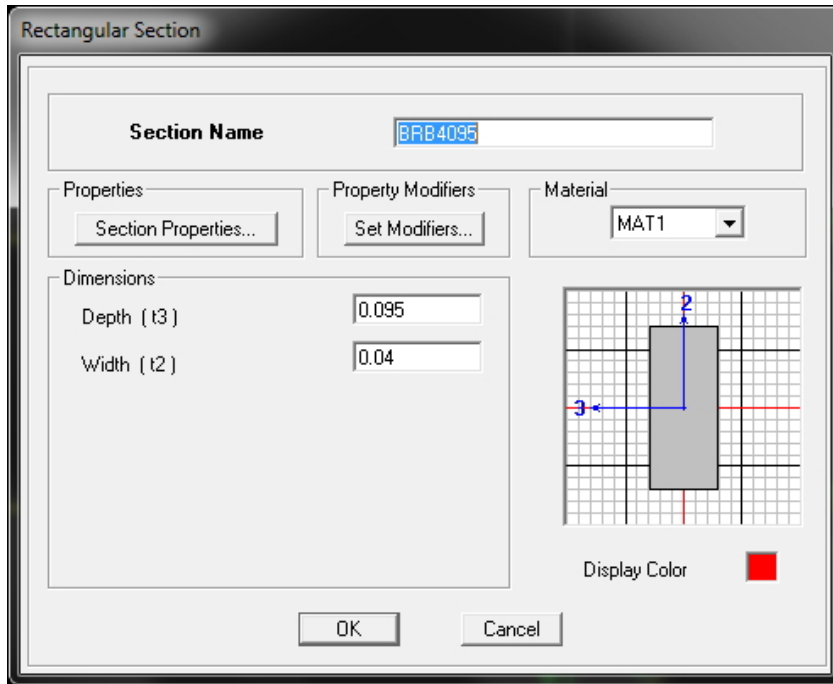
Şekil 4.29 : BRB-20X85.



Şekil 4.30 : BRB-40x55.

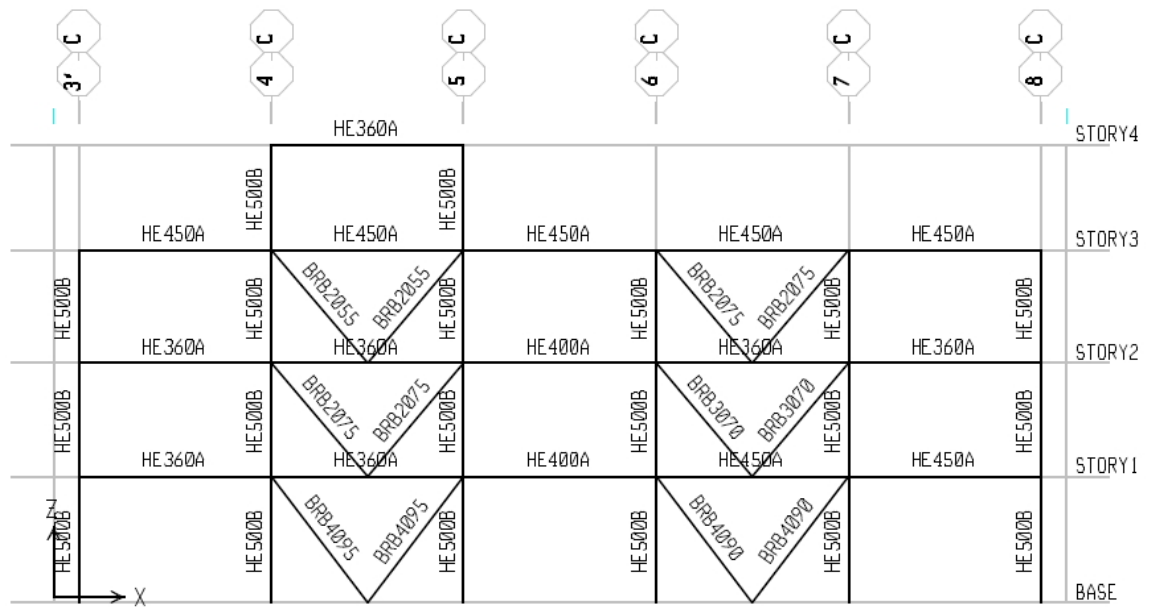


Şekil 4.31 : BRB-40x70.

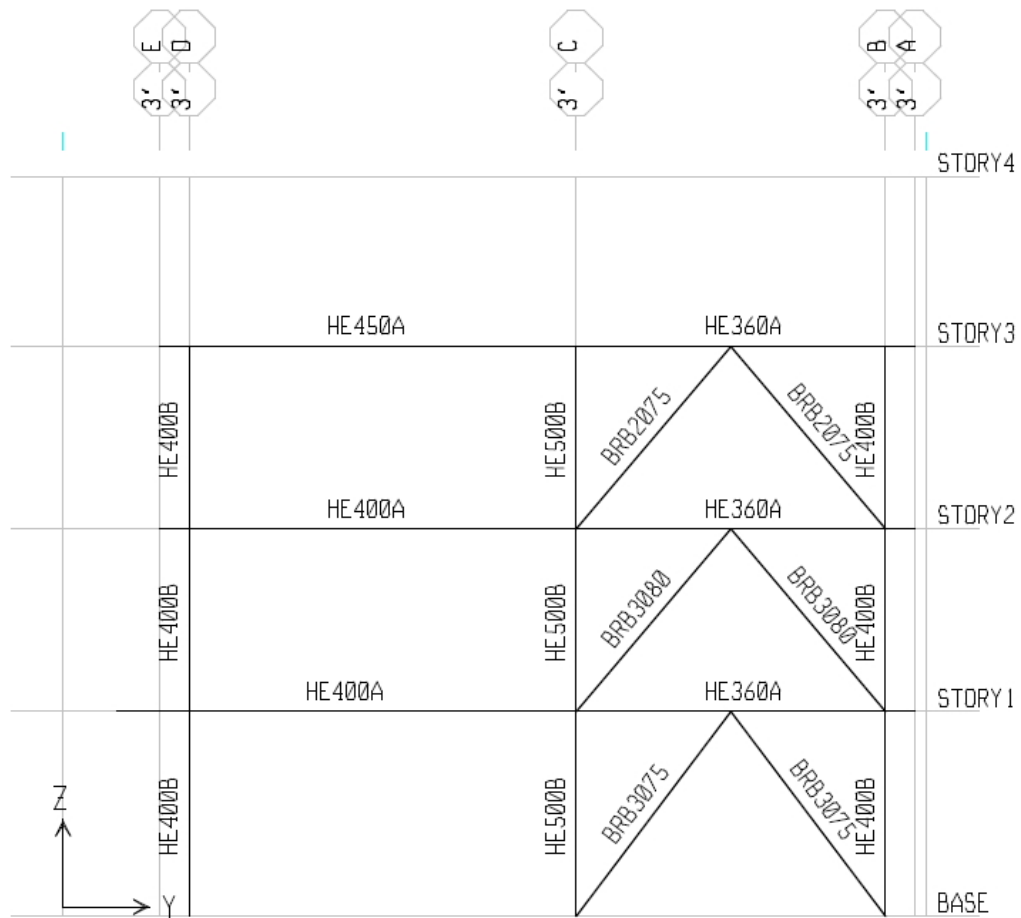


Şekil 4.32 : BRB-40x90.

Yukarıda belirtilen BÖÇ enkesitleri kullanılarak ETABS modelinde güncellemeler yapıldıktan sonra Şekil 4.33, Şekil 4.34 ve Şekil 4.35'te BÖÇ'lerin olduğu ve isimleri sırasıyla C-3' ve 8 aksları yer almaktadır. Bu BÖÇ'lerin aksinel rijitlikleri "frame property modifiers" bölümünden ek A'daki iteration3'te K_{eff}/K_{wp} oranında artırılmıştır.

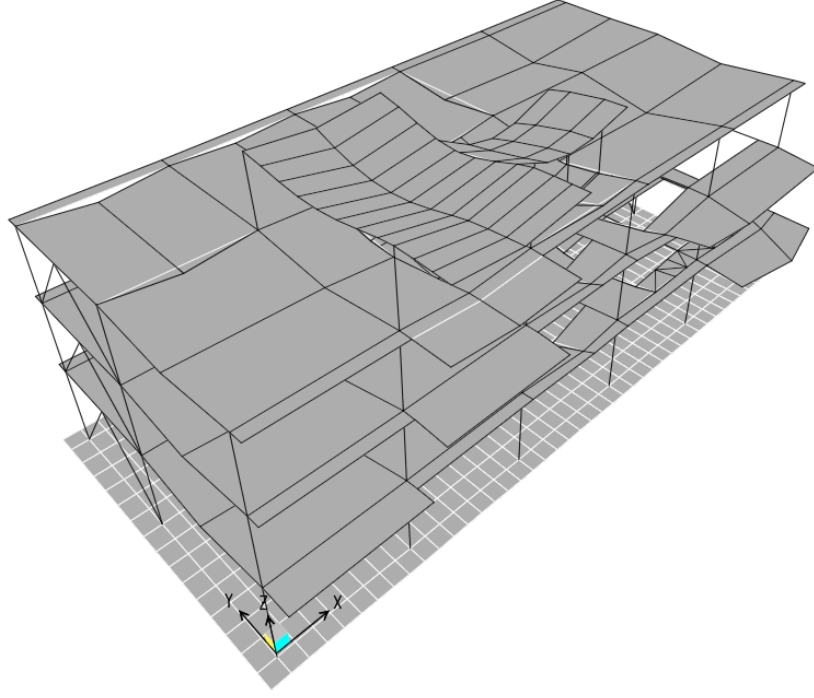


Şekil 4.33 : ETB binası C aksı.



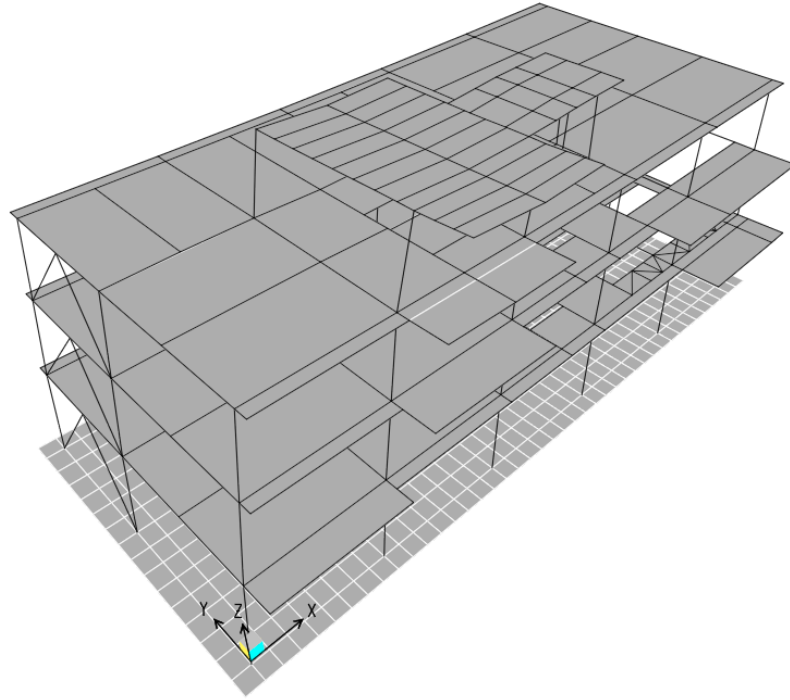
Şekil 4.34 : ETB binası 3'aksı.

ETB binasının hareketli yüklerden kaynaklanan deformasyon şekli Şekil 4.37'de belirtilmiştir.



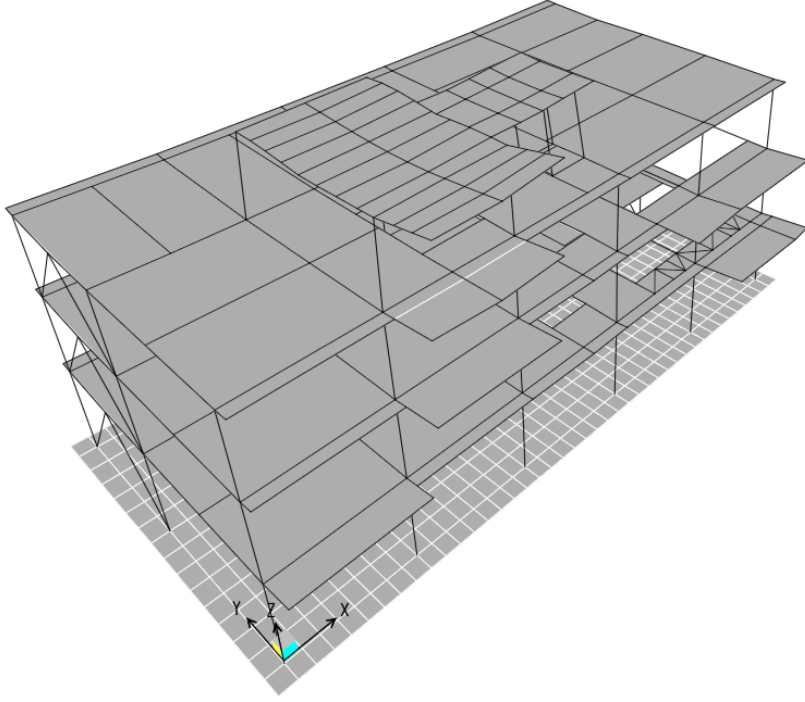
Şekil 4.37 : Deformasyon şekli (hareketli yükler).

ETB binasının X doğrultusunda deprem etkisinden dolayı oluşan deformasyon şekli Şekil 4.38'de belirtilmiştir.



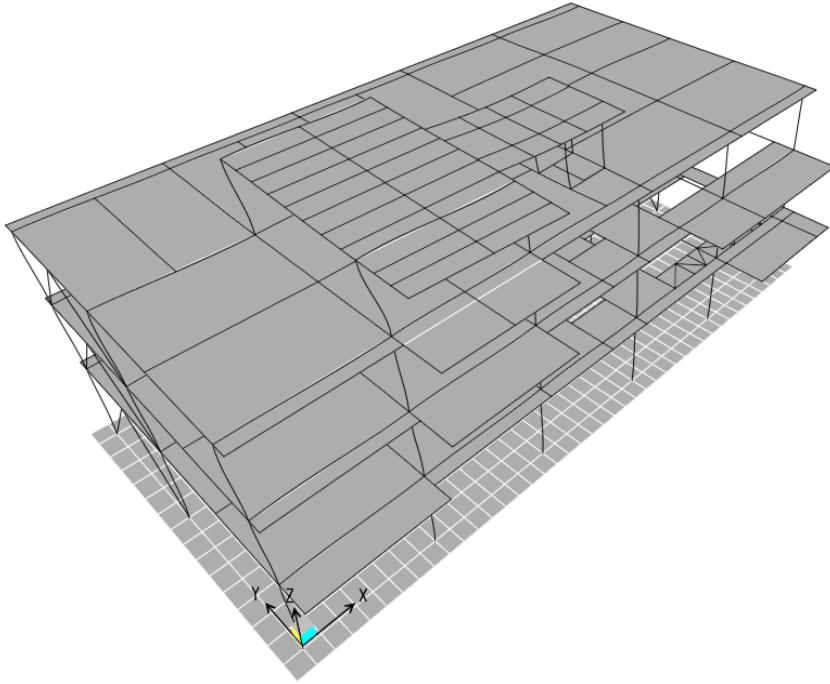
Şekil 4.38 : Spec1, X doğrultusu deformasyon şekli.

ETB binasının Y doğrultusunda deprem etkisinden dolayı oluşan deformasyon şekli Şekil 4.39'da belirtilmiştir.



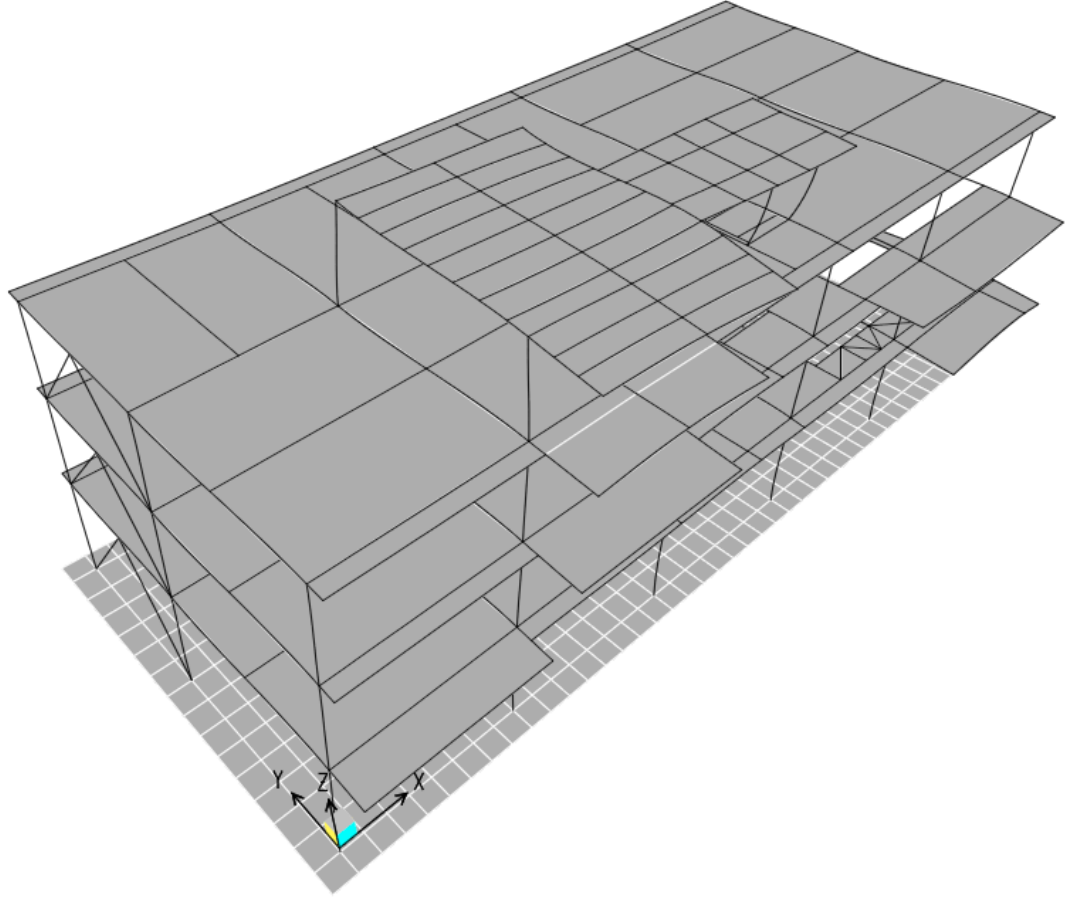
Şekil 4.39 : Spec2, Y doğrultusu deformasyon şekli.

ETB binasının X doğrultusundaki doğal titreşim periyodu Şekil 4.40'ta belirtilmiştir.



Şekil 4.40 : $T_x=0.96s$ (X doğrultusu doğal titreşim periyodu).

ETB binasının Y doğrultusundaki doğal titreşim periyodu Şekil 4.41'de belirtilmiştir



Şekil 4.41 : $T_y=0.80s$ (Y doğrultusu doğal titreşim periyodu).

4.11.3 Deprem hesabı

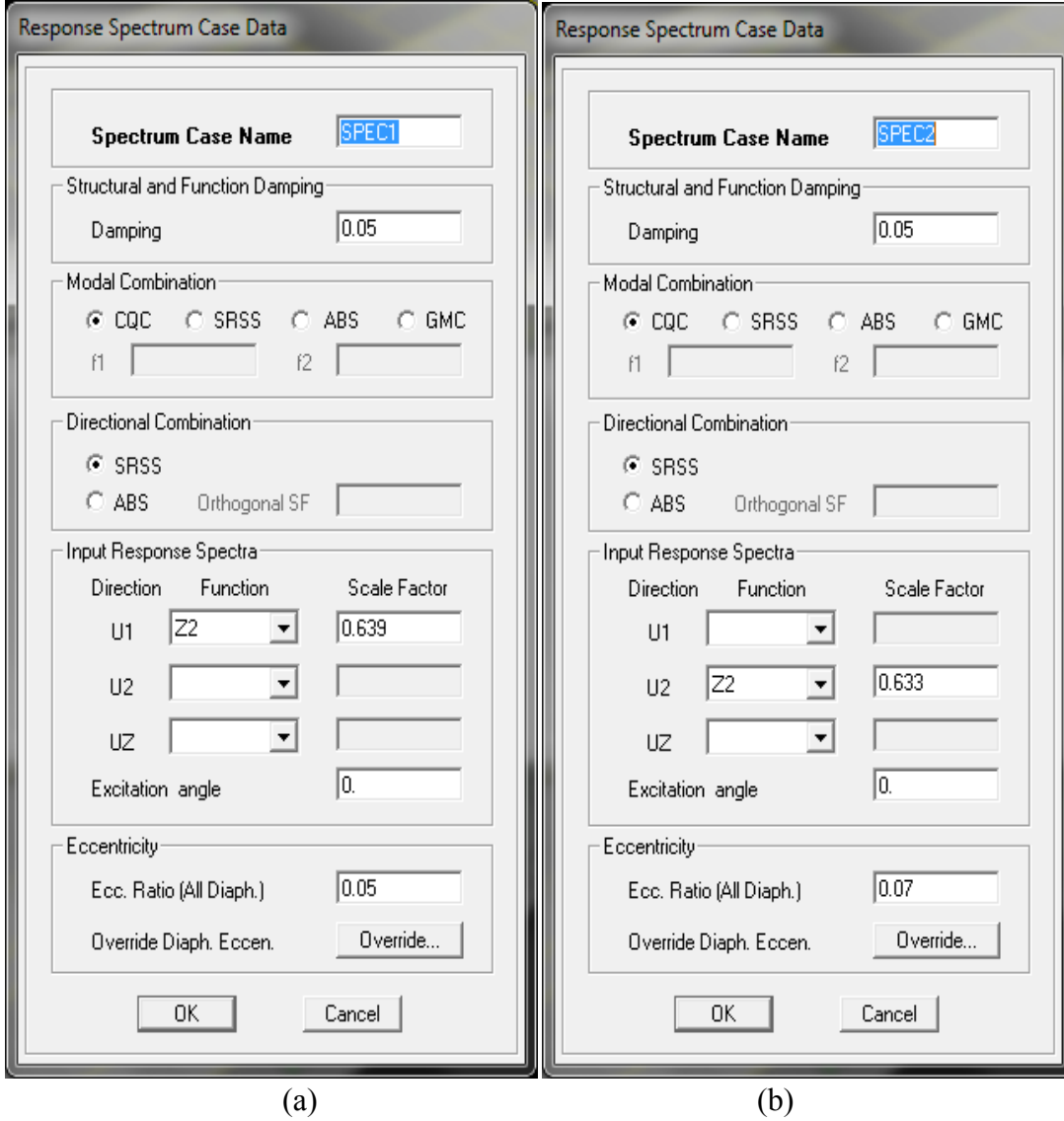
Deprem hesabı yapılırken DBYBHY 2007 kullanılmış olup Z2 zemin sınıfı için spektrum eğrileri tanımlanmıştır. Bölüm 4.7'de sözü edildiği gibi yapı için üç boyutlu dinamik analiz yapılmıştır. Bina yüksekliği ve düzensizlikler gözönünde bulundurularak eşdeğer deprem yükleri tanımlanmış ve minimum değerler kontrol edilmiştir.

$$V_t = \frac{W * A(T_1)}{R_a(T_1)} \geq 0.10 * A_o * I * W \quad (4.1)$$

$$V_{tx} = \frac{32848.8 \times 0.3 \times 1.24}{8} = 1527.5 kN \geq 0.10 \times 0.3 \times 1 \times 32848.8 = 985.5 kN$$

$$V_{ty} = \frac{32848.8 \times 0.3 \times 1.44}{8} = 1773.8 kN \geq 0.10 \times 0.3 \times 1 \times 32848.8 = 985.5 kN$$

Spec1 ve Spec2 için U1 ve U2 fonksiyonlarına girilen deprem parametreleri Şekil 4.42'de belirtilmiştir. Sönüm oranı olarak her iki deprem yönü için 0.05 alınmıştır.



Şekil 4.42 : Deprem parametreleri (a) X doğrultusu ve (b)Y doğrultusu.

ETABS programında Spec1 ve Spec2 için girilen deprem parametreleri sonucunda programdan elde edilen zemin kat kesme kuvvetleri Şekil 4.43 :te belirtilmiştir. Bu değerler (4.1) 'deki hesaplanan V_{tx} ve V_{ty} ile karşılaştırıldığında yakın değerler elde edilmiştir.

4.12 Klasik Çaprazlı Model ve BÖÇ'lü Modelin Karşılaştırılması

Klasik çapraz ve BÖÇ kullanıldığında Bölüm 4.8 ve 4.11'de tasarlanan modellerin karşılaştırılması Çizelge 4.1'de gösterilmiştir. Ayrıca değişen sistem rijitliklerine bağlı olarak elde edilen yatay deprem yükleri altındaki yatay yerdeğiştirmeleri, görelî

kat ötelemeleri, taban kesme kuvvetleri ile kat kesme kuvvetleri ve yapı elemanları ile toplam yapı ağırlıkları karşılaştırılmıştır.

Response Spectrum Base Reactions

Edit View

Response Spectrum Base Reactions

	Spec	Mode	Dir	F1	F2	F3	M1	M2	M3
	SPEC1	1	U1	1223.91	30.77	0.00	-350.391	14365.131	-7029.958
	SPEC1	2	U1	2.03	-56.08	0.00	637.016	20.860	-996.404
	SPEC1	3	U1	141.40	26.01	0.00	-323.000	962.508	-5449.860
	SPEC1	4	U1	49.51	29.26	0.00	-116.203	157.020	2826.789
	SPEC1	5	U1	19.53	-41.39	0.00	175.342	40.444	-713.237
	SPEC1	6	U1	1.32	12.10	0.00	-6.432	1.621	73.900
	SPEC1	7	U1	352.57	2.97	0.00	8.510	474.413	-2713.459
	SPEC1	8	U1	0.22	-7.34	0.00	-2.151	0.362	-158.228
	SPEC1	9	U1	129.06	-5.30	0.00	-4.251	210.182	-744.555
	SPEC1	10	U1	6.55	8.08	0.00	-5.300	10.258	-434.839
	SPEC1	11	U1	0.14	-2.60	0.00	3.714	0.199	-53.416
	SPEC1	12	U1	0.20	0.37	0.00	-0.176	0.321	-29.662
	SPEC1	13	U1	0.01	0.04	0.00	-0.154	0.044	0.680
	SPEC1	14	U1	0.02	0.15	0.00	0.162	0.038	3.056
	SPEC1	15	U1	0.01	0.03	0.00	-0.154	0.009	0.681
	SPEC1	16	U1	0.03	-0.01	0.00	0.011	0.070	0.315
	SPEC1	17	U1	0.00	0.00	0.00	-0.002	0.001	-0.036
	SPEC1	18	U1	0.01	0.00	0.00	-0.007	0.013	-0.050
	SPEC1	19	U1	797.05	-9.20	0.00	-1.873	-175.238	-6722.546
	SPEC1	20	U1	0.11	9.45	0.00	2.075	-0.025	169.164
	SPEC1	All	All	1529.24	79.77	0.00	744.720	14465.413	11512.949
	SPEC2	1	U2	30.48	0.77	0.00	-8.726	357.743	-175.071
	SPEC2	2	U2	-55.55	1532.46	0.00	-17407.961	-570.042	27229.096
	SPEC2	3	U2	25.77	4.74	0.00	-58.863	175.405	-993.167
	SPEC2	4	U2	28.98	17.13	0.00	-68.021	91.914	1654.702
	SPEC2	5	U2	-41.00	86.89	0.00	-368.118	-84.909	1497.388
	SPEC2	6	U2	11.99	109.65	0.00	-58.263	14.681	669.403
	SPEC2	7	U2	2.95	0.02	0.00	0.071	3.965	-22.679
	SPEC2	8	U2	-7.27	241.61	0.00	70.772	-11.915	5206.531
	SPEC2	9	U2	-5.25	0.22	0.00	0.173	-8.555	30.304
	SPEC2	10	U2	8.01	9.88	0.00	-6.477	12.536	-531.412
	SPEC2	11	U2	-2.57	47.33	0.00	-67.647	-3.632	972.989
	SPEC2	12	U2	0.37	0.69	0.00	-0.323	0.591	-54.514
	SPEC2	13	U2	0.04	0.19	0.00	-0.656	0.187	2.899
	SPEC2	14	U2	0.15	0.98	0.00	1.046	0.242	19.677
	SPEC2	15	U2	0.03	0.21	0.00	-0.987	0.058	4.374
	SPEC2	16	U2	-0.01	0.00	0.00	-0.003	-0.019	-0.085
	SPEC2	17	U2	0.00	0.02	0.00	0.009	-0.004	0.220
	SPEC2	18	U2	0.00	0.00	0.00	-0.003	0.005	-0.020
	SPEC2	19	U2	-9.12	0.11	0.00	0.021	2.005	76.905
	SPEC2	20	U2	9.36	818.54	0.00	179.820	-2.132	14657.078
	SPEC2	All	All	79.02	1768.36	0.00	17436.048	630.602	31533.399

OK

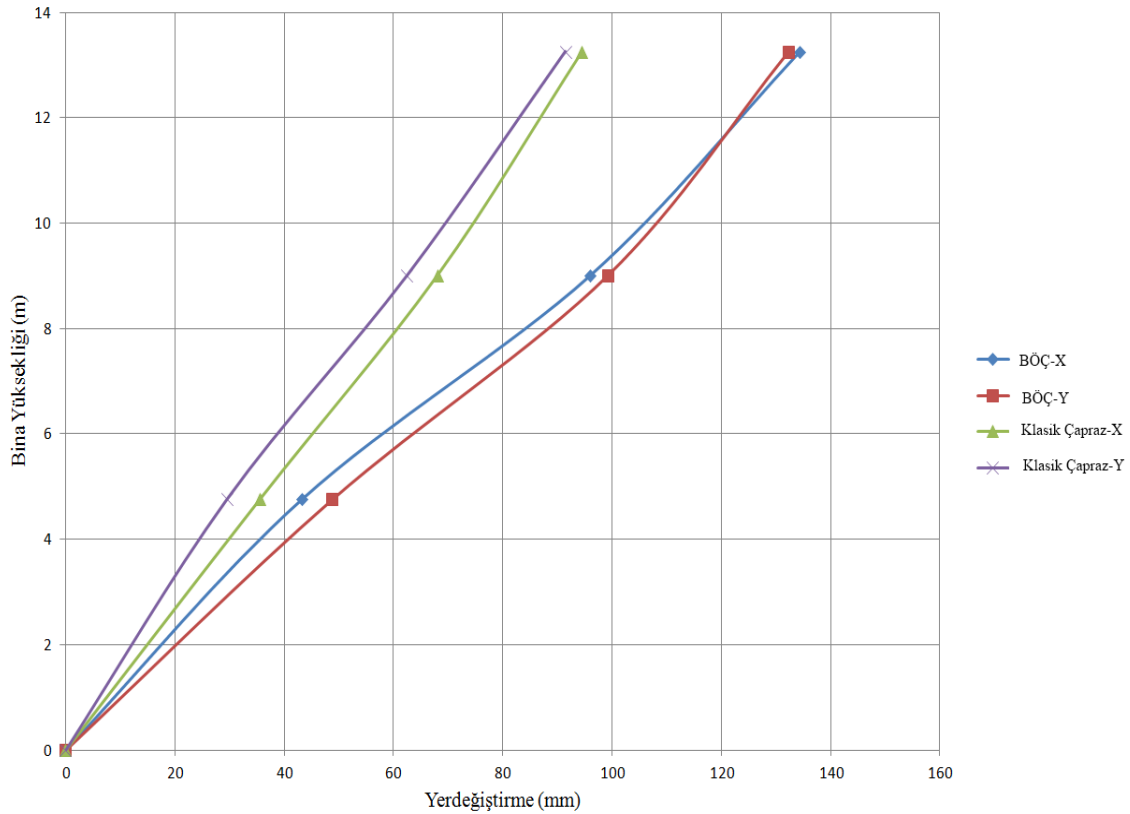
Şekil 4.43 : ETABS programı zemin kat kesme kuvvetleri.

Çizelge 4.1 : Klasik çaprazlı sistem ile BÖÇ'li sistemin karşılaştırılması.

Çözüm	R	T _(periyot)		V _(Taban kesme Kuvveti)		(Δ/h*R) _{max}	ΣKolonağırlığı (kN)	ΣKirişAğırlığı (kN)	ΣYapıAğırlığı (kN)
		T _{x(s)}	T _{y(s)}	V _{x(kN)}	V _{y(kN)}				
BÖÇ'li	8	0.96	0.8	1529	1769	0.012	4264	12090	16354
Klasik Çaprazlı	6	0.75	0.62	2503	2915	0.008	5514	13035	18549

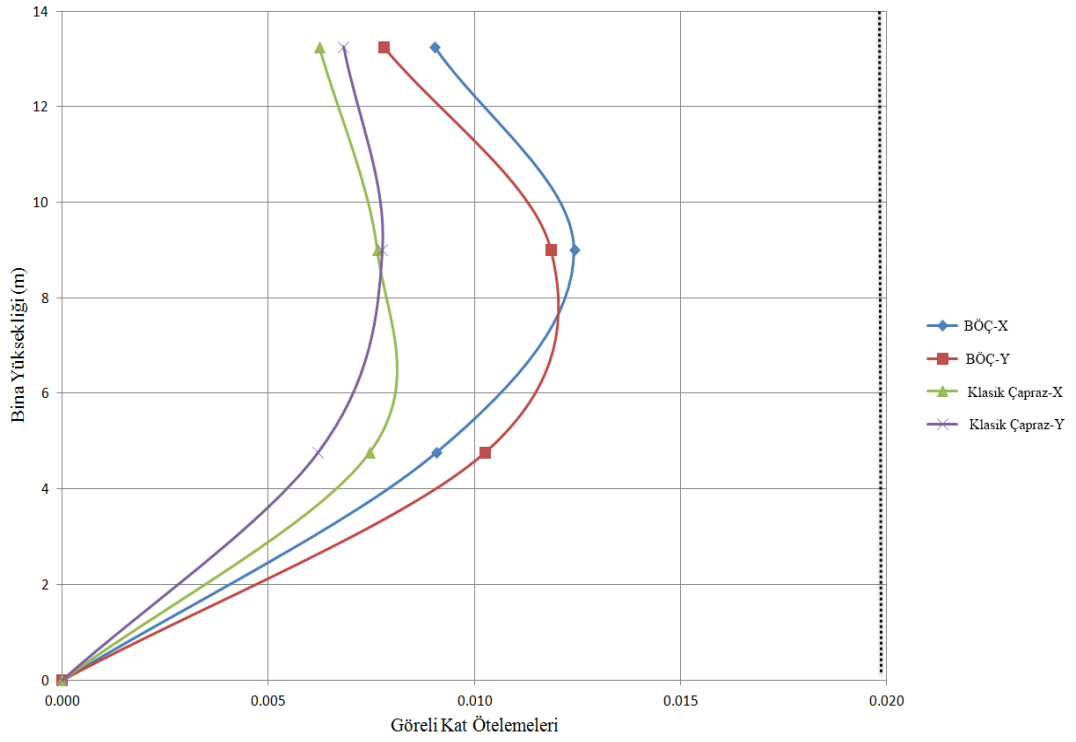
Kolon ve kirişlerin kapasite oranlarının benzer olması koşuluyla karşılaştırma yapılmıştır. BÖÇ'lü sistem davranış katsayısı klasik çaprazlı sisteme göre %33 daha büyük olduğundan klasik çaprazlı sistemin çözümünde daha rijit bir sistem elde edilmiştir. BÖÇ'lü sistem klasik çaprazlı sisteme göre daha sünek olduğundan taban kesme kuvvetleri klasik çaprazın taban kesme kuvvetlerinin %65'i seviyesindedir. Göreli kat öteleme max. değerlerine bakıldığında daha rijit olan klasik çaprazlı sistemde BÖÇ'lü sistemin %66'sı kadardır. Yapı ağırlıklarında ise BÖÇ'lü sistem ağırlığı klasik çaprazlı sisteme göre %12 daha hafiftir. Ayrıca BÖÇ'lü sistemde 2 adet farklı kolon boyutu (HEB400, HEB500), klasik çaprazlı sistemde ise 5 farklı kolon boyutu (HEB400, HEB450, HEB600, HEB800 ve HEB900) kullanılmıştır. Klasik çaprazlı durumda daha çok detay yapılacağı için maliyeti arttırmaktadır.

Şekil 4.44'te klasik çapraz ve BÖÇ'lü modelin yatay deprem yükleri altındaki yatay yerdeğiştirmeleri karşılaştırılmıştır.



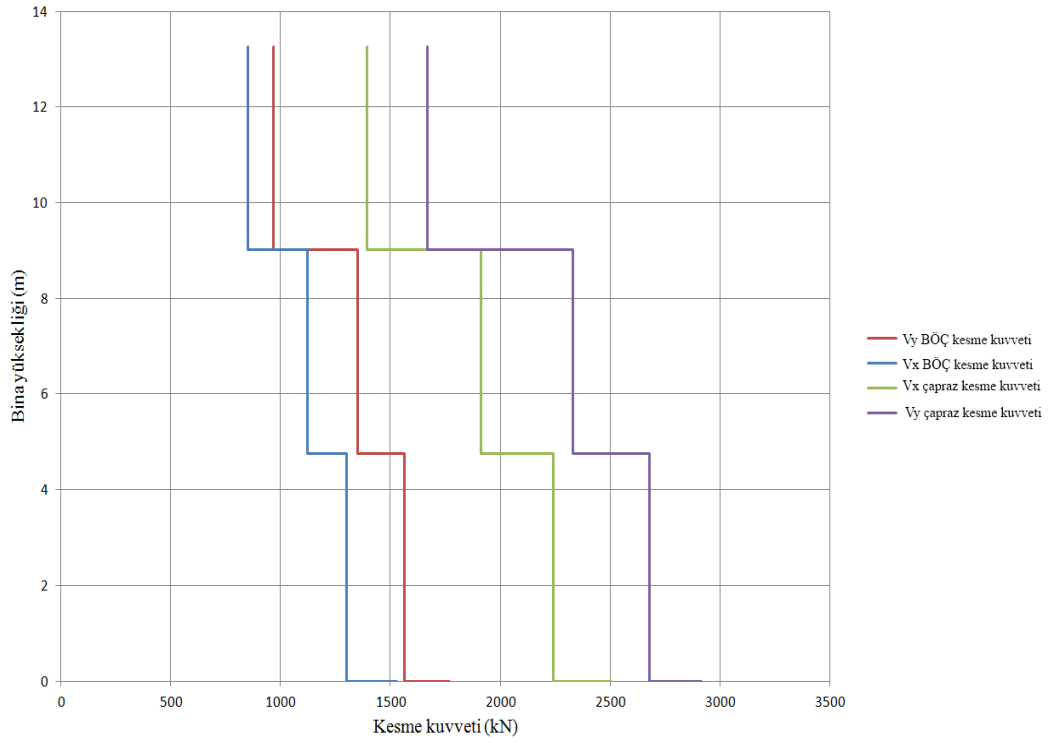
Şekil 4.44 : Klasik çaprazlı ve BÖÇ'lü modelin yerdeğiştirme değerleri.

Ayrıca Şekil 4.45'te gösterilen göreli kat ötelemelerine bakıldığında daha rijit olan klasik çaprazlı çözümde BÖÇ'lü çözüme göre daha büyük değerler çıkmaktadır. DBYBHY 2007'ye göre göreli kat ötelemeleri sınır değeri %2 'dir.



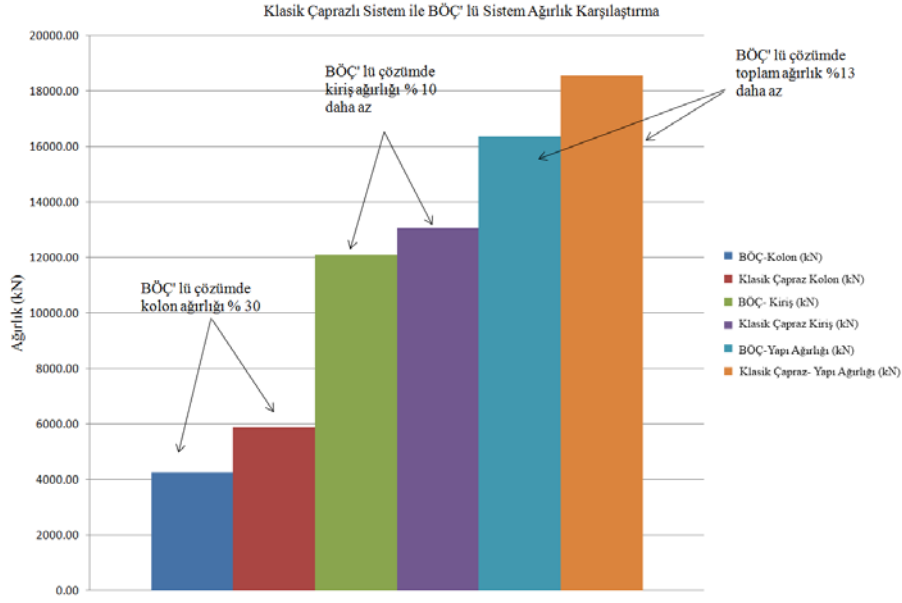
Şekil 4.45 : Klasik çaprazlı ve BÖÇ'lü modelin görelî kat ötelemeleri.

Şekil 4.46'da ise kat kesme kuvvetleri karşılaştırılmıştır.



Şekil 4.46 : Klasik çaprazlı ve BÖÇ'lü modelin kesme kuvvetlerinin yapı yüksekliğince dağılımı.

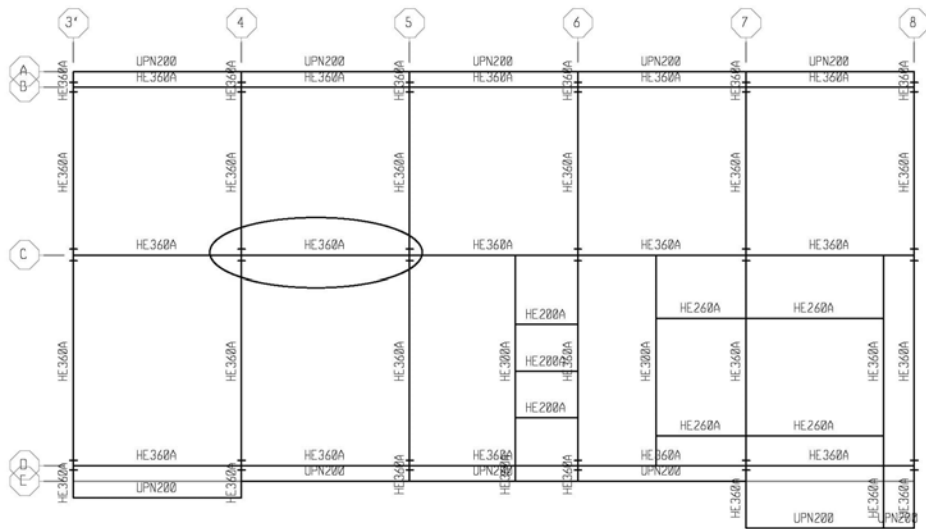
Çizelge 4.1'deki tabloda belirtilen kolon, kiriş ve toplam yapı ağırlıkları Şekil 4.47'de gösterilmiştir.



Şekil 4.47 : Klasik çaprazlı çözüm ile BÖÇ'lü çözümün ağırlık karşılaştırması.

4.13 BÖÇ'ün Bulunduğu Çerçeve Kolon ve Kiriş Kontrolleri

ETB binası AISC 310-10 LRFD'ye göre boyutlandırılmıştır. 1. Kat C4-5 aksları arasında kalan çaprazlarda gerekli kontroller yapılmış, yine bu çaprazlarla birlikte çerçeve sistemini oluşturan kolon ve kirişler de kontrol edilmiştir (Şekil 4.48, Şekil 4.49 ve Şekil 4.50).



Şekil 4.48 : Kontrol edilen BÖÇ'lü Çerçeve (Plan).

İzin Verilen Görelî Kat Ötelemeleri $\Delta_a^{a,b}$			
Yapı	Kullanım Türü		
	I ya da II	III	IV
Yığma/kargir yapılar dışında, 4 ya da daha az katlı olup iç duvarları, bölme duvarları, asma tavanları ve dış duvarları görelî kat ötelemesini sağlayacak şekilde tasarlanan yapılar	$0.025h_{sx}^c$	$0.020h_{sx}$	$0.015h_{sx}$
Duvarları konsol yığma/kargir yapılar ^d	$0.010h_{sx}$	$0.010h_{sx}$	$0.010h_{sx}$
Diğer yığma/kargir yapılar	$0.007h_{sx}$	$0.007h_{sx}$	$0.007h_{sx}$
Diğer tüm yapılar	$0.020h_{sx}$	$0.015h_{sx}$	$0.010h_{sx}$

a h_{sx} x. kat seviyesi altındaki katın yüksekliği

b D, E ve F deprem tasarım kategorisindeki, yalnızca moment çerçevelerinden oluşan sistemleri kapsayan depreme dayanıklı sistemler için izin verilen görelî kat ötelemeleri 12.12.1.1 bölümü koşullarını sağlayacaktır.

c Görelî kat ötelemelerini sağlamak için tasarlanmış iç duvarları, asma tavanı ve dış duvarları bulunan tek katlı yapılar için görelî kat öteleme sınırı yoktur. Bölüm 12.12.3' teki yapı bölünme (dilatasyon) koşulları yerine getirilmelidir.

d Ana yapı taşıyıcı sistemi yığma/kargir duvarlar olan ve temelinden konsol olarak tasarlanan düşey elemanlar. Duvarlar arasında moment transferinin terkedilebildiği

Şekil 4.51 : AISC-LRFD'ye göre görelî kat öteleme ölçütleri.

Tasarım kat ötelemeleri Δ , yerdeğiştirme büyütme katsayısı C_d ve Δ_x 'in bina önem katsayısı I 'ya bölünmesiyle hesaplanır. Δ_M tasarım kat ötelemesinin bir diğer terimidir. C_d ve I değerleri kullanılarak dışmerkez V çerçeveleri için tasarım kat ötelemeleri elde edilir (Çizelge 4.2).

Çizelge 4.2 : Dışmerkez V BÖÇ'lü çerçevenin tasarım kat ötelemelerinin kontrolü.

Kat No	Kat Yüksekliği	Elastik Kat Ötelemesi	Tasarım Kat Ötelemesi	İzin Verilen Kat Ötelemesi	Görelî Kat Ötelemesi Oranı	Tasarım Öteleme Oranı	İzin Verilen Öteleme Oranı
	h_{sx}	$\Delta_x (\Delta_E)$	$\Delta = \Delta_M$	Δ_a	θ_x	θ_M	(%)
	(mm)	(mm)	$\Delta = C_d * \Delta_x / I$	$\Delta_a = \%2 * h_{sx}$	$\theta_x = \Delta_x / h_{sx}$	$\theta_M = \Delta_M / h_{sx}$	$\theta_a = \Delta_a / h_{sx}$
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(%)	(%)	(%)
3	4250	16.80	84.00	85.00	0.0012	0.0060	2
2	4250	12.00	60.00	85.00	0.0015	0.0075	2
1	4760	5.40	27.00	90.80	0.0013	0.0065	2

4.13.2 Merkezi V BÖÇ'lü çelik çerçeve hesabı

Çaprazın gereken eksenel dayanımını hesaplamak için sistem hesaplarından alınan P_u değerleri ek D'de StarSeismicHesap.xls'de verilmektedir. Malzeme değişkenliği gözönünde bulundurularak tasarım dayanımı hesaplanır. Çelik çekirdek elemanın belirlenen minimum akma gerilmesi $f_y = 253 \text{ N/mm}^2$ 'dir. $F_{y,sc}$ BÖÇ'ün tasarım dayanımı hesaplanırken izin verilen en düşük değer olarak $f_{y,min} = 235 \text{ N/mm}^2$,

BÖÇ'ün arttırılmış dayanımları hesaplanırken izin verilen en büyük değer olarak $f_{y,max}=290\text{N/mm}^2$ kullanılmıştır; $\phi=0.9$ alınmıştır.

$$\phi P_n = \phi P_{ysc} = F_{ysc} A_{sc} \quad (4.2)$$

$$\text{İstem-Kapasite oranı} = \frac{P_u}{\phi P_{ysc}} \leq 1.00$$

elde edilir. Ek A'da StarSeismicHesap.xls'de bütün sonuçlar verilmektedir.

4.13.3 Arttırılmış çapraz dayanımlarının hesaplanması

Burkulmayı önleyen ortamda, çelik çekirdeğin yerel ve tümsel burkulması tasarım kat ötelemesinin 2 katına karşı gelen yerdeğiştirmesi ile sınırlıdır. Δ_{bm} tasarım kat ötelemesine karşı gelen yerdeğiştirme miktarını göstermektedir.

BÖÇ'ün çekirdek akma bölgesi uzunluğu L_{ysc} sistem uzunluğunun (L_{wp-wp} =work-point-to-work-point) 1/2'si kadar alınarak;

$$L_{ysc} = 0.5 L_{wp-wp} \text{ bulunmuştur.}$$

BÖÇ'ün elastik kat ötelemesine karşılık gelen eksenel şekil değıştirmesi Δ_{bx}

$$\Delta_{bx} = \frac{P_{max} L_{ysc}}{EA_{sc}} \quad (4.3)$$

$$E = 210000\text{N/mm}^2,$$

olarak hesaplanmıştır. Burada;

A_{sc} = Çekirdek elemanın net enkesit alanı,

P_{max} = En büyük elastik kat ötelemeleri Δ_x 'e karşı gelen eksenel yük değerini göstermektedir.

BÖÇ'ün tasarım kat ötelemesine karşı gelen şekil değıştirme miktarı Δ_{bm}

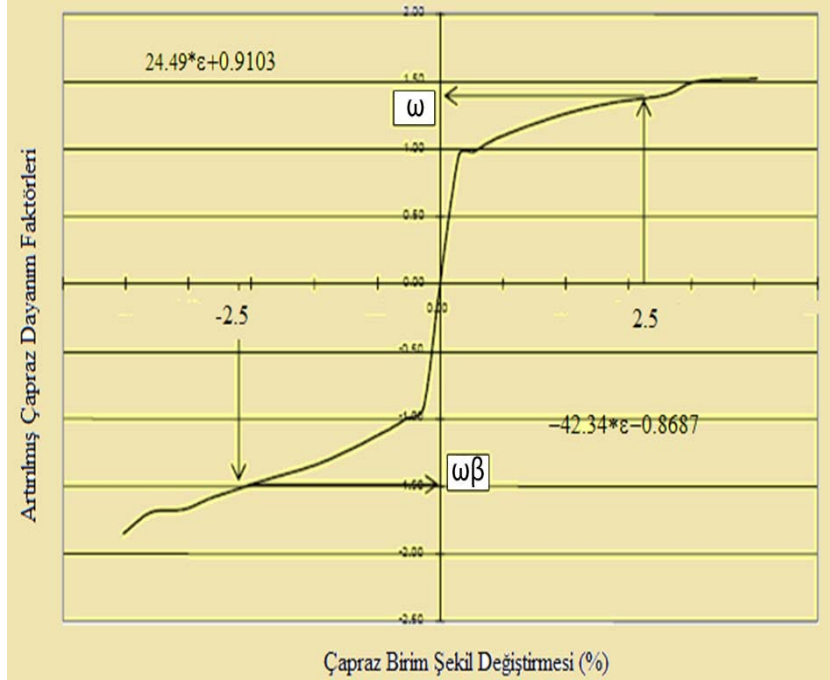
$$\Delta_{bm} = C_d \Delta_{bx} \quad (4.4)$$

ile hesaplanmaktadır.

BÖÇ'ün ortalama birim şekil değıştirme miktarı

$$\epsilon_{BRC} = \frac{2.0 \Delta_{bm}}{L_{ysc}} \quad (4.5)$$

olarak elde edilir. BÖÇ'ün birim şekil değiştirmesi hesaplandıktan sonra çekme ve basınçta arttırılmış çapraz dayanım katsayıları ω ve β deney sonuçlarından elde edilmektedir(Şekil 4.52).



Şekil 4.52 : Dayanım katsayıları - şekil değiştirme diyagramı.

BÖÇ'ün maksimum çekme dayanımı T_{max} ve maksimum basınç dayanımı C_{max} (P_{max}) malzeme özelliklerine göre $f_{y,max}$ akma dayanımı üst sınırı kullanılarak hesaplanır. Çekirdek elemanın belirlenen minimum akma gerilmesi $f_{y,min}=235N/mm^2$ alınmıştır.

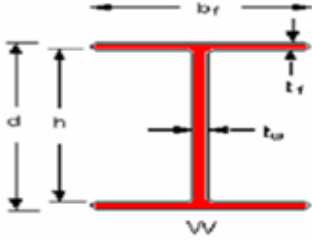
4.13.4 Kiriş tasarımı (C4-5 Aksı -1.kat kirişi)

Kiriş tasarım dayanımları, deprem sırasında oluşan taban kesme kuvvetinden meydana gelen eksenel, eğilme ve kesme değerlerinin; eksenel, eğilme ve kesme dayanımlarına karşı kontrol edilmesi gerekir.

Tasarım kat ötelemesinin iki katına kadar BÖÇ'ün yerdeğiştirmesi istenmediğinden, arttırılmış BÖÇ dayanımlarının $2.0\Delta_{bm}$ olması koşuluna bakılmalıdır. Çekme ve basınçta arttırılmış çapraz dayanımları sırasıyla T_{max} ve C_{max} (P_{max}) değerleri ekteki iteration3.xls'de verilmiştir T_{max} değerleri kirişte çekme kuvvetleri oluşturduklarından BÖÇ dayanımlarını kontrol etmezken, C_{max} (P_{max}) değerleri kirişte oldukça büyük basınç kuvvetleri oluşturup kiriş dayanımlarını kontrol ederler. Kiriş tasarımı kontrolleri için ETABS modelinden alınan kesit tesirleri, çelik malzeme özellikleri ve kiriş enkesit özellikleri Çizelge 4.3'te verilmiştir.

Çizelge 4.3 : Kontrol edilecek kiriş özellikleri(C4-5 aksı 1. kat kirişi).

ETABS modelinden alınan kesit tesirleri değerleri					
$M_u =$	128.2kNm	$V_u =$	118kN	$P_u =$	34kN
Seçilen Çelik Kalitesi :	S275 JR	$E =$	210kN/mm ²	$F_y =$	0.235kN/mm ²
Seçilen Kiriş Kesiti: HEA360					

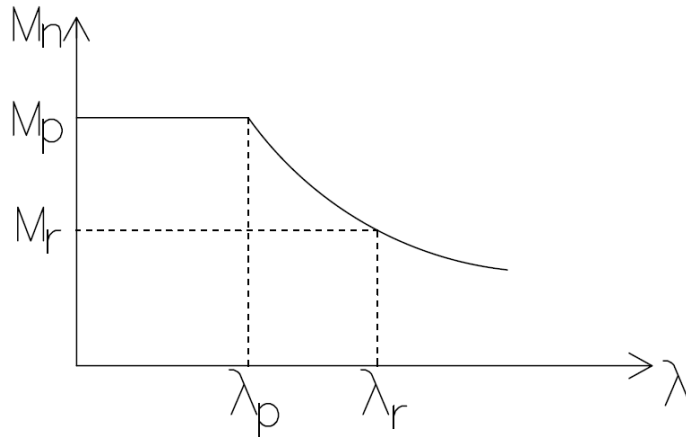


Kesit Özellikleri:					
$b_f =$	300mm	$t_f =$	17.5mm		
$d =$	350mm	$t_w =$	10mm		
$A_g =$	14300mm ²	$r_x =$	152.12mm	$r_y =$	74.3mm
				$Z_x =$	2088000mm ³

Genişlik/Kalınlık (narinlik) oranları (AISC LRFD 360-10)

Yapının süneklik düzeyine göre çelik kiriş ve kolonların minimum enkesit koşulları, elemanların yerel stabilite problemlerine uğramadan akma gerilmesine ulaşabilmeleri amacı ile deprem bölgelerinde mutlaka kontrol edilmelidir. λ_p kompakt elemanlar için narinlik sınırı, λ_r kompakt olmayan elemanlar için narinlik sınırı olmak üzere Şekil 4.53'te gösterilmektedir. Ayrıca aşağıda elemanlara göre bir sınıflandırma da yapılmıştır:

Kompakt kesit : $\lambda \leq \lambda_p$ bütün elemanlar için
 Kompakt olmayan kesit : $\lambda_p < \lambda \leq \lambda_r$
 Narin kesit : $\lambda > \lambda_r$



Şekil 4.53 : Kompakt ve kompakt olmayan elemanlar için narinlik sınırları.

Başlıkta: $\lambda_{ps} = 0.3 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 8.97$, $\frac{b_f}{2t_f} = 8.57 < \lambda_{ps} = 8.79$

Gövdede: $C_a = \frac{P_u}{\phi_b P_y} = \frac{34}{0.9 * 14300 * 0.235} = 0.01$ (Taşıma gücü tasarımına göre)

$\lambda_{ps} = 1.12 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \left(2.33 - \frac{P_u}{\phi_b F_y A_g} \right) = 77.67$, $\frac{h}{t_w} = 31.5 < \lambda_{ps} = 77.67$

Seçilen kesit elemanı kompakttır. Seçilen kesit kompakt olduğundan ($\lambda < \lambda_p$)

başlığın ve gövdenin yerel burkulmasının kontrol edilmesine gerek yoktur.

Kirişin eksenel basınç kapasitesi (AISC LRFD 310-10)

$l_x = \frac{L}{2}$, $l_y = L$ ve etkin burkulma katsayısı $k = 0.7$ alınmıştır.

$$\lambda_{c1} = \frac{kl_x}{\pi} \sqrt{\frac{F_y}{E}} = \frac{0.7 \times 3600}{3.14 \times 152.12} \times \sqrt{\frac{0.290}{210}} = 0.196$$

$$\lambda_{c2} = \frac{kl_y}{\pi} \sqrt{\frac{F_y}{E}} = \frac{0.7 \times 7200}{3.14 \times 74.3} \times \sqrt{\frac{0.290}{210}} = 0.803$$

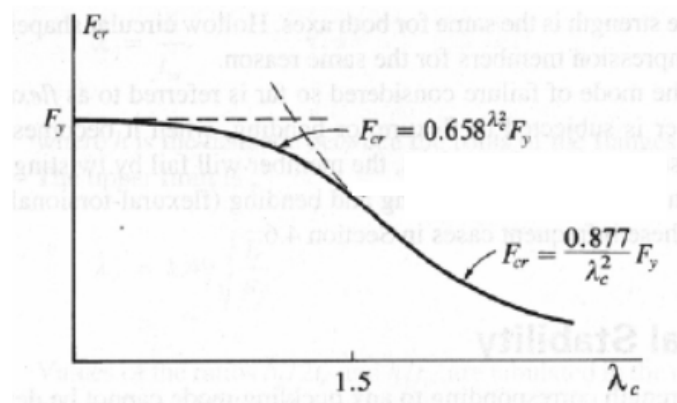
Narinlik oranlarından en büyük olanı alınarak,

$$\lambda_c = \max(\lambda_{c1}, \lambda_{c2}) = 0.803$$

şeklinde bulunmuştur.

Kritik basınç gerilmesi $\lambda_c < 1.5$ olduğundan (Şekil 4.54)

$$F_{cr} = \begin{cases} 0.658^{\lambda_c^2} F_y, & \text{eğer } \lambda_c < 1.5 \text{ ise} \\ \frac{0.877}{\lambda_c^2} F_y, & \text{eğer } \lambda_c \geq 1.5 \text{ ise} \end{cases}$$



Şekil 4.54 : Basınç kuvveti-Narinlik ilişkisi.

$$F_{cr} = 0.658^{\lambda_c^2} F_y = 0.658^{0.782^2} \times 0.275 = 0.221 \text{ kN} / \text{mm}^2$$

ve basınç dayanımı azaltma katsayısı $\phi_c=0.85$ alınarak eksenel tasarım basınç dayanımı

$$\phi_c P_n = \phi_c F_{cr} A_g = 0.85 \times 0.221 \times 14300 = 2686 \text{ kN}$$

olarak elde edilmiştir.

Gereken eksenel basınç dayanımı $P_u=34\text{kN}$ olduğuna göre eksenel basınç kapasite oranı,

$$\frac{P_u}{\phi_c P_n} = 0.0126 \text{ olur. Kesit güvenlidir.}$$

Kirişin eğilme kapasitesi (AISC LRFD 310-10)

L_b yanal burkulma boyu,

$$L_b = 7200 \text{ mm} > L_p = 3910 \text{ mm} \text{ 'dir.}$$

L_p üniform moment durumunda ($C_b \geq 1$) tam plastik eğilme dayanımı için yanal burkulma uzunluğu

$$L_p = 1.76 r_y \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 3910 \text{ mm} \text{ alınmaktadır.}$$

L_r elastik olmayan yanal burkulma için burkulma sınır uzunluğu

$$L_r = \frac{r_y X_1}{F_L} \sqrt{1 + \sqrt{1 + X_2 F_L^2}} = \frac{74.27 \times 22.12}{0.21} \times \sqrt{1 + \sqrt{1 + 23.46 \cdot 0.21^2}} = 12186 \text{ mm}$$

bağıntılarıyla hesaplanmaktadır. Bu bağıntılarda $F_L = F_y - F_r$ olup hibrid olmayan elemanlar için bu yol izlenmektedir. Aksi durumda, $F_{yf} - F_r$ ya da $F_{yw} - F_r$ olarak alınmalıdır (f ve w indisleri sırasıyla başlık ve gövde'yi ifade etmektedir). F_r başlıkta yığılmış artık gerilme olup hadde profillerde 68.95 N/mm^2 , kaynaklı yapma profillerde 113.77 N/mm^2 'dir. C_w (HE360A, çarpılma katsayısı) 1.805 dm^6 , G (çeliğin kayma modülü) 77.224 kN/mm^2 , J (polat atalet momenti) 153000 mm^4 , S_x (elemanın kuvvetli eksenindeki mukavemet momenti) 1890857.14 mm^3 dir.

$$X_1 = \frac{\pi}{S_x} \sqrt{\frac{EGJA}{2}} = \frac{3.14}{1890857.14} \times \sqrt{\frac{210 \times 77.224 \times 153000 \times 14300}{2}} = 22.12 \text{ kN} / \text{mm}^4$$

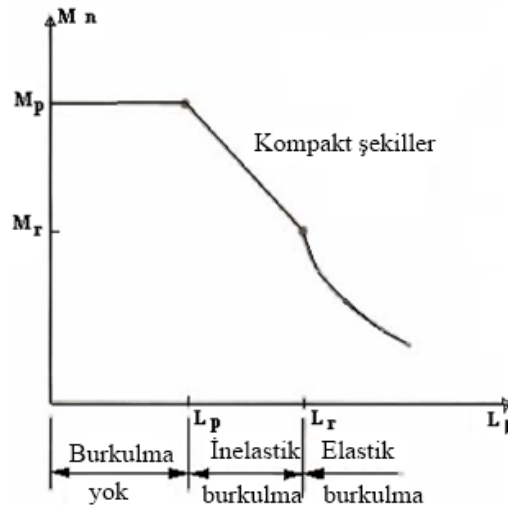
$$X_2 = \frac{4C_w}{I_y} \left(\frac{S_x}{GJ} \right)^2 = \frac{4 \times 1.805 \times 10^{12}}{78870000} \times \left(\frac{1890857.14}{153000 \times 77.224} \right)^2 = 23.46 \text{ mm}^4 / \text{kN}^2$$

Bu bağıntılarda S_x kesitin yarısının (x-x) asal eksenine göre statik momentini, I_y kesitin (y-y) asal eksenine göre atalet momentini ve r_y (y-y) asal eksenine göre atalet yarıçapını göstermektedir.

M_r burkulma sınır momenti ($\lambda = \lambda_c$ ve $C_b = 1.0$)

$$M_r = F_L S_x = (0.290 - 0.069) \times 1890857.14 = 417.90 \text{ kNm}$$

şeklinde bulunmuştur. Kompakt şekiller için yanal burkulma uzunluğu ile nominal eğilme dayanımı arasındaki ilişki Şekil 4.55'te görülmektedir.



Şekil 4.55 : Eğilme momenti kapasitesi-yanal burkulma uzunluğu ilişkisi.

Çizelge 4.4 ile yanal burkulma uzunluğuna göre nominal eğilme dayanımının hesaplanması gösterilmiştir (AISC-LRFD-2010).

Çizelge 4.4 : Yanal burkulmaya bağlı nominal eğilme momenti hesabı.

$L_b \leq L_p$ ise yanal burkulma yok	$M_n = M_p \leq 1.5 M_y$
$L_p < L_b < L_r$ ise elastik olmayan yanal burkulma var	$M_n = C_b \left[M_p - (M_p - M_r) \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \leq M_p$
$L_b > L_r$ ise (narin eleman) elastik yanal burkulma var	$M_n = M_{cr} = C_b \frac{\pi}{L_b} \sqrt{EI_y GJ + \left(\frac{\pi E}{L_b} \right)^2 I_y C_w} \leq M_p$

C_b yanal burkulma boyu üzerinde üniform olmayan eğilme momentini dikkate alan bir katsayı olmak üzere M_p plastikleşme momenti,

$$M_p = F_y \cdot Z_x \leq 1.5 M_y$$

$$M_p = 0.290 \times 2088000 \leq 1.5 \times 0.290 \times 1890857.14$$

$$M_p = 605.52 \text{ kNm} \leq 822.5 \text{ kN / m}$$

$C_b =$ (Dikkate alınan yüklere bağlı olarak bilgisayar analizinden alınır.)

$L_p > L_r$ ise elastik yanal burkulma var:

$$M_n = M_{cr} = C_b \frac{\pi}{L_b} \sqrt{EI_y GJ + \left(\frac{\pi E}{L_b}\right)^2 I_y C_w} \leq M_p$$

$$M_{n1} = \frac{3.14}{7200} \sqrt{210 \times 78870000 \times 77.224 \times 1530000 + \left(\frac{3.14 \cdot 210}{7200}\right)^2 \times 78870000 \times 1.805 \times 10^{12}} = 774.14 \text{ kNm} < M_p$$

$$M_n = \min(M_p, M_{n1}) = 605.52 \text{ kNm}$$

Tasarım eğilme dayanımı,

$$\phi_b M_n = 0.9 \times 605.52 = 545 \text{ kNm}$$

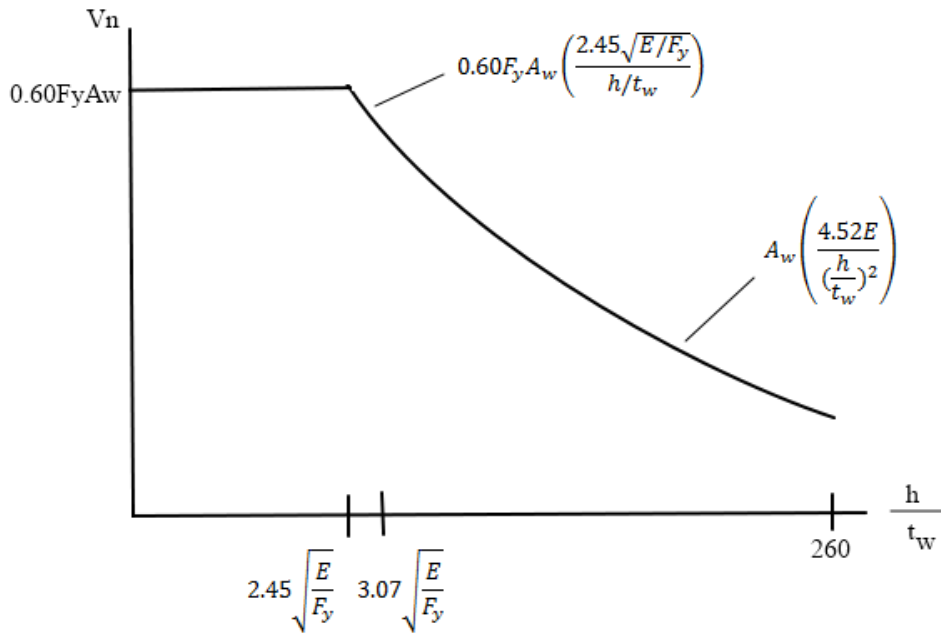
Kirişin eğilme-kapasite oranı,

$$\frac{M_u}{\phi_b M_n} = \frac{128.2}{545} = 0.235$$

olarak hesaplanır, kiriş boyutları yeterlidir.

Kirişin kesme kapasitesi (AISC LRFD 310-10)

ϕ_v kesme dayanımı azaltma katsayısı, $A_w = dt_w$ seçilen kesitin gövde alanı ve gövdesi eğilmeli basınç etkisindeki kiriş için narinlik koşulu ve kesme kapasitesi arasındaki ilişki Şekil 4.56'da görülmekte olup genişlik/kalınlık oranı ile nominal kesme dayanımının bulunması özetlenmiştir (AISC 2010 Table-I-8-1)



Şekil 4.56 : Narinlik koşulu ve kesme kapasitesi arasındaki ilişki.

Nominal kesme dayanımı ise aşağıda gösterilmekte ve kirişin kesme dayanımları bu formüldeki uygun bölüme göre hesaplanmaktadır.

$$V_n = \begin{cases} 0.60 F_{yw} A_w & \frac{h}{t_w} \leq 2.45 \sqrt{\frac{E}{F_{yw}}} & (4.6) \\ 0.60 F_{yw} A_w \left(\frac{2.45 \sqrt{E / F_{yw}}}{h / t_w} \right) & 2.45 \sqrt{\frac{E}{F_{yw}}} < \frac{h}{t_w} \leq 3.07 \sqrt{\frac{E}{F_{yw}}} & (4.7) \\ A_w \left[\frac{4.52 E}{(h / t_w)^2} \right] & 3.07 \sqrt{\frac{E}{F_{yw}}} < \frac{h}{t_w} \leq 260 & (4.8) \end{cases}$$

$$\frac{h}{t_w} < \lambda_{ps} = 2.45 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (\text{gövdede stabilite sorunu yok}) \text{ ve } \phi_v = 0.9 \text{ olduğuna göre } V_n$$

nominal kesme dayanımı,

$$V_n = 0.6 F_y A_w = 0.6 \times 0.290 \times 350 \times 10 = 609 \text{ kN}$$

$$\phi_v V_n = 0.9 \times 609 = 548.1 \text{ kN}$$

şeklinde bulunmuştur.

Kirişin kesme kapasite oranı ile

$$\frac{V_u}{\phi_v V_n} = \frac{118}{548.1} = 0.215$$

olarak elde edilir; kiriş kesme kapasitesi bakımından yeterlidir.

Eğilme momenti ve eksenel basınç kuvveti etkileşimi (AISC LRFD 310-10)

Eğilme momenti ve eksenel basınç etkileşimine ilişkin bağıntılar Çizelge 4.5'te verilmektedir.

Çizelge 4.5 : Eğilme ve eksenel basınç etkileşimi bağıntıları.

Eğer $\frac{P_u}{\phi_c P_n} \geq 0.2$ ise	$\frac{P_u}{\phi_c P_n} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{ux}}{\phi_b M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b M_{ny}} \right) \leq 1$
Eğer $\frac{P_u}{\phi_c P_n} < 0.2$ ise	$\frac{P_u}{2\phi_c P_n} + \left(\frac{M_{ux}}{\phi_b M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b M_{ny}} \right) \leq 1$

$$F_i = -T_{\max_i} \sin 41 - C_{\max_i} \sin 41 + T_{\max_{i+1}} \cos 50 + C_{\max_{i+1}} \cos 50 - V_{c(i+1)} + V_{c(i)}$$

$$F_i = -1743x \sin 41 - 1989x \sin 41 + 773x \cos 50 + 881x \cos 50 - 34.8 + 27.70 = -1392.34kN$$

$$P_i = T_{\max_i} \sin 41 + \frac{F_i}{2} = 1743.00x \sin 41 - \frac{1385.24}{2} = 450.89kN$$

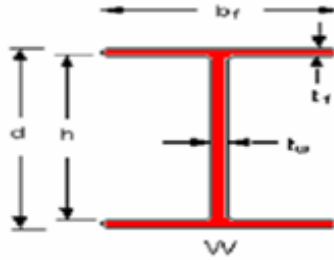
$$P_j = P_i - T_{\max_{i+1}} \cos 50 - C_{\max_{i+1}} \cos 50 = 450.89 - 773.00x \cos 50 - 881.00x \cos 50 = -612.28kN$$

$$P_u = \max(P_i, P_j) = (450.89; -612.28) = 450.89kN$$

4.13.5 Kiriş tasarımı (C4-5 Aksı -2. kat kirişi)

Kiriş tasarımı kontrolleri için ETABS modelinden alınan kesit tesirleri, çelik malzeme özellikleri ve kiriş enkesit özellikleri Çizelge 4.6'da verilmiştir.

Çizelge 4.6 : Kontrol edilecek kiriş özellikleri (C4-5 aksı 2. kat kirişi).

ETABS modelinden alınan kesit tesirleri değerleri					
$M_u =$	90kNm	$V_u =$	70kN	$P_u =$	10.8kN
Seçilen Çelik Kalitesi :	S 275 JR	$E =$	210kN/mm ²	$F_y =$	0.235kN/mm ²
Seçilen Kiriş Kesiti: HEA360					
					
Kesit Özellikleri:					
$b_f =$	300mm	$t_f =$	17.5mm		
$d =$	350mm	$t_w =$	10mm		
$A_g =$	14300mm ²	$r_x =$	152.12mm	$r_y =$	74.3mm
				$Z_x =$	2088000mm ³

Gövdede genişlik/kalınlık (narinlik) oranları (AISC 310-10)

Başlıkta: $\lambda_{ps} = 0.3 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 8.97$, $\frac{b_f}{2t_f} = 8.57 < \lambda_{ps} = 8.79$

Gövdede: $C_a = \frac{P_u}{\phi_b P_y} = \frac{P_u}{\phi_b A_g F_y} = \frac{10.78}{0.9 \times 14300 \times 0.235} = 0.004$ (Taşıma gücü

tasarımına göre)

$$\lambda_{ps} = 1.12 \sqrt{\frac{E}{F_y} \left(2.33 - \frac{P_u}{\phi_b F_y A_g} \right)} = 78$$
 , $\frac{h}{t_w} = 31.5 < \lambda_{ps} = 78$

Seçilen kesit elemanı kompakttır. Seçilen kesit kompakt olduğundan ($\lambda < \lambda_p$) başlığın ve gövdenin yerel burkulmasının kontrol edilmesine gerek yoktur.

Kirişin eksenel basınç kapasitesi (AISC LRFD 310-10)

Brinci kattaki kiriş ile kesit özellikleri aynı olduğu için kritik basınç gerlimesi değeri $F_{cr}=0.221\text{kN/mm}^2$ olarak alınmıştır. Basınç dayanımı azaltma katsayısı $\phi_c=0.85$ alınarak eksenel tasarım basınç dayanımı

$$\phi_c P_n = \phi_c F_{cr} A_g = 0.85 \times 0.221 \times 14300 = 2686 \text{ kN}$$

olarak elde edilir.

Gereken eksenel basınç dayanımı $P_u=10.78$ kN olduğuna göre eksenel basınç kapasite oranı,

$$\frac{P_u}{\phi_c P_n} = \frac{10.78}{2686} = 0.004 \text{ olur. Kesit güvenlidir.}$$

Kirişin eğilme kapasitesi (AISC LRFD 310-10)

Kiriş 1/4 noktalarından tutulu olduğundan dolayı L_b yanal burkulma boyu $L_b=7200/4= 1800\text{mm}$ olarak elde edilir.

$$L_p = 1.76 r_y \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 3910 \text{ mm} \text{ ve } L_p > L_b \text{ olduğundan kirişte yanal burkulma yoktur.}$$

Tasarım eğilme dayanımı (izelge 4.3)

$$\phi_b M_n = 696.73 \text{ kNm} \text{ olarak elde edilir.}$$

Kirişin eğilme-kapasite oranı,

$$\frac{M_u}{\phi_b M_n} = \frac{90}{696.73} = 0.129$$

olarak hesaplanır, kiriş boyutları yeterlidir.

Kirişin kesme kapasitesi (AISC LRFD 310-10)

Bölüm 4.13.4 'te (4.6) bağıntısı kullanılarak

$$\phi_v V_n = 0.9 \times 0.6 \times F_y \times A_w = 0.9 \times 0.6 \times 0.290 \times 350 \times 10 = 548.1 \text{ kN}$$

şeklinde hesaplanmıştır. Kirişin kesme kapasite oranı,

$$\frac{V_u}{\phi_v V_n} = \frac{70}{548.1} = 0.128$$

olarak elde edilir, kiriş kesme kapasitesi bakımından yeterlidir.

Eğilme momenti ve aksenal basınç kuvveti etkileşimi (AISC LRFD 310-10)

Bölüm 4.13.4 'te Çizelge 4.5'ten yararlanılarak;

$$R \text{ istem-kapasite oranı } \frac{P_u}{\phi_c P_n} = \frac{10.78}{2686} = 0.004 < 0.2 \quad \text{ve} \quad \frac{M_u}{\phi_b M_n} = \frac{90}{696.73} = 0.129$$

olduğundan

$$\frac{10.78}{2 \times 2686} + \frac{90}{696.73} = 0.131 < 1$$

olarak hesaplanır. Bu bakımdan da sorun bulunmamaktadır.

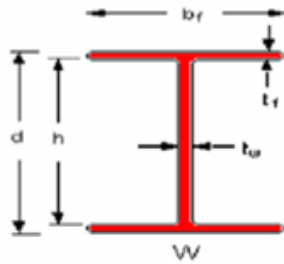
4.13.6 Kolon tasarımı (C4 -1 Aksı 1. kat kolonu)

Taban kesme kuvvetinden gelen tasarım dayanımlarının kontrolü

Kolon tasarımı kontrolleri için ETABS modelinden alınan kesit tesirleri, çelik malzeme özellikleri ve kiriş enkesit özellikleri Çizelge 4.7'de verilmiştir

Çizelge 4.7 : Kontrol edilecek kolon özellikleri (C4-5 aksı 1.kat kolonu).

ETABS modelinden alınan kesit tesirleri değerleri					
$M_u =$	41.9kNm	$V_u =$	34.8kN	$P_u =$	2524.11kN
Seçilen Çelik Kalitesi : S275 JR		$E =$	210kN/mm ²	$F_y =$	0.235kN/mm ²
Seçilen Kiriş Kesiti: HEA360					



Kesit Özellikleri:					
$b_f =$	300mm	$t_f =$	28mm		
$d =$	500mm	$t_w =$	14.5mm		
$A_g =$	23900mm ²	$r_x =$	211.8mm	$r_y =$	72.67mm
				$Z_x =$	4815000mm ³

Genişlik/Kalınlık (narinlik) oranları (AISC LRFD 310-10)

$$\text{Başlıkta: } \lambda_{ps} = 0.3 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 8.97 \quad , \quad \frac{b_f}{2t_f} = 5.36 < \lambda_{ps} = 8.97$$

$$\text{Gövdede: } C_a = \frac{P_u}{\phi_b P_y} = \frac{P_u}{\phi_b A_g F_y} = 0.43 \quad (\text{Taşıma gücü tasarımına göre})$$

$$\lambda_{ps} = 1.12 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \left(2.33 - \frac{P_u}{\phi_b F_y A_g} \right) = 63.6 \quad , \quad \frac{h}{t_w} = 30.62 < \lambda_{ps} = 63.6$$

Seçilen kesit elemanı kompakttır. Seçilen kesit kompakt olduğundan ($\lambda < \lambda_p$) başlığın ve gövdenin yerel burkulmasının kontrol edilmesine gerek yoktur.

Eksenel basınç kapasitesi (AISC LRFD 310-10)

$l_x = L$, $l_y = L$ ve etkin burkulma katsayısı $k = 1.0$ 'dır.

$$\lambda_{c1} = \frac{kl_x}{\pi \sqrt{E}} = \frac{4540}{3.14 \times 211.79} \times \sqrt{\frac{0.235}{210}} = 0.228$$

$$\lambda_{c2} = \frac{kl_y}{\pi \sqrt{E}} = \frac{4540}{3.14 \times 72.67} \times \sqrt{\frac{0.235}{210}} = 0.666$$

Narinlik oranlarından büyük olanı alınarak,

$$\lambda_c = \max(\lambda_{c1}, \lambda_{c2}) = 0.666$$

olarak elde edilir. Burada $\lambda_c \leq 1.5$ olduğundan kritik basınç gerilmesi,

$$F_{cr} = 0.658^{\lambda_c^2} F_y = 0.658^{0.666^2} \times 0.290 = 0.240 \text{ kN} / \text{mm}^2$$

ve basınç dayanımı azaltma katsayısı $\phi_c = 0.85$ alınarak eksenel tasarım basınç dayanımı,

$$\phi_c P_n = \phi_c F_{cr} A_g = 0.85 \times 0.240 \times 23900 = 4875.6 \text{ kN}$$

olarak elde edilir. Gereken eksenel basınç dayanımı $P_u = 2524.11 \text{ kN}$ olduğuna göre eksenel basınç kapasite oranı,

$$\frac{P_u}{\phi_c P_n} = \frac{2524.11}{4875.6} = 0.518 \text{ olur. Kesit güvenlidir.}$$

Kolon eğilme kapasitesi (AISC LRFD 310-10)

$L_b = 4540mm > L_p = 1.76r_y \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 3823.35mm$ ve $C_b = 1$ alınmaktadır. Buna göre

M_p plastik eğilme dayanımı

$$M_p = F_y \frac{Z_x}{12} = 0.290 \times \frac{4815000}{12} = 116.36kNm \text{ olarak hesaplanır.}$$

L_r elastik olmayan yanal burkulma için burkulma sınır uzunluğu),

$$L_r = \frac{r_y X_1}{F_L} \sqrt{1 + \sqrt{1 + X_2 F_L^2}} = \frac{72.67 \times 23.86}{0.21} \times \sqrt{1 + \sqrt{1 + 10.64 \cdot 0.21^2}} = 18264.77mm$$

bağıntılarıyla hesaplanmaktadır. Bu bağıntılarda $F_L = F_y - F_r$ olup hibrid olmayan elemanlar için bu yol izlenmektedir. Aksi durumda, $F_{yf} - F_r$ ya da $F_{yw} - F_r$ olarak alınmalıdır (f ve w indisleri sırasıyla başlık ve gövde'yi ifade etmektedir). F_r başlıkta yığılmış artık gerilme olup hadde profillerde $68.95N/mm^2$, kaynaklı yapma profillerde $113.77N/mm^2$ alınmaktadır. C_w (HE500B, çarpılma katsayısı) $3.27dm^6$, G (çeliğin kayma modülü) $77.224kN/mm^2$, J (polar atalet momenti) $5480000mm^4$, S_x (elemanın kuvvetli eksenindeki mukavemet momenti) $4288000mm^3$ dir.

$$X_1 = \frac{\pi}{S_x} \sqrt{\frac{EGJA}{2}} = \frac{3.14}{4288000} \times \sqrt{\frac{210 \times 77.224 \times 5480000 \times 23900}{2}} = 23.86kN/mm^4$$

$$X_2 = \frac{4C_w}{I_y} \left(\frac{S_x}{GJ} \right)^2 = \frac{4 \times 3.27 \times 10^{12}}{1.262 \times 10^8} \times \left(\frac{4288000}{5480000 \times 77.224} \right)^2 = 10.64mm^4/kN^2$$

Bu bağıntılarda S_x kesitin yarısının (x-x) asal eksenine göre statik momentini, I_y kesitin (y-y) asal eksenine göre atalet momentini ve r_y (y-y) asal eksenine göre atalet yarıçapını göstermektedir.

M_r burkulma sınır momenti ($\lambda = \lambda_c$ ve $C_b = 1.0$)

$$M_r = F_L S_x = (0.290 - 0.069) \times 4288000 = 947.65kNm$$

şeklinde hesaplanmıştır.

Nominal eğilme dayanımı,

$$M_{n1} = C_b \left[M_p - (M_p - M_r) \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \quad (4.9)$$

$$\left[M_{n1} = 116.36 - (116.36 - 947.65) \times \left(\frac{4540 - 3823.35}{18264.77 - 3823.35} \right) \right] = 157.59 < M_p$$

olarak elde edilir.

$$M_n = \min(M_p, M_{n1}) = 157.59 \text{ kNm} \text{ alınarak}$$

$$\phi_b M_n = 0.9 \times 157.59 = 141.83 \text{ kNm}$$

elde edilir.

Kolonun eğilme-kapasite oranı;

$$\frac{M_u}{\phi_b M_n} = \frac{41.9}{141.83} = 0.30$$

olarak hesaplanır, kolon boyutu yeterlidir.

Kolon kesme kapasitesi (AISC LRFD 310-10)

$$\phi_v = 0.9 \text{ alınarak} \quad A_w = d t_w = 500 \times 14.5 = 7250 \text{ mm}^2 \text{ hesaplandıktan sonra}$$

Bölüm 4.13.4 'te (4.6) bağıntısı kullanılarak;

$$V_n = 0.6 F_y A_w = 0.6 \times 0.290 \times 7250 = 1261.5 \text{ kN}$$

$$\phi_v V_n = 0.9 \times 1261.5 = 1135.4 \text{ kN}$$

elde edilir. Kolonun kesme kapasitesi oranı,

$$\frac{V_u}{\phi_v V_n} = \frac{34.8}{1135.4} = 0.03$$

olarak elde edilir; kolon kesme kapasitesi bakımından yeterlidir.

Eğilme momenti ve eksenel basınç kuvveti etkileşimi (AISC LRFD 310-10)

Bölüm 4.13.4 'te Çizelge 4.5'ten yararlanılarak;

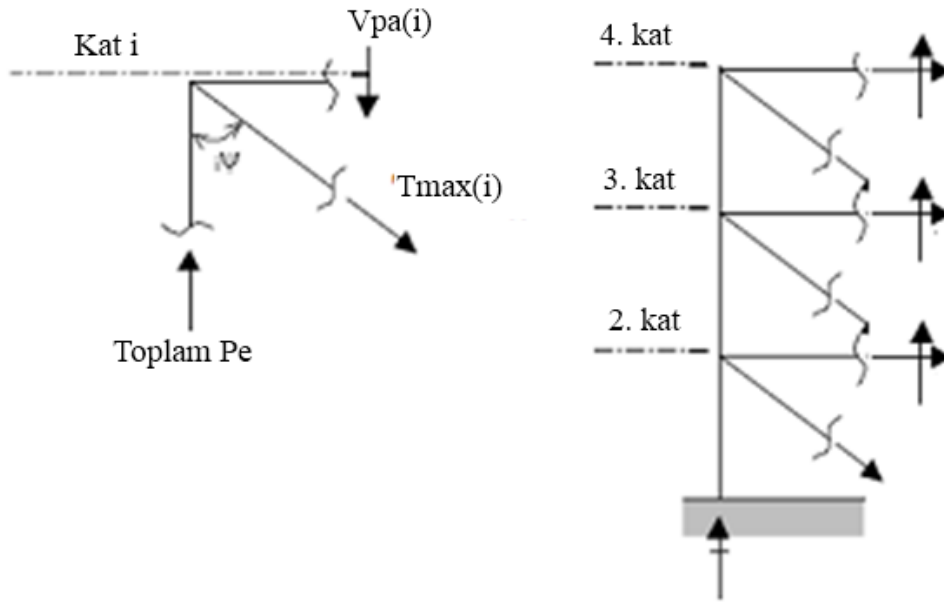
$$R \text{ istem-kapasite oranı } \frac{P_u}{\phi_c P_n} = \frac{2524.11}{4875.6} = 0.518 \geq 0.2 \text{ olduğundan}$$

$$R = \frac{P_u}{\phi_c P_n} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_u}{\phi_b M_n} \right) = 0.518 + \frac{8}{9} \times 0.30 = 0.785 < 1$$

olarak hesaplanır. Bu bakımdan da sorun bulunmamaktadır.

Tasarım kat ötelemesinin iki katına karşı gelen yerdeğiştirmeden ($2\Delta_{bm}$) gelen tasarım dayanımlarının kontrolü

Şekil 4.58'de kat düğüm noktaları ve kesit tesirleri gösterilmiştir. Buna bağılı olarak kolona gelen eksenel yük dayanımı hesaplanmıştır.



Şekil 4.58 : Kat düğüm noktaları ve kesit tesirleri gösterimi.

C 4 - 5 aksları arasındaki 1. kat kirişinin net açıklığı, $L' = 7200mm$ 'dir.

Çizelge 4.8'de 1. kat kolonunda $2.0\Delta_{bm}$ 'den kaynaklanan eksenel dayanımı $P_u = 3739.29kN$ olarak hesaplanmıştır.

$\phi_c P_n = 4875.6kN > P_u = 3739.29kN$ olduğundan tasarım kat ötelemeleri dayanımı bakımından kesit güvenlidir.

Çizelge 4.8 : C4 aksı 1.kat kolonunun $2.0\Delta_{bm}$ 'deki gereken eksenel dayanımı.

Her Kat Kolon- Kiriş Düğüm No.	Vpa (kN)	$P_{D,L}$	BÖÇ T_{max} (kN)	BÖÇ $T_{max} \cdot \cos 41$ (kN)	Kolon ΣP_E (kN)
4	147.31	151.2	483.00	364.53	663.04
3	109.94	302.4	773.00	583.39	1185.34
2	121.85	453.6	1743.00	1315.46	1890.91
					3739.29

4.13.7 Kolon tasarımı (C4 -1 Aksı 2. kat kolonu)

Kolon tasarımı kontrolleri için ETABS modelinden alınan kesit tesirleri, çelik malzeme özellikleri ve kiriş enkesit özellikleri Çizelge 4.9'da verilmiştir

Çizelge 4.9 : Kontrol edilecek kolon özellikleri (C4-5 aksı 2.kat kolonu).

ETABS modelinden alınan kesit tesirleri değerleri					
$M_u =$	35.5kNm	$V_u =$	27.7kN	$P_u =$	1917.21kN
Seçilen Çelik Kalitesi :	S275 JR	$E =$	210kN/mm ²	$F_y =$	0.235kN/mm ²
Seçilen Kiriş Kesiti: HEA360					
Kesit Özellikleri:					
$b_f =$	300mm	$t_f =$	28mm		
$d =$	500mm	$t_w =$	14.5mm		
$A_g =$	23900mm ²	$r_x =$	211.8mm	$r_y =$	72.67mm
				$Z_x =$	4815000mm ³

Gövdede genişlik/kalınlık (narinlik) oranları (AISC LRFD 310-10)

Gövdenin narinliği yüksek kuvvet seviyelerinde tekrar araştırılmalıdır. $P_u \geq 2.0\Delta b_m$ şekil değiştirme miktarına uyacak şekilde alınır.

$$\text{Başlıkta: } \lambda_{ps} = 1.12 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \left(2.33 - \frac{P_u}{\phi_b F_y A_g} \right) = 56.9 \quad , \quad \frac{h}{t_w} = 30.62 < \lambda_{ps} = 56.9$$

$$C_a = \frac{P_u}{\phi_b P_y} = \frac{P_u}{\phi_b A_g F_y} = 0.63 > 0.125 \quad (\text{Taşıma gücü tasarımına göre})$$

$$\lambda_{ps} = 1.12 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \left(2.33 - \frac{P_u}{\phi_b F_y A_g} \right) = 63.6 \quad , \quad \frac{h}{t_w} = 30.62 < \lambda_{ps} = 63.6$$

Seçilen kesit elemanı kompakttır. Seçilen kesit kompakt olduğundan ($\lambda < \lambda_p$) başlığın ve gövdenin yerel burkulmasının kontrol edilmesine gerek yoktur.

Eksenel basınç kapasitesi (AISC LRFD 310-10)

$l_x = L$, $l_y = L$ ve etkin burkulma katsayısı $k = 1.0$ 'dır.

$$\lambda_{c1} = \frac{kl_x}{\pi r_x} \sqrt{\frac{F_y}{E}} = \frac{4540}{3.14 \times 211.79} \times \sqrt{\frac{0.235}{210}} = 0.228$$

$$\lambda_{c2} = \frac{kl_y}{\pi r_y} \sqrt{\frac{F_y}{E}} = \frac{4540}{3.14 \times 72.67} \times \sqrt{\frac{0.235}{210}} = 0.666$$

Narinlik oranlarından büyük olanı alınarak,

$$\lambda_c = \max(\lambda_{c1}, \lambda_{c2}) = 0.666$$

olarak elde edilir. Burada $\lambda_c \leq 1.5$ olduğundan kritik basınç gerilmesi,

$$F_{cr} = 0.658^{\lambda_c^2} F_y = 0.658^{0.666^2} \times 0.290 = 0.240 \text{ kN} / \text{mm}^2$$

ve basınç dayanımı azaltma katsayısı $\phi_c = 0.85$ alınarak eksenel tasarım basınç dayanımı,

$$\phi_c P_n = \phi_c F_{cr} A_g = 0.85 \times 0.240 \times 23900 = 4875.6 \text{ kN}$$

olarak elde edilir. Gereken eksenel basınç dayanımı $P_u = 1917.21 \text{ kN}$ olduğuna göre eksenel basınç kapasite oranı,

$$\frac{P_u}{\phi_c P_n} = \frac{1917.21}{4875.6} = 0.39 \text{ olur. Kesit güvenlidir.}$$

Sonuç olarak, kolon ve kiriş için yapılan kontrollerden elde edilen bilgilere göre kullanılan kesitlerin tasarımı yapılan BÖÇ için kullanılabileceği belirlenmiştir.

4.14 Enerji Teknokent Projesi Şantiye Fotoğrafları

Bu bölümde inşaatı devam etmekte olan Enerji Teknokent Projesi'nin Bölüm 1. 1.4'te verilen fotoğraflara ek olarak yapı çelik taşıyıcı sistem elemanlarının tamamının montajından sonraki fotoğrafları belirtilmiştir (Şekil 4.59).



(a)

(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

Şekil 4.59 : ETB Binası öngerilmeli boşluklu döşeme panelleri yerleştirilmesi ve BÖÇ'lerin yerleşimi (a) ve (b) binanın dış cephe görüşleri, (c) tüm sistem elemanlarının yerleştirilmesinden sonra BÖÇ genel görünümü, (d) BÖÇ'e mesnetlik yapan temel kirişinin beton dökümünden sonra sistem ile görünümü, (e) ve (f) bina içi genel görünüm.



(g)



(h)

Şekil 4.59 (devam): ETB Binası öngerilmeli boşluklu döşeme panelleri ve BÖÇ'lerin yerleşimi (g) tüm öngerilmeli boşluklu paneltonların yerleşiminden sonra genel görünüm ve (h) paneltonun üzerine düzeltme betonu atılması

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1 Deneysel Çalışmaya İlişkin Sonuçlar

Bu çalışmada, öncelikle burkulması önlenmiş çaprazlara (BÖÇ) ilişkin detaylı bir literatür araştırması yapılmıştır. Elde edilen bilgiler ışığında (varsayımlar, formülasyonlar, oluşturulan kuramsal modeller ve deneysel çalışmalar) BÖÇ'ü oluşturan ana elemanlar incelenmiştir. Önceki çalışmalarda deneysel olarak çalışılmış çekirdek enkesitleri incelenmiş, bunun sonucunda uygun performans göstermesi nedeniyle olabildiğince küçük boyutlarda dikdörtgen enkesit seçilmiştir. Dikdörtgen enkesitli BÖÇ'lerin üretimi ve işçiliği rahat olup kolay bir şekilde sürtünmesiz yüzey malzemesi ile sarılıp istenilen pürüzsüz yüzey elde edilebilmektedir. Küçük enkesitli BÖÇ'lerde numune akma bölgesinden koparak göçmektedir.

BÖÇ tasarımı en önemli noktalardan biri deneysel çalışma yapılacak numunenin ASTM A370'e göre tercihen gerçek boyutlarda ya da gerçek boyutlara yakın boyutlarda çekme numunesi üretilip, çekme (kupon) deneylerinin yapılmasıdır. Bu sayede ana numunenin akma ve kopma değerleri hakkında daha doğru bilgi edinilebilir. Bu yüzden iki adet S355JR kalitesinde yüksek dayanımlı çelik kullanılarak üretilmiş çelik numunelerde çekme deneyleri yapıp çıkan sonuçlar karşılaştırılmış, sonuçların yeter derecede birbirine yakın olduğu görülmüştür.

BÖÇ'ün çelik çekirdek tasarımı AISC 341-10 kullanılmıştır. Çelik çekirdek tasarımı akma bölgesi uzunluğunun belirlenmesi ve güçlendirme bölgesinin elastik olarak tasarlanması önem kazanmaktadır. Akma bölgesi uzunluğu az olduğunda ise beklenen enerji yutma kapasitesi elde edilemeyebilir; bu bilgi ışığında uygun akma bölgesi uzunluğu olarak mafsaldan mafsala uzunluğun %65.7'si alınmıştır. Bağlantı detayı olarak mafsalın tercih edilme nedeni ise akma bölgesindeki şekil değiştirmeden dolayı oluşan yer değiştirme miktarını elastik mesnete aktarmadan mafsal ile karşılamak ve basit bir bağlantı oluşturmaktır. Bunlara ek olarak, çelik çekirdeği sürtünmesiz bir yüzey oluşturmak amacıyla saran

teflon ve harç ile teflon arasında bırakılacak boşluk BÖÇ tasarımı ve BÖÇ'ün performansı açısından çok önemlidir. Deney sırasında teflon malzemesinde oluşacak herhangi bir hasarda BÖÇ'ün çekme ve basınçta davranışı değişeceğinden kullanılacak malzeme çok önemlidir. Bırakılan hava boşluğunun miktarının ise numunenin basınçta Poisson oranından dolayı genişleme miktarı kadar olmasında yarar vardır. Fazla miktarda bırakılan boşluk durumunda numune istenilen çevrime gelmeden erkenden kopabilir. Güçlendirme bölgesinde bırakılacak boşluk miktarı bir diğer önemli detaydır. Bu boşluk, numunenin basınçta kısılması sonucunda harç malzemesinin güçlendirme bölgesine dayanıp hasar oluşturmasını ve yük artışını engellemektedir. Normalde yalnızca kılıf görevi olan harç+tüpün, basınç etkisi altında BÖÇ'ün taşıma gücünü arttırması BÖÇ'ün çalışma prensiplerine aykırıdır.

Yukarıda açıklanan bilgilere göre üretimi yapılan BÖÇ'ün deneysel incelenmesinden sonra elde edilen kuvvet-yerdeğiştirme eğrisi incelendiğinde basınç ve çekmede simetriğe yakın ve benzer davranışlar görülmüştür. Bu, güçlendirme bölgesine boşluk oluşturmak amacıyla konulan malzemenin ve çelik çekirdeği saran teflonun zarar görmediği anlamına gelmektedir. Birleşim bölgesi ile kolon, ve kirişte herhangi bir kalıcı deformasyon ya da yerel burkulma tespit edilmemiştir. Bu da güçlendirme bölgesi ve bağlantı detayının elastik davranış sergilediğini göstermektedir. Straingauge'lerden elde edilen şekildeğiştirme kuvvet eğrilerine bakıldığında dış tüpün herhangi bir yük almadığı görülmektedir. BÖÇ deney numunesinin her çevrime ilişkin etkili sönüm oranlarına bakıldığında %10 değerinden giderek arttığı ve kopmadan önceki çevrimde %41 değerine ulaştığı ortaya çıkmaktadır. Bu değer bu çalışmada üretilen BÖÇ'ün etkin bir sönümleyici olduğunu kanıtlamaktadır. Elde edilen diğer bir sonuç ise elastik olmayan yerdeğiştirmede β 1.13~1.32 ve ω 1.00~1.46 arasında çıkmaktadır.

Numunenin tüp bölümü kesilip incelendiğinde sürtünmesiz ortam ve güçlendirme bölgesinde herhangi bir hasar görülmemiştir. Numune akma ve güçlendirme bölgesinde yerel burkulma oluşmamış, numune güçlendirme bölgesi ile akma bölgesinin birleştiği geçiş bölgesinden kopmuştur. Önceki çalışmalarda izlenen bu göçme biçimi, güçlendirme bölgesi oluşturmak amacıyla tam penetrasyonlu küt kaynak yapılması ile Heat Affected Zone (HAZ) oluşması sonucunda gelişmiştir. Bu bölgede, kaynaktan dolayı dayanımın %60'a kadar azaldığı görülebilmektedir. Bu yüzden numunede yatay yük etkisinde akma bölgesinden önce bu zayıf bölgedeki

liflerde aşırı kalıcı deformasyonlar oluşmuş ve sonuç olarak numune bu bölgeden kopmuştur.

Bu çalışma esas alınarak ileride yapılabilecek çalışmalardan biri HAZ bölgesinin güçlendirme bölgesi üzerinde oluşturulmasıdır. Bu sayede kopmanın akma bölgesinde olacağı ve buna bağlı olarak daha fazla enerji yutan ve sönüm oranı daha fazla olan BÖÇ üretilebileceği düşünülmektedir.

5.2 BÖÇ'lü Çelik Bina Tasarımına İlişkin Sonuçlar

İstanbul Teknik Üniversitesi Ayazağa Yerleşkesi'nde yapılmakta olan Enerji Teknokent Arı-6 projesinde BÖÇ uygulanmış, Türkiye'de bu tür çaprazların ilk kez uygulanması nedeniyle tasarım ve uygulama aşamaları bu tez kapsamında detaylı bir biçimde incelenmiştir. Kolon ve kiriş kapasite oranları yaklaşık olarak benzer tutularak bina klasik çaprazlı ve BÖÇ kullanılarak modellenmiş, her iki duruma ilişkin sayısal sonuçlar irdelenmiştir. Hesaplar; klasik çaprazlı sistemin daha rijit ve %65 daha fazla deprem yükü aldığını göstermiştir. Benzer kapasite oranlarında R ile çarpılmış yerdeğiştirmeler ve görelî kat ötelemeleri klasik çaprazlı sistemde BÖÇ'lü sisteme göre (daha rijit olduğundan) %34 daha küçük değerler elde edilmiştir. Toplam yapı ağırlığı gözönünde bulundurulduğunda ise BÖÇ'lü sistemin yapı ağırlığı klasik çaprazlı sisteme göre %13 daha azdır. Sonuç olarak BÖÇ'lerin hem bir çapraz hem de sönümleyici olmasından dolayı özellikle deprem bölgelerinde ve yatay yük etkisindeki (rüzgâr vs.) binalarda etkin olarak kullanılabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Bu çalışma esas alınarak ileride yapılabilecek çalışmalardan biri BÖÇ'lerin gerek betonarme gerekse çelik iskeletli yüksek binalarda kullanımının incelenmesidir. Böylece kullanılacak çelik miktarları, sistem rijitlikleri, sistem birinci elastik titreşim periyodları, yerdeğiştirme ve görelî kat ötelemeleri açısından daha belirgin farklılıklar olabileceği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- AISC-LRFD 310** (2010). Hollow Structural Section Connections Manual, Load and Resistance Factor Design, *American Institute of Steel Construction*, Chicago, USA.
- AISC-LRFD 360** (2010). Specifications for Structural Steel Building, Load and Resistance Factor Design, *American Institute of Steel Construction*, Chicago, USA.
- ASTM A370** (2009). Standard Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products, *American Society for Testing and Materials*, USA.
- ASTM A490** (2009). Specification for High Strength Steel Bolts, Classes 10.9 and 10.9.3, for Structural Steel joints, *American Society for Testing and Materials*, USA.
- Astaneh-Asl, A., Goel, S.C., and Hanson, R.D.**, (1982). Cyclic Behavior of Double Angle Bracing Members with End Gusset Plates, *Research Report UMEE 82R7*, Department of Civil Engineering, University of Michigan, Ann Arbor, MI, USA.
- Berman, J.W., Bruneau, M.**, (2009). Cyclic Testing of a Buckling Restrained Braced Frame with Unconstrained Gusset Connections, *Journal of Structural Engineering*, ASCE.
- Brown, V.L.S.**, (1988). Stability of Gusseted Connections in Steel Structures, *A thesis submitted in partial fulfillment of Doctor of Philosophy in Civil Engineering*, University of Delaware, DE, USA.
- Celik, O.C., Bruneau, M.**, (2009). Seismic behaviour of bidirectional-resistant ductile end diaphragms with buckling restrained in straight steel bridges, *Engineering Structures*, volume 31, Issue 2, p 380-393.
- Chun-Lin, W., Usami, T.**, (2012). Low-cycle fatigue testing of extruded aluminium alloy buckling-restrained braces, Department of Civil Engineering, Meijo University, Tempaku-ku, Japan.
- DBYBHY** (2007). Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, *Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği İnşaat Mühendisleri Odası*, İstanbul, Türkiye.
- De Matteis, G., Panico, S., Mazzolani, F., M.**, (2006). Experimental study on pure aluminium shear panel with different stiffener types. *STESSA 2006-Mazzolani&Wada*, Taylor&Francis Group, London, ISBN 0-415-40824-5, England.
- Dindar, A. A.**, (2009). Energy-Based Earthquake Response Analysis and Design of Reinforced Concrete SDOF Columns, (doktora tezi), Bogazici University, Istanbul, Turkey.

- Dunai, L.,** (2001). Type testing of buckling restrained braces according to EN5129, *Technology and Economic Department of Structural Engineering*, Budapest University, Hungary.
- Dutta, A., Hamburger, R.,** (2006). Case study of 40 story BRBF building located in Los Angeles, *Simpson Gumpertz & Heger*, USA.
- Fahnestock, L., Sause, R., and Ricles, J.M.,** (2007). Experimental Evaluation of a Large-Scale Buckling-Restrained Braced Frame, *Journal of Structural Engineering*, 133(9), 1205-1214
- FEMA 356,** November, (2000). Seismic Rehabilitation Prestandard, Federal Emergency Management Agency, *American Society of Civil Engineers*, Washington D.C., USA.
- Higgins, C. & Newell, J.,** (2004). Confined Steel Brace for Earthquake Resistant Design, *Engineering Journal*, 41(4): 187-202.
- Iwata, M, Kato, T. & Wada, A.,** August, (2000). Buckling- Restrained Braces as Hysteretic Dampers, *Proceedings, STESSA 2000, Behavior of Steel Structures in Seismic Areas, Mazzolani and Tremblay (eds), Balkema.*
- Karatas Avcı, C.,** (2012). Çelik ve Alüminyum Alaşımli Çekirdekli Burkulması Önlenmiş Çaprazların (BÖÇ) tasarımı, üretimi ve yön değiştiren tekrarlı yükler etkisindeki davranışı, (doktora tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.
- Kimura, K., Takeda, Y., Yoshida K., Furuya, N., & Takemoto, Y.,** (1976). An experimental study on braces encased in steel tube and mortar. *Annual Meeting of the Architectural Institute of Japan*, Japan.
- Lopez, W.A., Sabelli, R.,** (2004). Seismic Design of Steel Buckling-Restrained Braced Frames, *Steel Tips Structural Steel Education Council Technical Information & Product Service Box*, G. E. P.
- Lukkunaprasit, P., Tangbunchoo, T., Rodsin, K.,** (2011). Enhancement of seismic performance of reinforced concrete columns with buckling - restrained reinforcement, Department of Civil Engineering, Chulalongkorn University Bangkok, Thailand.
- Merritt S., Uang, C.M. and Benzoni, G.,** (2003). Subassembly Testing of Core brace buckling restrained, in *Report No: TR-2003/01*, University of California, San Diego, La Jolla, USA.
- Mochizuki S, Murata Y, Andou N, Takahashi S.,** (1979). Experimental study on buckling of unbonded braces under axial forces: Parts 1 and 2. *Summaries of technical papers of annual meeting. Architectural Institute of Japan*, p. 1623–6, Japan.
- Newell, J., Uang, C.M. and Benzoni, G.,** (2006). Subassembly testing of Core Brace buckling-restrained braces. *F series Report No. TR-2005/01*, University of California, San Diego, La Jolla, CA,
- Prasad, B.,** (1992). Experimental Investigation of Sleeved Column, *Proceedings of the 33rd Structural Dynamics and Materials Conference, American Institute of Aeronautics and Astronautics*, Dallas. 23, USA.

- Sabelli, R., Mahin, S., and Chang, C.,** (2003). Seismic demands on steel braced frame buildings with buckling restrained braces, *Engineering Structures*, 23: p. 655-666.
- Tremblay, R., Degrange, G., Blouin, J.,** (1999). Seismic rehabilitation of four story building with a stiffened bracing system. *Proceedings, 8th Canadian Conference on Earthquake Engineering*, p. 549-554, Vancouver, Canada.
- TS 498** (1997). Yapı elemanlarının boyutlandırılmasında alınacak yüklerin hesap değerleri, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, Türkiye.
- TS 648** (1980). Çelik yapıların hesap ve yapım kuralları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, Türkiye.
- Tsai, K.C., Hsiao, B.C., Lai, J.W., Chen, C.H., Lin, M.L., Weng, Y.T.,** (2003). Pseudo Dynamic Experimental Responses of a full scale CFT/BRB composite frame. *Proceeding, Joint NCEE/JRC Workshop*, Taipei, Taiwan.
- Tsai, K.C., Weng, Y.T., Lin, M.L., Chen, C.H., Lai, J.W., Hsiao, P.C.,** (2004). Pseudo Dynamic Tests of a Full-Scale CFT/BRB Composite Frame Displacement Based Seismic Design and Response Evaluations, *Structures Congress*, p. 137,131, Vancouver, Canada.
- Wakabayashi, M., Nakamura, T., Kashibora, A., Morizono, T., & Yokoyama, H.,** (1973). Experimental study of elasto-plastic properties of precast concrete wall panels with built-in insulating braces. *Summaries of Technical Papers of Annual Meeting Architectural Institute of Japan* p. 1041-1044, Japan.
- Watabane, A., Hitomi, Y., Yaeki, E., Wada, A., & Fujimoto, M.,** (1988). Properties of brace encased in buckling - restraining concrete and steel tube. *Proceeding , 9th World Conference on Earthquake Engineering*, Tokyo- p. 719-724, Kyoto, Japan.
- Whitemore, R.,E.,** (1952). Experimental Investigation of stresses in gusset plates , *Engineering Experiment Station*, University of Tennessee, Knoxville,USA.
- Xie, Q.,** (2005). State of the art of buckling-restrained braces in Asia, *Journal of Constructional Steel Research*, 61(6): 727-748.
- Url-1** < <http://www.coffman.com/>>, alındığı tarih: 21.11.2012.
- Url-2** < <http://www.starseismic.net/>>, alındığı tarih: 21.11.2012.

EKLER

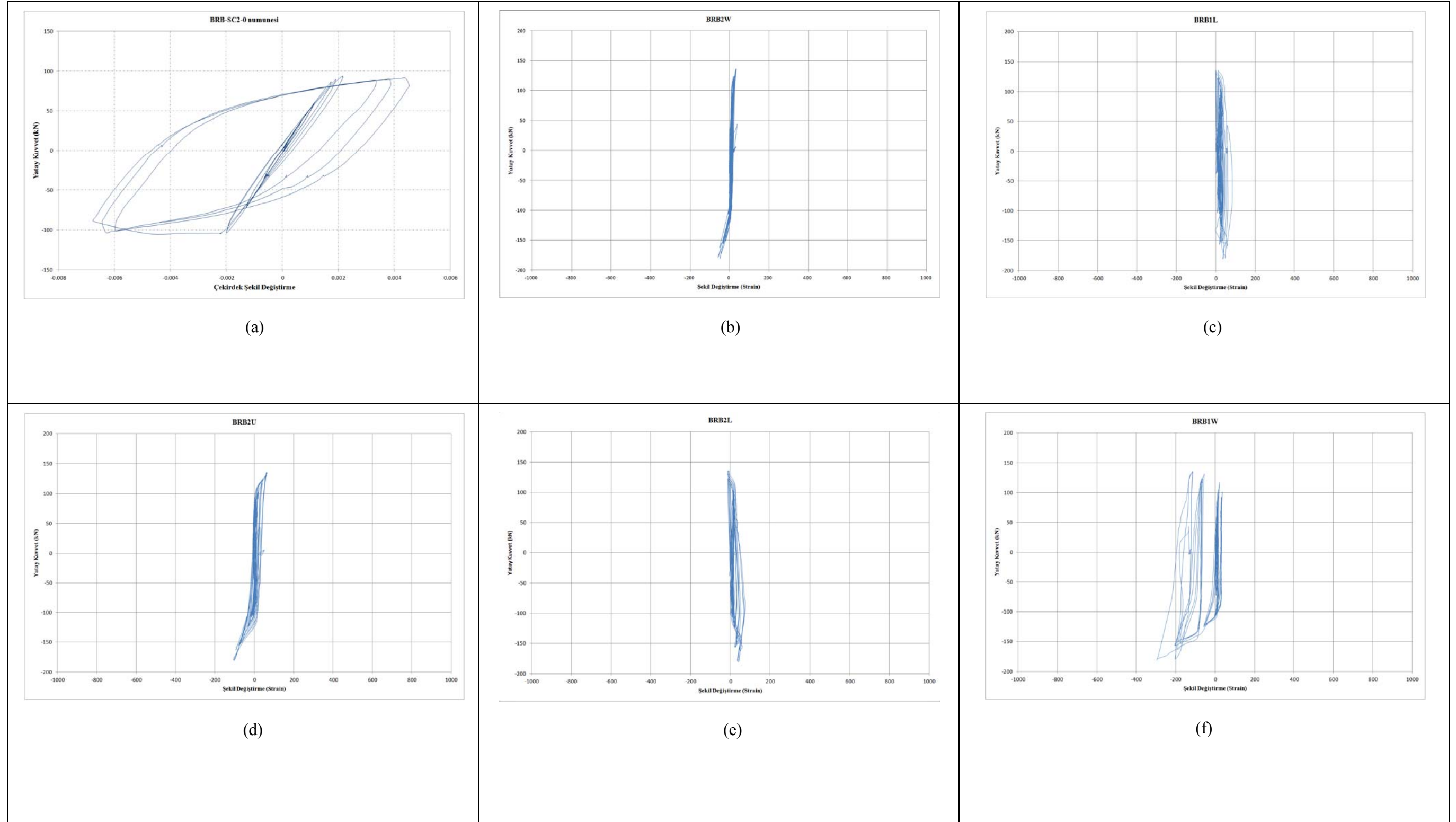
EK A: Deneysel Çalışmadan Elde Edilen Yatay Kuvvet ve Şekildeğiştirme Diyagramları

EK B: Enerji Teknokent Projesi Tipik Kat Planı

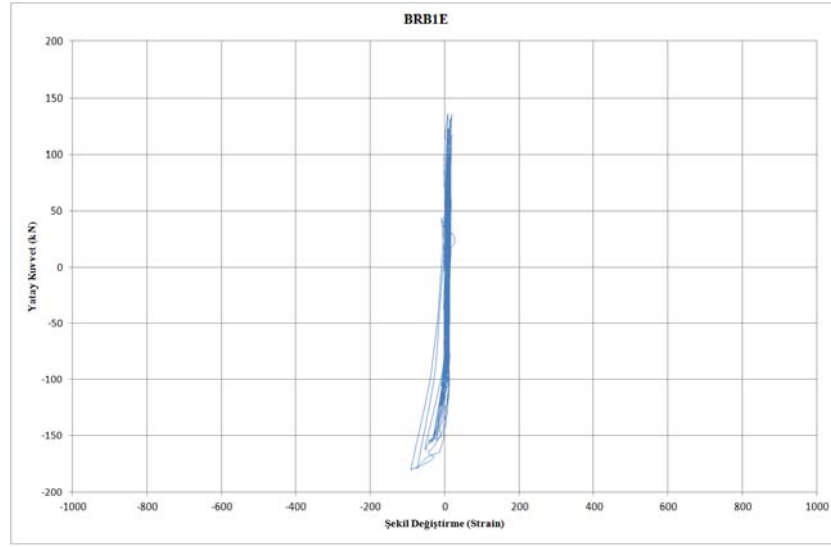
EK C: Enerji Teknokent Projesi BÖÇ Tasarım Aşamaları

EK D: Enerji Teknokent Projesi C4-5 Aksı Mesnet Detay Hesabı

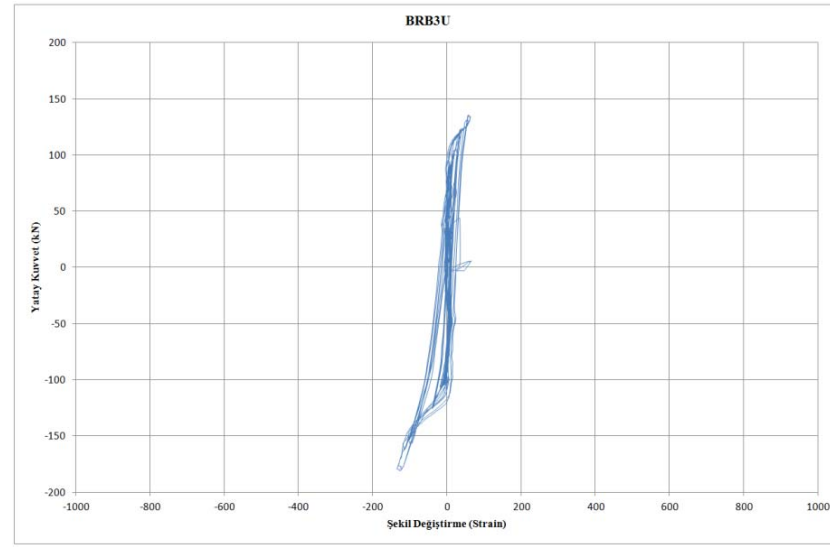
EK E: Enerji Teknokent Projesi C4-5 Aksı Detay Çizimleri



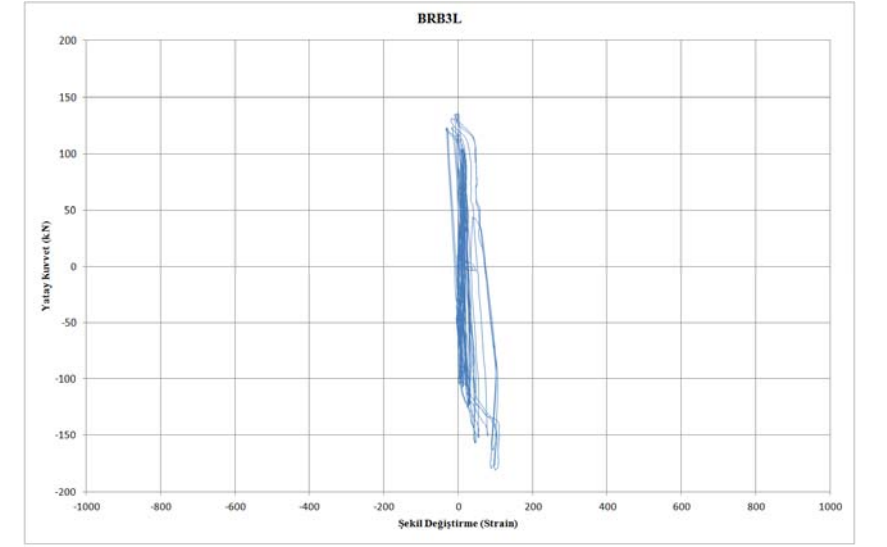
Şekil A.1 : Numuneye yerleştirilen Straingauge'lerden elde edilen şekildeğiştirme-yatay kuvvet diyagramları, (a) çekirdeğe yerleştirilen straingauge, (b) BRB2W BÖÇ dış tüp orta bölümü batı bölgesine yerleştirilen straingauge, (c) BRB1L BÖÇ dış tüp alt bölüm altına yerleştirilen straingauge, (d) BRB2U BÖÇ dış tüp alt bölüm üstüne yerleştirilen straingauge, (e) BRB2L BÖÇ dış tüp orta bölüm altına yerleştirilen straingauge ve (f) BRB1W BÖÇ dış tüp alt bölüm batı bölgesine yerleştirilen straingauge.



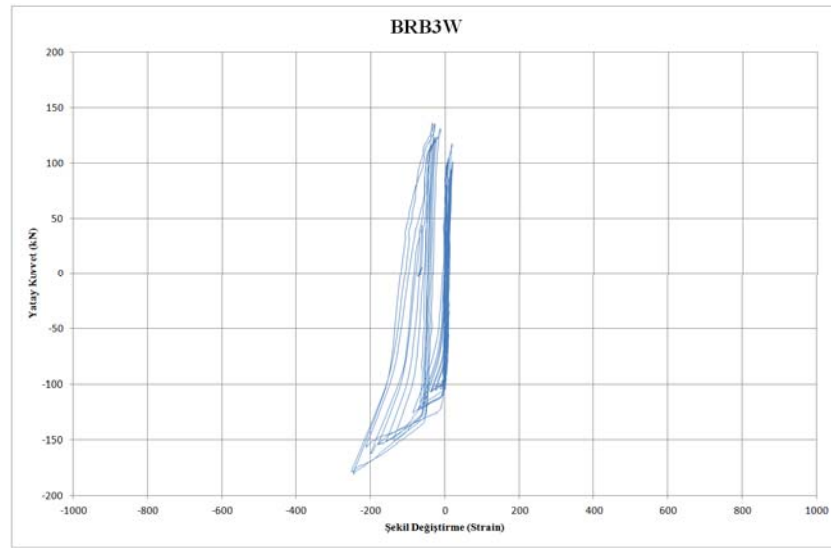
(g)



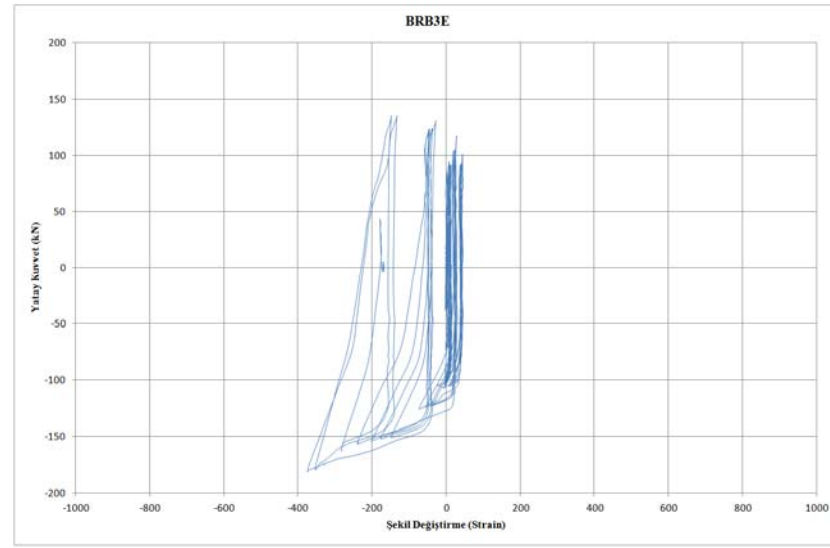
(h)



(i)

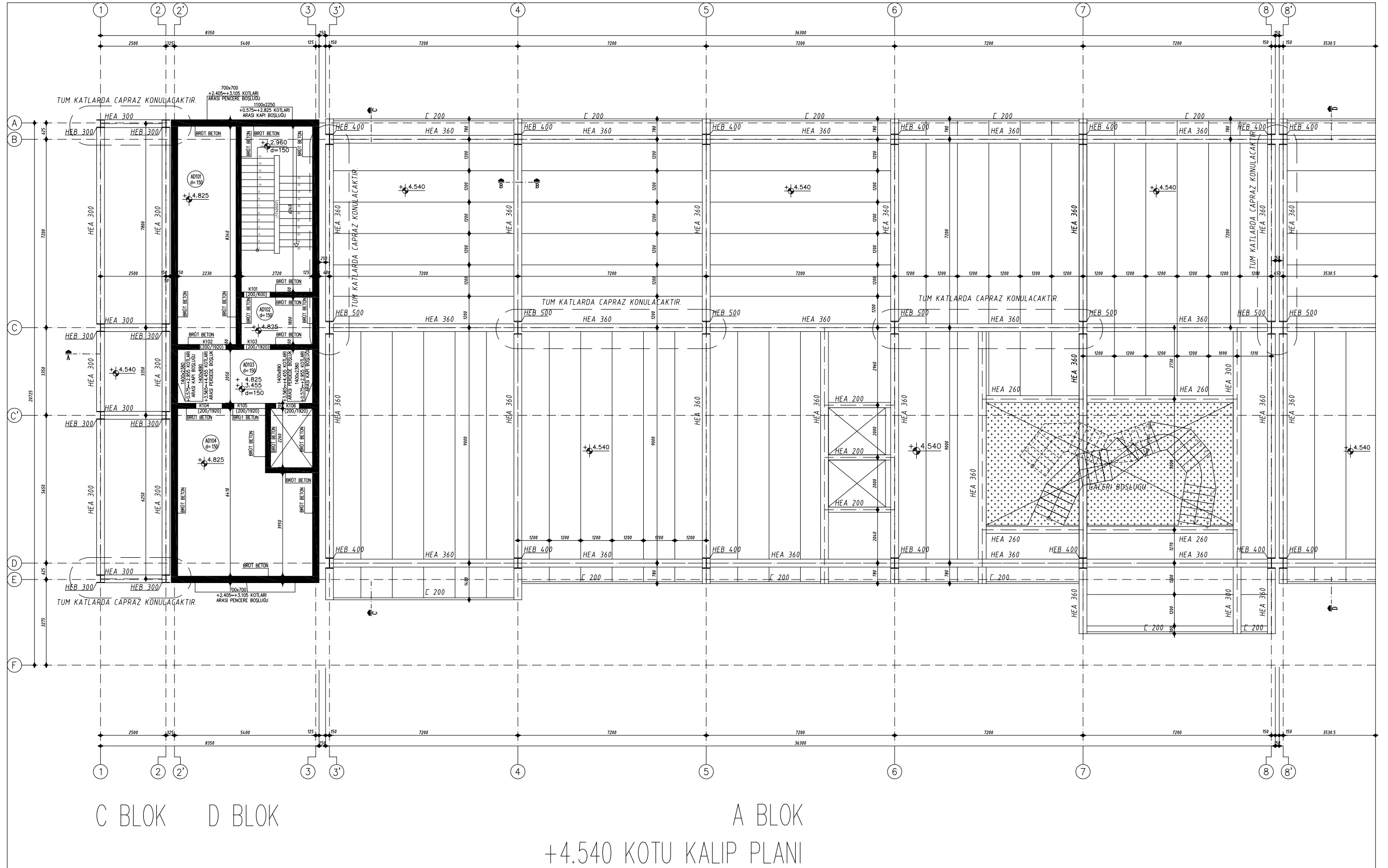


(j)



(l)

Şekil A.1 (devam): Numuneye yerleştirilen Straingaugelerden elde edilen şekildeğiştirme-yatay kuvvet diyagramları, (g) BRB1E BÖÇ dış tüp alt bölüm doğu bölgesine yerleştirilen straingaugeler, (h) BRB3U BÖÇ dış tüp üst bölüm üstüne yerleştirilen straingaugeler, (i) BRB3L BÖÇ dış tüp üst bölüm altına yerleştirilen straingaugeler ve (l) BRB3E BÖÇ dış tüp üst bölüm doğu bölgesine yerleştirilen straingaugeler.



Şekil B.1: A-C-D Blok'ları +4.540 kotu kat planı.



Şekil B.2: B-E-F Blok'ları +4.540 kotu kat planı.

iteration1.xls

initial data											core material		lengths		core section details				design details									
Brace		pieces	direction	grid	elevation	area(a) or force(f) based design	Given axial force (kN)	Given A _{req} (mm ²)	rise (wp-wp vertical) (m)	run (wp-wp horizontal) (m)	f _{y,min} (N/mm ²)	f _{y,max} (N/mm ²)	workpoint to workpoint (mm)	pin to pin (mm)	thickness c _{core} (mm)	height b _{red} (mm)	Area A _{sc} (cm2)	F _{Rd} (kN)	1.5 x strain ε (%)	ω	ωβ	A _{core} * f _{y,act} *ω* σω (kN)	A _{core} * f _{y,act} *ωβ *σωβ (kN)	K _{eff} /K _{wp}	E _{new} (N/mm ²)	tube section	number of tubes	
Customer	SSE																											
-	1	2	x	C/4-5	base-1	f	810	-	4.15	3.600	235	290	5177	4500	40	90	36	846	1.50%	1.452	1.656	1,743	1,989	1.39	291,503	200x200x6	1	
-	2	2	x	C/4-5	1-2	f	356	-	4.25	3.600	235	290	5308	4600	20	80	16	376	1.48%	1.448	1.651	773	881	1.32	277,454	200x200x6	1	
-	3	2	x	C/4-5	2-3	f	227	-	4.21	3.600	235	290	5242	4600	20	50	10	235	1.48%	1.447	1.648	483	550	1.28	269,748	150x150x6	1	
-	4	2	x	C/6-7	base-1	f	772	-	4.1	3.600	235	290	5112	4500	40	90	36	846	1.50%	1.452	1.656	1,743	1,989	1.37	287,883	200x200x6	1	
-	5	2	x	C/6-7	1-2	f	334	-	4.3	3.600	235	290	5308	4600	20	80	16	376	1.48%	1.448	1.651	773	881	1.32	277,454	200x200x6	1	
-	6	2	x	C/6-7	2-3	f	208	-	4.21	3.600	235	290	5242	4600	20	50	10	235	1.48%	1.447	1.648	483	550	1.28	269,748	150x150x6	1	
-	7	2	x	C/9-10	base-1	f	799	-	4.15	3.600	235	290	5177	4500	40	90	36	846	1.50%	1.452	1.656	1,743	1,989	1.39	291,503	200x200x6	1	
-	8	2	x	C/9-10	1-2	f	372	-	4.25	3.600	235	290	5308	4600	20	80	16	376	1.48%	1.448	1.651	773	881	1.32	277,454	200x200x6	1	
-	9	2	x	C/9-10	2-3	f	201	-	4.25	3.600	235	290	5308	4600	20	50	10	235	1.48%	1.447	1.648	483	550	1.30	273,133	150x150x6	1	
-	10	2	x	C/11-12	base-1	f	793	-	4.15	3.600	235	290	5177	4500	40	90	36	846	1.50%	1.452	1.656	1,743	1,989	1.39	291,503	200x200x6	1	
-	11	2	x	C/11-12	1-2	f	428	-	4.25	3.600	235	290	5308	4600	40	55	22	517	1.48%	1.448	1.650	1,062	1,210	1.32	278,172	200x200x6	1	
-	12	2	x	C/11-12	2-3	f	278	-	4.25	3.600	235	290	5308	4600	20	70	14	329	1.49%	1.450	1.654	677	772	1.31	274,223	150x150x6	1	
-	13	1	y	3'/B-C	base-1	f	611	-	4.36	3.630	235	290	5578	4600	40	70	28	658	1.48%	1.449	1.651	1,353	1,542	1.41	295,407	200x200x6	1	
-	14	1	y	3'/B-C	base-1	f	611	-	4.36	3.580	235	290	5545	4600	40	70	28	658	1.48%	1.449	1.651	1,353	1,542	1.40	293,693	200x200x6	1	
-	15	1	y	3'/B-C	1-2	f	626	-	4.25	3.630	235	290	5344	4500	40	70	28	658	1.49%	1.451	1.654	1,355	1,545	1.42	298,088	200x200x6	1	
-	16	1	y	3'/B-C	1-2	f	626	-	4.25	3.580	235	290	5311	4500	40	70	28	658	1.49%	1.451	1.654	1,355	1,545	1.41	296,204	200x200x6	1	
-	17	1	y	3'/B-C	2-3	f	476	-	4.25	3.630	235	290	5344	4500	40	55	22	517	1.49%	1.450	1.653	1,064	1,213	1.40	294,817	200x200x6	1	
-	18	1	y	3'/B-C	2-3	f	476	-	4.25	3.580	235	290	5311	4500	40	55	22	517	1.49%	1.450	1.653	1,064	1,213	1.40	292,953	200x200x6	1	
-	19	1	y	8/B-C	base-1	f	473	-	4.36	3.630	235	290	5578	4600	40	55	22	517	1.48%	1.448	1.650	1,062	1,210	1.39	292,327	200x200x6	1	
-	20	1	y	8/B-C	base-1	f	473	-	4.36	3.580	235	290	5545	4600	40	55	22	517	1.48%	1.448	1.650	1,062	1,210	1.38	290,631	200x200x6	1	
-	21	1	y	8/B-C	1-2	f	487	-	4.25	3.630	235	290	5344	4500	40	55	22	517	1.49%	1.450	1.653	1,064	1,213	1.40	294,817	200x200x6	1	
-	22	1	y	8/B-C	1-2	f	487	-	4.25	3.580	235	290	5311	4500	40	55	22	517	1.49%	1.450	1.653	1,064	1,213	1.40	292,953	200x200x6	1	
-	23	1	y	8/B-C	2-3	f	381	-	4.25	3.630	235	290	5344	4500	20	85	17	400	1.49%	1.451	1.655	822	938	1.40	294,319	200x200x6	1	
-	24	1	y	8/B-C	2-3	f	381	-	4.25	3.580	235	290	5311	4500	20	85	17	400	1.49%	1.451	1.655	822	938	1.39	292,458	200x200x6	1	
-	25	1	y	8'/B-C	base-1	f	548	-	4.36	3.630	235	290	5578	4600	40	60	24	564	1.48%	1.448	1.650	1,159	1,321	1.39	292,614	200x200x6	1	
-	26	1	y	8'/B-C	base-1	f	548	-	4.36	3.580	235	290	5545	4600	40	60	24	564	1.48%	1.448	1.650	1,159	1,321	1.39	290,916	200x200x6	1	
-	27	1	y	8'/B-C	1-2	f	524	-	4.25	3.630	235	290	5344	4500	40	60	24	564	1.49%	1.450	1.653	1,160	1,323	1.41	295,121	200x200x6	1	
-	28	1	y	8'/B-C	1-2	f	524	-	4.25	3.580	235	290	5311	4500	40	60	24	564	1.49%	1.450	1.653	1,160	1,323	1.40	293,255	200x200x6	1	
-	29	1	y	8'/B-C	2-3	f	309	-	4.25	3.630	235	290	5344	4500	20	70	14	329	1.50%	1.452	1.657	678	774	1.38	290,414	150x150x6	1	
-	30	1	y	8'/B-C	2-3	f	309	-	4.25	3.580	235	290	5311	4500	20	70	14	329	1.50%	1.452	1.657	678	774	1.37	288,578	150x150x6	1	
-	31	1	y	12/B-C	base-1	f	561	-	4.36	3.630	235	290	5578	4600	40	60	24	564	1.48%	1.448	1.650	1,159	1,321	1.39	292,614	200x200x6	1	
-	32	1	y	12/B-C	base-1	f	561	-	4.36	3.580	235	290	5545	4600	40	60	24	564	1.48%	1.448	1.650	1,159	1,321	1.39	290,916	200x200x6	1	
-	33	1	y	12/B-C	1-2	f	537	-	4.25	3.630	235	290	5344	4500	40	60	24	564	1.49%	1.450	1.653	1,160	1,323	1.41	295,121	200x200x6	1	
-	34	1	y	12/B-C	1-2	f	537	-	4.25	3.580	235	290	5311	4500	40	60	24	564	1.49%	1.450	1.653	1,160	1,323	1.40	293,255	200x200x6	1	
-	35	1	y	12/B-C	2-3	f	321	-	4.25	3.630	235	290	5344	4500	20	70	14	329	1.50%	1.452	1.657	678	774	1.38	290,414	150x150x6	1	
-	36	1	y	12/B-C	2-3	f	321	-	4.25	3.580	235	290	5311	4500	20	70	14	329	1.50%	1.452	1.657	678	774	1.37	288,578	150x150x6	1	

BÖÇ üreticisine gönderilen kuvvetler

Gönderilen kuvvetlere bağlı olarak yapılan BÖÇ tasarımı ve ETABS modeline girilen yeni kesitler

Yeni kesitler girildikten sonra eksenel rijitlikteki artış miktarı (ETABS programında property modifiers seçeneğinden A (alan) artış miktarı)

Şekil C.1 : BÖÇ Üreticisinden gelen kuvvetlere göre BÖÇ tasarımı

iteration2.xls

Brace		initial data										core material		lengths		core section details				design details										proposed connection									
Customer	SSE	pieces	direction	grid	elevation	area(a) or force(f) based design	Given axial force (kN)	Given A_{req} (mm ²)	rise (wp-wp vertical) (m)	run (wp-wp horizontal) (m)	$f_{y,min}$ (N/mm ²)	$f_{y,max}$ (N/mm ²)	workpoint to workpoint (mm)	pin to pin (mm)	thickness c_{core} (mm)	height b_{red} (mm)	Area A_{sc} (cm ²)	F_{Rd} (kN)	1.5 x strain ϵ (%)	ω	$\omega\beta$	Acore* $f_{y,act}*\omega*$ $\sigma\sigma$ (kN)	Acore* $f_{y,act}*\omega\beta$ * $\sigma\omega\beta$ (kN)	K_{eff}/K_{wp}	E_{new} (N/mm ²)	tube section	number of tubes	gusset plate thickness t_L (mm)	gusset repad thickness t_p (mm)	gusset repad diameter (mm)	gusset repad hole (mm)	pin diameter (mm)	Design Repad Weld $3<W_1<0.7t_L$ (mm)	Design L_1 (mm)	Design L_c (mm)	Gusset Plate Material f_{tL} (N/mm ²)	f_{uL} (N/mm ²)	pin material f_y (N/mm ²)	f_u (N/mm ²)
-	1	2	x	C/4-5	base-1	f	811	-	4.15	3.600	235	290	5177	4500	40	90	36	846	1.50%	1.452	1.656	1.743	1.989	1.39	291.503	200x200x6	1	30	15	230	75	74.2	8	175	138	385	600	800	1000
-	2	2	x	C/4-5	1-2	f	351	-	4.25	3.600	235	290	5308	4600	20	80	16	376	1.48%	1.448	1.651	773	881	1.32	277.454	200x200x6	1	20	10	125	50	49.2	8	116.01	91.414	385	600	800	1000
-	3	2	x	C/4-5	2-3	f	221	-	4.21	3.600	235	290	5242	4600	20	50	10	235	1.48%	1.447	1.648	483	550	1.28	269.748	150x150x6	1	20	5	100	40	39.2	8	92	73	385	600	800	1000
-	4	2	x	C/6-7	base-1	f	786	-	4.1	3.600	235	290	5112	4500	40	90	36	846	1.50%	1.452	1.656	1.743	1.989	1.37	287.883	200x200x6	1	30	15	230	75	74.2	8	174.96	137.86	385	600	800	1000
-	5	2	x	C/6-7	1-2	f	409	-	4.3	3.600	235	290	5308	4600	20	80	16	376	1.48%	1.448	1.651	773	881	1.32	277.454	200x200x6	1	20	10	125	50	49.2	8	116	91	385	600	800	1000
-	6	2	x	C/6-7	2-3	f	287	-	4.21	3.600	235	290	5242	4600	20	50	10	235	1.48%	1.447	1.648	483	550	1.28	269.748	150x150x6	1	20	5	100	40	39.2	8	92.434	72.834	385	600	800	1000
-	7	2	x	C/9-10	base-1	f	901	-	4.15	3.600	235	290	5177	4500	40	90	36	846	1.50%	1.452	1.656	1.743	1.989	1.39	291.503	200x200x6	1	30	15	230	75	74.2	8	175	138	385	600	800	1000
-	8	2	x	C/9-10	1-2	f	145	-	4.25	3.600	235	290	5308	4600	20	80	16	376	1.48%	1.448	1.651	773	881	1.32	277.454	200x200x6	1	20	10	125	50	49.2	8	116.01	91.414	385	600	800	1000
-	9	2	x	C/9-10	2-3	f	257	-	4.25	3.600	235	290	5308	4600	20	50	10	235	1.48%	1.447	1.648	483	550	1.30	273.133	150x150x6	1	20	5	100	40	39.2	8	92	73	385	600	800	1000
-	10	2	x	C/11-12	base-1	f	752	-	4.15	3.600	235	290	5177	4500	40	90	36	846	1.50%	1.452	1.656	1.743	1.989	1.39	291.503	200x200x6	1	30	15	230	75	74.2	8	174.96	137.86	385	600	800	1000
-	11	2	x	C/11-12	1-2	f	974	-	4.25	3.600	235	290	5308	4600	40	55	22	517	1.48%	1.448	1.650	1.062	1.210	1.32	278.172	200x200x6	1	20	10	140	55	54.2	8	128	101	385	600	800	1000
-	12	2	x	C/11-12	2-3	f	336	-	4.25	3.600	235	290	5308	4600	20	70	14	329	1.49%	1.450	1.654	677	772	1.31	274.223	150x150x6	1	20	5	125	50	49.2	8	116.01	91.414	385	600	800	1000
-	13	1	y	3/B-C	base-1	f	525	-	4.36	3.630	235	290	5578	4600	40	70	28	658	1.48%	1.449	1.651	1.353	1.542	1.41	295.407	200x200x6	1	20	15	160	60	59.2	8	140	110	385	600	800	1000
-	14	1	y	3/B-C	base-1	f	525	-	4.36	3.580	235	290	5545	4600	40	70	28	658	1.48%	1.449	1.651	1.353	1.542	1.40	293.693	200x200x6	1	20	15	160	60	59.2	8	139.59	109.99	385	600	800	1000
-	15	1	y	3/B-C	1-2	f	548	-	4.25	3.630	235	290	5344	4500	40	70	28	658	1.49%	1.451	1.654	1.355	1.545	1.42	298.088	200x200x6	1	20	15	160	60	59.2	8	140	110	385	600	800	1000
-	16	1	y	3/B-C	1-2	f	548	-	4.25	3.580	235	290	5311	4500	40	70	28	658	1.49%	1.451	1.654	1.355	1.545	1.41	296.204	200x200x6	1	20	15	160	60	59.2	8	139.59	109.99	385	600	800	1000
-	17	1	y	3/B-C	2-3	f	339	-	4.25	3.630	235	290	5344	4500	40	55	22	517	1.49%	1.450	1.653	1.064	1.213	1.40	294.817	200x200x6	1	20	10	140	55	54.2	8	128	101	385	600	800	1000
-	18	1	y	3/B-C	2-3	f	339	-	4.25	3.580	235	290	5311	4500	40	55	22	517	1.49%	1.450	1.653	1.064	1.213	1.40	292.953	200x200x6	1	20	10	140	55	54.2	8	127.8	100.7	385	600	800	1000
-	19	1	y	8/B-C	base-1	f	412	-	4.36	3.630	235	290	5578	4600	40	55	22	517	1.48%	1.448	1.650	1.062	1.210	1.39	292.327	200x200x6	1	20	10	140	55	54.2	8	128	101	385	600	800	1000
-	20	1	y	8/B-C	base-1	f	412	-	4.36	3.580	235	290	5545	4600	40	55	22	517	1.48%	1.448	1.650	1.062	1.210	1.38	290.631	200x200x6	1	20	10	140	55	54.2	8	127.8	100.7	385	600	800	1000
-	21	1	y	8/B-C	1-2	f	409	-	4.25	3.630	235	290	5344	4500	40	55	22	517	1.49%	1.450	1.653	1.064	1.213	1.40	294.817	200x200x6	1	20	10	140	55	54.2	8	128	101	385	600	800	1000
-	22	1	y	8/B-C	1-2	f	409	-	4.25	3.580	235	290	5311	4500	40	55	22	517	1.49%	1.450	1.653	1.064	1.213	1.40	292.953	200x200x6	1	20	10	140	55	54.2	8	127.8	100.7	385	600	800	1000
-	23	1	y	8/B-C	2-3	f	325	-	4.25	3.630	235	290	5344	4500	20	85	17	400	1.49%	1.451	1.655	822	938	1.40	294.319	200x200x6	1	20	10	125	50	49.2	8	116	91	385	600	800	1000
-	24	1	y	8/B-C	2-3	f	325	-	4.25	3.580	235	290	5311	4500	20	85	17	400	1.49%	1.451	1.655	822	938	1.39	292.458	200x200x6	1	20	10	125	50	49.2	8	116.01	91.414	385	600	800	1000
-	25	1	y	8/B-C	base-1	f	492	-	4.36	3.630	235	290	5578	4600	40	60	24	564	1.48%	1.448	1.650	1.159	1.321	1.39	292.614	200x200x6	1	20	15	160	60	59.2	8	140	110	385	600	800	1000
-	26	1	y	8/B-C	base-1	f	492	-	4.36	3.580	235	290	5545	4600	40	60	24	564	1.48%	1.448	1.650	1.159	1.321	1.39	290.916	200x200x6	1	20	15	160	60	59.2	8	139.59	109.99	385	600	800	1000
-	27	1	y	8/B-C	1-2	f	465	-	4.25	3.630	235	290	5344	4500	40	60	24	564	1.49%	1.450	1.653	1.160	1.323	1.41	295.121	200x200x6	1	20	15	160	60	59.2	8	140	110	385	600	800	1000
-	28	1	y	8/B-C	1-2	f	465	-	4.25	3.580	235	290	5311	4500	40	60	24	564	1.49%	1.450	1.653	1.160	1.323	1.40	293.255	200x200x6	1	20	15	160	60	59.2	8	139.59	109.99	385	600	800	1000
-	29	1	y	8/B-C	2-3	f	248	-	4.25	3.630	235	290	5344	4500	20	70	14	329	1.50%	1.452	1.657	678	774	1.38	290.414	150x150x6	1	20	5	125	50	49.2	8	116	91	385	600	800	1000
-	30	1	y	8/B-C	2-3	f	248	-	4.25	3.580	235	290	5311	4500	20	70	14	329	1.50%	1.452	1.657	678	774	1.37	288.578	150x150x6	1	20	5	125	50	49.2	8	116.01	91.414	385	600	800	1000
-	31	1	y	12/B-C	base-1	f	527	-	4.36	3.630	235	290	5578	4600	40	6																							

iteration3.xls

initial data											core material		lengths			core section details				design details								
Brace		pieces	direction	grid	elevation	area(a) or force(f) based design	Given axial force (kN)	Given A_{req} (mm ²)	rise (wp-wp vertical) (m)	run (wp-wp horizontal) (m)	$f_{y,min}$ (N/mm ²)	$f_{y,max}$ (N/mm ²)	workpoint to workpoint (mm)	pin to pin (mm)	total length of BRB (mm)	thickness c_{core} (mm)	height b_{red} (mm)	Area A_{sc} (cm2)	F_{Rd} (kN)	1.5 x strain ϵ (%)	ω	$\omega\beta$	Acore* $f_{y,act}*\omega*\sigma_{00}$ (kN)	Acore* $f_{y,act}*\omega\beta*\sigma_{00}$ β (kN)	K_{eff}/K_{wp}	E_{new} (N/mm ²)	tube section	number of tubes
Customer	SSE																											
-	1.1	1	x	C/4-5	base-1	f	811	-	4.15	3.60	235	290	5490	4200	4536	40	95	38	846	1.34%	1.370	1.552	1644.9	1863.2	1.61	338,166	200x200x6	1
-	1.2	1	x	C/4-5	base-1	f	811	-	4.15	3.60	235	290	5490	4200	4536	40	95	38	846	1.34%	1.370	1.552	1644.9	1863.2	1.61	338,166	200x200x6	1
-	2.1	1	x	C/4-5	1-2	f	349	-	4.25	3.60	235	290	5570	4500	4720	20	75	15	353	1.34%	1.370	1.552	685.4	776.3	1.47	307,715	200x200x6	1
-	2.2	1	x	C/4-5	1-2	f	349	-	4.25	3.60	235	290	5570	4500	4720	20	75	15	353	1.34%	1.370	1.552	685.4	776.3	1.47	307,715	200x200x6	1
-	3.1	1	x	C/4-5	2-3	f	221	-	4.21	3.60	235	290	5536	4500	4680	20	55	11	259	1.34%	1.370	1.552	502.6	569.3	1.44	301,405	150x150x6	1
-	3.2	1	x	C/4-5	2-3	f	221	-	4.21	3.60	235	290	5536	4500	4680	20	55	11	259	1.34%	1.370	1.552	502.6	569.3	1.44	301,405	150x150x6	1
-	4.1	1	x	C/6-7	base-1	f	786	-	4.10	3.60	235	290	5456	4200	4536	40	90	36	846	1.34%	1.370	1.552	1644.9	1863.2	1.60	336,078	200x200x6	1
-	4.2	1	x	C/6-7	base-1	f	786	-	4.10	3.60	235	290	5456	4200	4536	40	90	36	846	1.34%	1.370	1.552	1644.9	1863.2	1.60	336,078	200x200x6	1
-	5.1	1	x	C/6-7	1-2	f	409	-	4.30	3.60	235	290	5604	4500	4720	30	70	21	423	1.34%	1.370	1.552	822.5	931.6	1.48	310,578	200x200x6	1
-	5.2	1	x	C/6-7	1-2	f	409	-	4.30	3.60	235	290	5604	4500	4720	30	70	21	423	1.34%	1.370	1.552	822.5	931.6	1.48	310,578	200x200x6	1
-	6.1	1	x	C/6-7	2-3	f	287	-	4.21	3.60	235	290	5536	4400	4620	20	75	15	306	1.34%	1.370	1.552	594.0	672.8	1.49	312,577	150x150x6	1
-	6.2	1	x	C/6-7	2-3	f	287	-	4.21	3.60	235	290	5536	4400	4620	20	75	15	306	1.34%	1.370	1.552	594.0	672.8	1.49	312,577	150x150x6	1
-	7.1	1	x	C/9-10	base-1	f	826	-	4.15	3.60	235	290	5490	4200	4536	40	95	38	846	1.34%	1.370	1.552	1644.9	1863.2	1.61	338,166	200x200x6	1
-	7.2	1	x	C/9-10	base-1	f	826	-	4.15	3.60	235	290	5490	4200	4536	40	95	38	846	1.34%	1.370	1.552	1644.9	1863.2	1.61	338,166	200x200x6	1
-	8.1	1	x	C/9-10	1-2	f	145	-	4.25	3.60	235	290	5570	4500	4720	20	75	15	353	1.34%	1.370	1.552	685.4	776.3	1.47	307,715	200x200x6	1
-	8.2	1	x	C/9-10	1-2	f	145	-	4.25	3.60	235	290	5570	4500	4720	20	75	15	353	1.34%	1.370	1.552	685.4	776.3	1.47	307,715	200x200x6	1
-	9.1	1	x	C/9-10	2-3	f	257	-	4.25	3.60	235	290	5570	4500	4720	20	65	13	282	1.34%	1.370	1.552	548.3	621.1	1.46	305,961	150x150x6	1
-	9.2	1	x	C/9-10	2-3	f	257	-	4.25	3.60	235	290	5570	4500	4720	20	65	13	282	1.34%	1.370	1.552	548.3	621.1	1.46	305,961	150x150x6	1
-	10.1	1	x	C/11-12	base-1	f	741	-	4.15	3.60	235	290	5490	4200	4520	40	80	32	752	1.34%	1.370	1.552	1462.1	1656.2	1.60	335,426	200x200x6	1
-	10.2	1	x	C/11-12	base-1	f	741	-	4.15	3.60	235	290	5490	4200	4520	40	80	32	752	1.34%	1.370	1.552	1462.1	1656.2	1.60	335,426	200x200x6	1
-	11.1	1	x	C/11-12	1-2	f	423	-	4.25	3.60	235	290	5570	4500	4736	30	65	19.5	458	1.34%	1.370	1.552	891.0	1009.2	1.47	307,888	200x200x6	1
-	11.2	1	x	C/11-12	1-2	f	423	-	4.25	3.60	235	290	5570	4500	4736	30	65	19.5	458	1.34%	1.370	1.552	891.0	1009.2	1.47	307,888	200x200x6	1
-	12.1	1	x	C/11-12	2-3	f	336	-	4.25	3.60	235	290	5570	4500	4720	20	75	15	353	1.34%	1.370	1.552	685.4	776.3	1.47	307,715	200x200x6	1
-	12.2	1	x	C/11-12	2-3	f	336	-	4.25	3.60	235	290	5570	4500	4720	20	75	15	353	1.34%	1.370	1.552	685.4	776.3	1.47	307,715	200x200x6	1
-	13	1	y	3/C-B	base-1	f	525	-	4.36	3.63	235	290	5666	4200	4470	30	75	22.5	529	1.34%	1.370	1.552	1028.1	1164.5	1.63	342,807	200x200x6	1
-	14	1	y	3/C-B	base-1	f	525	-	4.36	3.58	235	290	5634	4200	4470	30	75	22.5	529	1.34%	1.370	1.552	1028.1	1164.5	1.62	340,879	200x200x6	1
-	15	1	y	3/C-B	1-2	f	548	-	4.25	3.63	235	290	5586	4500	4770	30	80	24	564	1.34%	1.370	1.552	1096.6	1242.1	1.48	311,388	200x200x6	1
-	16	1	y	3/C-B	1-2	f	548	-	4.25	3.58	235	290	5554	4500	4770	30	80	24	564	1.34%	1.370	1.552	1096.6	1242.1	1.47	309,587	200x200x6	1
-	17	1	y	3/C-B	2-3	f	339	-	4.25	3.63	235	290	5586	4500	4720	20	75	15	353	1.34%	1.370	1.552	685.4	776.3	1.47	308,609	200x200x6	1
-	18	1	y	3/C-B	2-3	f	339	-	4.25	3.58	235	290	5554	4500	4720	20	75	15	353	1.34%	1.370	1.552	685.4	776.3	1.46	306,824	200x200x6	1
-	19	1	y	8/C-B	base-1	f	412	-	4.36	3.63	235	290	5666	4300	4520	20	90	18	423	1.34%	1.370	1.552	822.5	931.6	1.58	331,516	200x200x6	1
-	20	1	y	8/C-B	base-1	f	412	-	4.36	3.58	235	290	5634	4300	4520	20	90	18	423	1.34%	1.370	1.552	822.5	931.6	1.57	329,652	200x200x6	1
-	21	1	y	8/C-B	1-2	f	409	-	4.25	3.63	235	290	5586	4500	4720	20	90	18	423	1.34%	1.370	1.552	822.5	931.6	1.47	309,568	200x200x6	1
-	22	1	y	8/C-B	1-2	f	409	-	4.25	3.58	235	290	5554	4500	4720	20	90	18	423	1.34%	1.370	1.552	822.5	931.6	1.47	307,777	200x200x6	1
-	23	1	y	8/C-B	2-3	f	325	-	4.25	3.63	235	290	5586	4500	4720	20	75	15	353	1.34%	1.370	1.552	685.4	776.3	1.47	308,609	200x200x6	1
-	24	1	y	8/C-B	2-3	f	325	-	4.25	3.58	235	290	5554	4500	4720	20	75	15	353	1.34%	1.370	1.552	685.4	776.3	1.46	306,824	200x200x6	1
-	25	1	y	8/C-B	base-1	f	492	-	4.36	3.63	235	290	5666	4200	4470	30	75	22.5	529	1.34%	1.370	1.552	1028.1	1164.5	1.63	342,807	200x200x6	1
-	26	1	y	8/C-B	base-1	f	492	-	4.36	3.58	235	290	5634	4200	4470	30	75	22.5	529	1.34%	1.370	1.552	1028.1	1164.5	1.62	340,879	200x200x6	1
-	27	1	y	8/C-B	1-2	f	465	-	4.25	3.63	235	290	5586	4500	4736	30	70	21	494	1.34%	1.370	1.552	959.5	1086.8	1.47	309,103	200x200x6	1
-	28	1	y	8/C-B	1-2	f	465	-	4.25	3.58	235	290	5554	4500	4736	30	70	21	494	1.34%	1.370	1.55						

StarSeismicHesap.xls

initial data										core material		lengths			core section details						design details								
Brace		pieces	direction	grid	elevation	area(a) or force(f) based design	Given axial force Pu (kN)	Given A _{req} (mm ²)	rise (wp-wp vertical) (m)	run (wp-wp horizontal) (m)	f _{y,min} (N/mm ²)	f _{y,max} (N/mm ²)	workpoint to workpoint (mm)	pin to pin (mm)	total length of BRB (mm)	thickness c _{core} (mm)	height b _{red} (mm)	Area A _{sc} (cm2)	ΦP _{ysc} (φ = 0.9) (kN)	Pu/ΦP _{ysc} <1	1.5 x strain ε (%)	ω	ωβ	A _{core} * f _{y,act} *ω*σ _ω (kN)	A _{core} * f _{y,act} *ωβ*σ _ω β (kN)	K _{eff} /K _{wp}	E _{new} (N/mm ²)	tube section	number of tubes
Customer	SSE																												
-	1.1	1	x	C/4-5	base-1	f	811	-	4.15	3.60	235	290	5490	4200	4536	40	95	38	893	0.91	1.34%	1.370	1.552	1644.9	1863.2	1.61	338,166	200x200x6	1
-	1.2	1	x	C/4-5	base-1	f	811	-	4.15	3.60	235	290	5490	4200	4536	40	95	38	893	0.91	1.34%	1.370	1.552	1644.9	1863.2	1.61	338,166	200x200x6	1
-	2.1	1	x	C/4-5	1-2	f	349	-	4.25	3.60	235	290	5570	4500	4720	20	75	15	353	0.99	1.34%	1.370	1.552	685.4	776.3	1.47	307,715	200x200x6	1
-	2.2	1	x	C/4-5	1-2	f	349	-	4.25	3.60	235	290	5570	4500	4720	20	75	15	353	0.99	1.34%	1.370	1.552	685.4	776.3	1.47	307,715	200x200x6	1
-	3.1	1	x	C/4-5	2-3	f	221	-	4.21	3.60	235	290	5536	4500	4680	20	55	11	259	0.85	1.34%	1.370	1.552	502.6	569.3	1.44	301,405	150x150x6	1
-	3.2	1	x	C/4-5	2-3	f	221	-	4.21	3.60	235	290	5536	4500	4680	20	55	11	259	0.85	1.34%	1.370	1.552	502.6	569.3	1.44	301,405	150x150x6	1
-	4.1	1	x	C/6-7	base-1	f	786	-	4.10	3.60	235	290	5456	4200	4536	40	90	36	846	0.93	1.34%	1.370	1.552	1644.9	1863.2	1.60	336,078	200x200x6	1
-	4.2	1	x	C/6-7	base-1	f	786	-	4.10	3.60	235	290	5456	4200	4536	40	90	36	846	0.93	1.34%	1.370	1.552	1644.9	1863.2	1.60	336,078	200x200x6	1
-	5.1	1	x	C/6-7	1-2	f	409	-	4.30	3.60	235	290	5604	4500	4720	30	70	21	494	0.83	1.34%	1.370	1.552	822.5	931.6	1.48	310,578	200x200x6	1
-	5.2	1	x	C/6-7	1-2	f	409	-	4.30	3.60	235	290	5604	4500	4720	30	70	21	494	0.83	1.34%	1.370	1.552	822.5	931.6	1.48	310,578	200x200x6	1
-	6.1	1	x	C/6-7	2-3	f	287	-	4.21	3.60	235	290	5536	4400	4620	20	75	15	353	0.81	1.34%	1.370	1.552	594.0	672.8	1.49	312,577	150x150x6	1
-	6.2	1	x	C/6-7	2-3	f	287	-	4.21	3.60	235	290	5536	4400	4620	20	75	15	353	0.81	1.34%	1.370	1.552	594.0	672.8	1.49	312,577	150x150x6	1
-	7.1	1	x	C/9-10	base-1	f	826	-	4.15	3.60	235	290	5490	4200	4536	40	95	38	893	0.92	1.34%	1.370	1.552	1644.9	1863.2	1.61	338,166	200x200x6	1
-	7.2	1	x	C/9-10	base-1	f	826	-	4.15	3.60	235	290	5490	4200	4536	40	95	38	893	0.92	1.34%	1.370	1.552	1644.9	1863.2	1.61	338,166	200x200x6	1
-	8.1	1	x	C/9-10	1-2	f	145	-	4.25	3.60	235	290	5570	4500	4720	20	75	15	353	0.41	1.34%	1.370	1.552	685.4	776.3	1.47	307,715	200x200x6	1
-	8.2	1	x	C/9-10	1-2	f	145	-	4.25	3.60	235	290	5570	4500	4720	20	75	15	353	0.41	1.34%	1.370	1.552	685.4	776.3	1.47	307,715	200x200x6	1
-	9.1	1	x	C/9-10	2-3	f	257	-	4.25	3.60	235	290	5570	4500	4720	20	65	13	306	0.84	1.34%	1.370	1.552	548.3	621.1	1.46	305,961	150x150x6	1
-	9.2	1	x	C/9-10	2-3	f	257	-	4.25	3.60	235	290	5570	4500	4720	20	65	13	306	0.84	1.34%	1.370	1.552	548.3	621.1	1.46	305,961	150x150x6	1
-	10.1	1	x	C/11-12	base-1	f	741	-	4.15	3.60	235	290	5490	4200	4520	40	80	32	752	0.99	1.34%	1.370	1.552	1462.1	1656.2	1.60	335,426	200x200x6	1
-	10.2	1	x	C/11-12	base-1	f	741	-	4.15	3.60	235	290	5490	4200	4520	40	80	32	752	0.99	1.34%	1.370	1.552	1462.1	1656.2	1.60	335,426	200x200x6	1
-	11.1	1	x	C/11-12	1-2	f	423	-	4.25	3.60	235	290	5570	4500	4736	30	65	19.5	458	0.92	1.34%	1.370	1.552	891.0	1009.2	1.47	307,888	200x200x6	1
-	11.2	1	x	C/11-12	1-2	f	423	-	4.25	3.60	235	290	5570	4500	4736	30	65	19.5	458	0.92	1.34%	1.370	1.552	891.0	1009.2	1.47	307,888	200x200x6	1
-	12.1	1	x	C/11-12	2-3	f	336	-	4.25	3.60	235	290	5570	4500	4720	20	75	15	353	0.95	1.34%	1.370	1.552	685.4	776.3	1.47	307,715	200x200x6	1
-	12.2	1	x	C/11-12	2-3	f	336	-	4.25	3.60	235	290	5570	4500	4720	20	75	15	353	0.95	1.34%	1.370	1.552	685.4	776.3	1.47	307,715	200x200x6	1
-	13	1	y	3'/C-B	base-1	f	525	-	4.36	3.63	235	290	5666	4200	4470	30	75	22.5	529	0.99	1.34%	1.370	1.552	1028.1	1164.5	1.63	342,807	200x200x6	1
-	14	1	y	3'/C-B	base-1	f	525	-	4.36	3.58	235	290	5634	4200	4470	30	75	22.5	529	0.99	1.34%	1.370	1.552	1028.1	1164.5	1.62	340,879	200x200x6	1
-	15	1	y	3'/C-B	1-2	f	548	-	4.25	3.63	235	290	5586	4500	4770	30	80	24	564	0.97	1.34%	1.370	1.552	1096.6	1242.1	1.48	311,388	200x200x6	1
-	16	1	y	3'/C-B	1-2	f	548	-	4.25	3.58	235	290	5554	4500	4770	30	80	24	564	0.97	1.34%	1.370	1.552	1096.6	1242.1	1.47	309,587	200x200x6	1
-	17	1	y	3'/C-B	2-3	f	339	-	4.25	3.63	235	290	5586	4500	4720	20	75	15	353	0.96	1.34%	1.370	1.552	685.4	776.3	1.47	308,609	200x200x6	1
-	18	1	y	3'/C-B	2-3	f	339	-	4.25	3.58	235	290	5554	4500	4720	20	75	15	353	0.96	1.34%	1.370	1.552	685.4	776.3	1.46	306,824	200x200x6	1
-	19	1	y	8/C-B	base-1	f	412	-	4.36	3.63	235	290	5666	4300	4520	20	90	18	423	0.97	1.34%	1.370	1.552	822.5	931.6	1.58	331,516	200x200x6	1
-	20	1	y	8/C-B	base-1	f	412	-	4.36	3.58	235	290	5634	4300	4520	20	90	18	423	0.97	1.34%	1.370	1.552	822.5	931.6	1.57	329,652	200x200x6	1
-	21	1	y	8/C-B	1-2	f	409	-	4.25	3.63	235	290	5586	4500	4720	20	90	18	423	0.97	1.34%	1.370	1.552	822.5	931.6	1.47	309,568	200x200x6	1
-	22	1	y	8/C-B	1-2	f	409	-	4.25	3.58	235	290	5554	4500	4720	20	90	18	423	0.97	1.34%	1.370	1.552	822.5	931.6	1.47	307,777	200x200x6	1
-	23	1	y	8/C-B	2-3	f	325	-	4.25	3.63	235	290	5586	4500	4720	20	75	15	353	0.92	1.34%	1.370	1.552	685.4	776.3	1.47	308,609	200x200x6	1
-	24	1	y	8/C-B	2-3	f	325	-	4.25	3.58	235	290	5554	4500	4720	20	75	15	353	0.92	1.34%	1.370	1.552	685.4	776.3	1.46	306,824	200x200x6	1
-	25	1	y	8'/C-B	base-1	f	492	-	4.36	3.63	235	290	5666	4200	4470	30	75	22.5	529										

Çekirdek Boyutları

$C_{core} = 40$ mm

$b_{mid} = 90$ mm

Girilen Değer

Sonuç

$R_y = 1$

$\omega\beta = 1.552$

$F_{ysc} = 290$ N/mm² Star Seismic tarafından kupon testleri yapıp elde edilen değer

$A_{sc} = 3600$ mm

$P_u = \omega\beta * R_y * F_{ysc} * A_{sc}$ $P_u = 1620.288$ kN

P_u : Çaprazlı birleşimin çekme ve basınçta sahip olması gereken dayanım

Bayrak	Çelik	t_L	Total Repad Plate Thickness 2*t _{rp}	E	F_{yL}	F_{uL}
Levhası	Kalitesi	(mm)	(mm)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)
PL30	S355JR	30	30	210000	385	600

Bayrak levhasına açılan mafsal çapının taşıma gücü kapasitesi

$L_c = 87.5$ mm

$\phi R_n = 0.75 * 1.2 * L_c * t_L * F_{uL}$ $\phi R_n = 2835$ kN

Levha taşıma gücü kapasitesine göre uygundur

Whitemore alanının akma kapasitesi

$W = 163.6$ mm

$A_g = W * t_L$ $A_g = 9816$ mm²

$\phi R_n = 0.9 * F_{yL} * A_g$ $\phi R_n = 3401.244$ kN

Levha çekmede akma kapasitesine göre uygundur

Bayrak levhalarının burkulması ve burkulma kapasitesinin hesap modeli

$F_e \geq 0.44 F_{yL}$ ise $F_{cr} = \left[0.658 \frac{F_{yL}}{F_e} \right] F_{yL}$

$F_e < 0.44 F_{yL}$ ise $F_e = 0.877 F_{yL}$

F_e : elastik kritik burkulma gerilmesi

$K = 1$ (Bayrak levhaları için etkili burkulma boyu)

$r = 7.22$ mm (Eylemsizlik Yarıçapı)

$L = 188.46$ mm (Bayrak levhası kolon boyu)

$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r} \right)^2}$ $F_e = 3038.89$ N/mm² $169.4 F_e \geq 0.44 F_{yL}$

$F_{cr} = 365.12$ N/mm²

Bayrak Levhasının Burkulma Kapasitesi

$\phi R_n = \phi F_{cr} A_g$ $\phi R_n = 3225.59$ kN

Levhanın burkulma kapasitesi yeterlidir

Bayrak plakası levhalarında serbest uç hesabı

$L_{fg} = 0.75 \sqrt{\frac{E}{F_{yL}}}$ $L_{fg} = 525.49$ mm

BÖÇ için PİN TASARIMI

Pin Kalitesi	Pin Çapı(mm)	Etkili Delik Çapı	Max Delik Çapı(mm)	F_{yL} (N/mm ²)	F_{uL} (N/mm ²)
ASTM/A490	ϕ	74	74.2	75	800

$P_u = 1620.288$ kN

Bulonun Çekme Kapasitesi

$\phi = 0.75$

$A_{b(mm^2)} = 4185.387$ bulon alanı

$\phi_t R_n = 0.75 F_u A_b$ $\phi_t R_n = 2354.28$ kN

Pin Uygundur

Şekil D.2 : Bölüm 2.2.1.1'e bağlı olarak detay tasarımı

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: Seçkin ÇETİNKAYA

Doğum Yeri ve Tarihi: Uzunköprü-EDİRNE-01/01/1987

Adres: Osmanağa Mah. Halitağa Cad. Ozan Apt. No:63/8
Kadıköy / İSTANBUL

E-Posta: seckin87itu@gmail.com

Lisans: İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ-2010
İnşaat Mühendisliği

Mesleki Deneyim ve Ödüller: Büro İstanbul İnşaat Müh. ve Müş. Firması
ARUP Mühendislik