

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BETONARME YAPILARDA BURKULMASI ÖNLENMİŞ ÇAPRAZ
ELEMENLARIN DOĞRUSAL OLMAYAN DAVRANIŞA ETKİSİ**

İSMAİL KÖSE

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YAPI MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI**

**DANIŞMAN
DOÇ. DR. BİLGE DORAN**

İSTANBUL, 2015

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BETONARME YAPILARDA BURKULMASI ÖNLENMİŞ ÇAPRAZ
ELEMENLARIN DOĞRUSAL OLMAYAN DAVRANIŞA ETKİSİ**

İSMAİL KÖSE

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YAPI MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI**

**DANIŞMAN
DOÇ. DR. BİLGE DORAN**

İSTANBUL, 2015

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BETONARME YAPILARDA BURKULMASI ÖNLENMİŞ ÇAPRAZ
ELEMENLARIN DOĞRUSAL OLMAYAN DAVRANIŞA ETKİSİ**

İsmail KÖSE tarafından hazırlanan tez çalışması 05.11.2015 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Bilge DORAN
Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Bilge DORAN
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Güray ARSLAN
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Bülent AKBAŞ
Gebze Teknik Üniversitesi

ÖNSÖZ

Üzerinde yaşadığımız gezegende ve bilinen evrenin tamamında geçerli olan fizik kuralları, insan oğlunun çözmesi gereken en büyük bilmecelerden biridir. Bu kurallara hakim olarak, onları kullanmayı, kullanarak yaşam seviyemizi bir sonraki seviyeye taşımayı amaç edinen insanlar, sürekli araştırarak geleceğimizi şekillendirmektedir. Medeniyeti inşaa eden inşaat mühendislerinin de asıl amacı bu doğrultuda ilerleyerek fizik kurallarıyla birlikte yaşanabilirliği, güvenliği arttıracak çevreler oluşturmak olmalıdır. Bunun için araştırmalı, bunun için gelişmelidir.

Bu tez içerisinde bahsedilen burkulması önlenmiş çapraz (BÖÇ) elemanlar, yine bu ihtiyaçlar ve araştırmalar sonucu ortaya çıkartılmıştır. Bende, benden önce yapılmış olan araştırmaları bir tık ileri götürmek adına çabaladım ve umarım başarabilmişimdir.

Öncelikle bu tezi hazırlarken hiç bir zaman bilgisini esirgemeyen, yaptığım hatalara sabırla yaklaşan, danışman hocam ve bir çok dersimin hocası Sayın Doç. Dr. Bilge Doran'a ne kadar teşekkür etsem azdır. Ayrıca yardımlarını esirgemeyen Sayın Mustafa Akbaba'ya, Sayın Erkan Şenol'a, her zaman yanımda olan aileme, dostlarıma, arkadaşlarıma ve kaynaklarını kullandığım herkese sonsuz teşekkürler.

Aralık, 2015

İsmail KÖSE

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	vii
KISALTMA LİSTESİ	ix
ŞEKİL LİSTESİ.....	x
ÇİZELGE LİSTESİ	xii
ÖZET.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
BÖLÜM 1	
GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı	3
1.3 Hipotez	5
BÖLÜM 2	
BURKULMASI ÖNLENMİŞ ÇAPRAZLAR (BÖÇ).....	6
2.1 BÖÇ Çalışma Mekanizması	8
2.2 BÖÇ Tasarım Esasları	13
2.3 BÖÇ ile Betonarme Yapılarda Kapasite Artışı.....	15
BÖLÜM 3	
BETONARME YAPILARIN ŞEKİL DEĞİŞTİRME ESASLI DEĞERLENDİRİLMESİ	18
3.1 Deprem Talep Spektrumunun Belirlenmesi.....	20
3.2 Statik İtme Eğrisinin Modal kapasite Eğrisine Dönüştürülmesi	21
3.3 Deprem Talep Eğrisi Eksen Değişimi	22
3.4 Hedef Yer Değiştirme Sınırı Tayini.....	23
3.4.1 $T_1^{(1)}$ Başlangıç Periyodunun T_B 'den Küçük Olması Durumu	24

3.4.2 $T_1^{(1)}$ Başlangıç Periyodunun T_B 'den Büyük Olması Durumu	25
3.5 Bina Güvenlik Seviyesinin Belirlenmesi.....	26
BÖLÜM 4	
SAYISAL İRDELEMELER.....	27
4.1 4 Katlı Betonarme Yapı.....	27
4.1.1 Yalın Çerçeve Sistem	30
4.1.2 Tek Kat Yüksekliğinde Burkulması Önlenmiş Çelik Çaprazlı Çerçeve Sistem	33
4.1.3 Çift Kat Yüksekliğinde Burkulması Önlenmiş Çelik Çaprazlı Çerçeve Sistem	36
4.2 8 Katlı Betonarme Yapı.....	39
4.2.1 Tek Kat Yüksekliğinde Burkulması Önlenmiş Çelik Çaprazlı Çerçeve Sistem	39
4.2.2 Çift Kat Yüksekliğinde Burkulması Önlenmiş Çelik Çaprazlı Çerçeve Sistem	43
BÖLÜM 5	
SONUÇLAR.....	47
KAYNAKLAR.....	49
ÖZGEÇMİŞ.....	52

SİMGE LİSTESİ

A_0	Etkin yer ivmesi katsayısı
A_{sc}	Minimum kesit alanı
$A(T)$	Spektral ivme katsayısı
C_d	Sapma büyütme faktörü
C_{max}	Pekleşmeli eksenel basınç kuvveti
C_{R1}	Spektral yer değiştirme oranı
d_1	Modal yer değiştirme
$d_1(p)$	Hedef spektral yer değiştirme değeri
$d_1^{(i)}$	i. itme adımı sonunda elde edilen birinci moda ait modal yer değiştirme
d_{max}^e	Elastik yer değiştirme
d_{max}^{ep}	Elasto-plastik yer değiştirme
E	Elastisite modülü
F_{sync}	Malzeme akma dayanımı
g	Yer-çekimi ivmesi (m/sn^2)
I	Bina önem katsayısı
L_p	Plastik mafsal boyu
L_{sync}	Akma uzunluğu
M_1	1. modal kütle
m_i	i. kattaki toplanmış kütle
N	Yapıdaki kat sayısı
P	En elverişsiz durum için eksenel yük değeri
P_{bx}	Eksenel yük kuvveti
R	Tepki modifikasyon katsayısı
R_{y1}	1. Moda ait dayanım azaltma katsayısı
$S(T)$	Spektrum katsayısı
S_a	Spektral ivme
$S_a(T)$	Elastik spektral ivme
S_d	Spektral yer değiştirme
S_{de1}	İtme analizinin ilk adımında birinci moda ait doğrusal elastik spektral yer değiştirme
T_{max}	Pekleşmeli eksenel çekme kuvveti
u_{N1}	En üst katın yer-değiştirmesi
$U_{xN1}^{(i)}$	Binanın tepesinde (N. katta) x deprem doğrultusunda i. itme adımı sonunda elde edilen birinci moda ait yer değiştirme

V_b	Taban kesme kuvveti
V_{x1}	Toplam taban kesme kuvveti
α_1	Modal ivme
$\alpha_1^{(i)}$	i. itme adımı sonunda elde edilen birinci moda ait modal ivme
α_{y1}	1. Moda ait eşdeğer akma ivmesi
β	BÖÇ basınç kuvveti kapasitesi pekleşme katsayısı
Δ_{bx}	Şekil değiştirme uzunluğu
Δ_{bm}	Etkin deformasyon miktarı
ω	BÖÇ çekme kuvveti pekleşme katsayısı
Γ_{x1}	Birinci doğal titreşim modu için Modal Katılım Çarpanı
Γ_1	Modal katılım çarpanı
Φ_p	Plastik eğrilik
θ_p	Plastik dönme
Φ_t	Toplam eğrilik
Φ_y	Elastik akma eğriliği
ϕ_{i1}	i. kattaki modun şekli (i. katın yanal yer değiştirmesi)
ϕ_{N1}	Yapının en üst katına ait yanal yer değiştirme
ϕ_{xN1}	Binanın tepesinde (N. katta) x deprem doğrultusunda i. itme adımı sonunda elde edilen birinci moda ait yer değiştirme

KISALTMA LİSTESİ

BÖÇ	Burkulması Önlendi Çapraz
BÖÇÇ	Burkulması Önlendi Çaprazlı Çerçeveseler (Buckling restrained braced frames)
GÇÇ	Geleneksel çelik çaprazlı çerçeveseler (Conventional Braced Frames)
MÇÇÇ	Merkezi çaprazlı çelik çerçeveseler
TDY2007	Deprem Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (Türk Deprem Yönetmeliği)

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 Geleneksel çelik çapraz uygulaması	4
Şekil 1.2 Çelik çaprazlı çerçeve sistem yapı	5
Şekil 2.1 Burkulması önlenmiş çapraz (BÖÇ)	7
Şekil 2.2 BÖÇ-tipik histerik davranış eğrileri	7
Şekil 2.3 Burkulması önlenmiş çaprazları oluşturan temel düşünce	8
Şekil 2.4 Çelik çapraz düzenleri	8
Şekil 2.5 Çapraz elemanın ve MÇÇÇ'nin çevrimsel davranışı.....	9
Şekil 2.6 Çaprazlarda düzlem dışı burkulma ve birleşimde kırılma	11
Şekil 2.7 BÖÇ elemanlarda histerik eğriler.....	12
Şekil 2.8 BÖÇ elemanlar için yapısal mekanizma.....	12
Şekil 2.9 BÖÇ kuvvet-deformasyon ilişkisi	15
Şekil 2.10 İvme-Yer değiştirme spektrumu - Modal kapasite diyagramı (Mevcut Yapı)	16
Şekil 2.11 İvme-Yer değiştirme spektrumu - Modal kapasite diyagramı (BÖÇ ile güçlendirilmiş yapı)	16
Şekil 2.12 İtme eğrileri	17
Şekil 2.13 X doğrultusundaki görelî kat öteleme oranları	17
Şekil 3.1 Statik itme eğrisi	19
Şekil 3.2 Yükleme-Yer değiştirme	19
Şekil 3.3 Tasarım depremi için spektrum eğrisi	20
Şekil 3.4 Statik itme eğrisinin modal kapasite eğrisine dönüştürülmesi	22
Şekil 3.5 Deprem talep eğrisi eksen değişimi	23
Şekil 3.6 Elastik spektrum eğrisinin azaltılarak elasto-plastik spektrumun elde edilmesi	23
Şekil 3.7 Deprem talep eğrisi ile modal kapasite eğrisinin birlikte gösterimi.....	24
Şekil 3.8 $T_1(1)$ Başlangıç periyodunun T_B 'den küçük olması durumu	25
Şekil 3.9 $T_1(1)$ Başlangıç periyodunun T_B 'den büyük olması durumu	25
Şekil 4.1 Tipik kat planı.....	28
Şekil 4.2 Analiz için kullanılan sistemler.....	29
Şekil 4.3 Tipik donatı detayı	29
Şekil 4.4 4 katlı yapı 3 boyutlu tipik görünüş	30
Şekil 4.5 Yalın çerçeve modeli.....	31

Şekil 4.6 1-Aksı kolonları X-yönündeki itme analizi son adımına ait eksenel kuvvetler .	32
Şekil 4.7 İvme-Yer değiştirme spektrumu - Modal kapasite diyagramı (Yalın çerçeve) .	33
Şekil 4.8 Tek kat yüksekliğinde BÖÇ elemanlı sistemin analiz modeli	33
Şekil 4.9 İtme analizi sonucunda kolonlar ve BÖÇ elemanlarda oluşan eksenel kuvvetler	34
Şekil 4.10 İvme-Yer değiştirme spektrumu - Modal kapasite diyagramı (Tek kat BÖÇ) .	35
Şekil 4.11 Kolon performans grafiği (Tek kat BÖÇ)	35
Şekil 4.12 Çift kat yüksekliğinde BÖÇ elemanlı sistemin analiz modeli	36
Şekil 4.13 İtme analizi sonucunda kolonlar ve BÖÇ elemanlarda oluşan eksenel kuvvetler	37
Şekil 4.14 İvme-Yer değiştirme spektrumu - Modal kapasite diyagramı (Çift kat BÖÇ) .	38
Şekil 4.15 Kolon performans grafiği (Çift kat BÖÇ)	38
Şekil 4.16 8 katlı tek kat BÖÇ yüksekliğinde yapı analiz modeli	40
Şekil 4.17 İtme analizi sonucunda kolonlar ve BÖÇ elemanlarda oluşan eksenel kuvvetler	41
Şekil 4.18 İvme-Yer değiştirme spektrumu - Modal kapasite diyagramı (Tek kat BÖÇ) .	42
Şekil 4.19 Kolon performans grafiği (Tek kat BÖÇ)	42
Şekil 4.20 8 katlı çift kat BÖÇ yüksekliğinde yapı analiz modeli	43
Şekil 4.21 İtme analizi sonucunda kolonlar ve BÖÇ elemanlarda oluşan eksenel kuvvetler	44

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2.1 Temel deprem kuvveti dayanım sistemi tasarım katsayıları ve faktörleri (FEMA 450).....	14
Çizelge 3.1 Spektrum Karakteristik Periyotları, TDY2007 Tablo 2.4.....	20

**BETONARME YAPILARDA BURKULMASI ÖNLENMİŞ ÇAPRAZ
ELEMENLARIN DOĞRUSAL OLMAYAN DAVRANIŞA ETKİSİ**

İsmail KÖSE

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Bilge DORAN

Depremi yapılar üstündeki etkisini azaltmak için uygulanan Burkulması Önlenmiş Çaprazlar (BÖÇ) genellikle çelik yapılarda kullanılmaktadır. Literatürde yeterli bilgi olmamasına rağmen, yeni betonarme binaların tasarımında veya güçlendirme amaçlı olarak mevcut betonarme binalarda BÖÇ elemanlar ile çerçeveler beraber kullanılmaktadır.

Bu tez kapsamında farklı kat sayılarına ve farklı uzunluk uygulama yöntemlerine sahip BÖÇ elemanlar incelenmiş ve karşılaştırılmıştır. 4 katlı ve 8 katlı betonarme yapılarda, tek kat yüksekliği ve çift kat yüksekliği boyunca bağlanan BÖÇ elemanlar kullanılmıştır. BÖÇ elemanların hesap kriterleri de tez içerisinde yer almaktadır.

Anahtar Kelimeler : Burkulması önlenmiş çapraz, BÖÇ, Betonarme yapılarda BÖÇ, itme analizi, performans değerlendirmesi

ABSTRACT

EFFECT OF BUCKLING RESTRAINED BRACES ON NONLINEAR BEHAVIOR OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES

İsmail KÖSE

Department of Civil Engineering

MSc. Thesis

Adviser: Assoc. Prof. Dr. Bilge DORAN

Buckling Restrained Braces which are used to decrease the effects of seismic forces usually are implemented on steel structures. Although the literature information is limited for the RC structures, frame with BRBS are being used for new and existing RC buildings.

In this thesis, BBRs which are implemented to structures having different number of stories, and which have different lengths are examined and compared with each other's. On structures with 4 and 8 stories, BRBS with one floor and two floor lengths is used separately. Also the design criteria of the BRB can be found in this thesis.

Keywords : Buckling restrained brace, BRB, RC structures with BRB, push-over analysis, performance evaluation

**YILDIZ TECHNICAL UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES**

GİRİŞ

Ülkemizdeki yapıların büyük çoğunluğunu oluşturan betonarme yapılar, kullanım amaçlarına göre tasarlanırlar ve bu tasarım sırasında dikkatli olunması gereken bir çok etken vardır. Bu etkenlerin yanısıra, günümüzde artmaya devam eden malzeme çeşitliliği, kompozit sistemleri daha çok öne çıkarmaktadır. Betonarme yapılarda çelik çapraz kullanımı da bunlardan biridir.

1.1 Literatür Özeti

Genel olarak bilinen çelik çapraz uygulamaları yine bilindiği üzere hem çekmeye, hemde basınca çalışan elemanlar değildir. Çekme ve basınç kuvvetleri karşısında dayanımı yüksek olan çelik çaprazlarda, burkulma kuvvetleri ortaya çıktığında kesit boyutuna göre şekil değiştirerek daha kolay dayanım kaybı oluşmaktadır. Çelik çaprazların bu dezavantajını ortadan kaldırmak adına çalışmalar yapılmıştır.

İlk olarak 1971 yılında, Japonya’da Yashino ve Karino tarafından deneysel bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada iki adet numune beton ile kaplanmış ve çelik ile aderansı engellenerek, çelik elemanların sadece eksenel yükleri karşılaması, betonarme katmanın ise burkulmayı önlemesi sağlanmıştır [1].

Konsept olarak ilk üretimi Japon bir firma olan Nippon Steel tarafından 1980 yılının sonlarında yapıldı. İlk olarak 1999 yılında Amerika Birleşik Devletlerinde, “Plant & Environmental Sciences Building” inşasında kullanılmıştır. 2002 yılında BÖÇ üretimi yapan CoreBrace LLC ve Star Seismic LLC firmaları kurulmuştur [2].

1990 yılında, Goel ve Lee [3] çelik sistemler kullanarak betonarme yapıların rehabilitasyonu ile ilgili bir deney yapmışlardır. Deney sonucunda bu sistemin betonarme yapının mukavemetini ve rijitliğini arttırdığını gördüler.

Maheri ve Sahebi, 1995 yılında betonarme yapılarda çelik çapraz kullanımını araştırmışlardır[4]. Bu araştırma sonucunda betonarme ve çelik çaprazların uygun şekilde bağlanmasıyla çelik çaprazların deprem perdelerine alternatif olabileceği sonucuna vardılar.

Kim ve Choi, 2004 yılında, BÖÇ elemanlarla oluşturulmuş çelik çerçeve sistem için non-linear analiz gerçekleştirerek enerji sönümleme kapasitesini ve deprem davranışını gözlemlediler [5]. Çalışmaları sonucunda çaprazların rijitliği artarken yapının maksimum yer değiştirmelerinin azaldığını gördüler.

Qiang, 2005 yılında, BÖÇ elemanların çeşitli türlerini incelemiştir [6]. İncelemelerinde BÖÇ elemanların, hem çekme hem de basınç kuvvetleri karşısında aynı deformasyon davranışını gösterdiğini ve kolay ayarlanabilir rijitlik ve mukavemet özellikleriyle daha fazla enerji sönümlemeye sahip oldukları sonucuna vardı.

Chang ve Chiu, 2011 yılında, 6 katlı BÖÇ elemanların kullanıldığı çelik bir yapının sismik davranışını incelediler [7]. İnceleme sonucunda BÖÇ elemanlar ile yapının hedeflenen yapı performans değerlerine ve can güvenliği performansına ulaşılabileceğini belirttiler.

Almansa et al.,2012 yılında, nümerik bir model oluşturarak BÖÇ elemanları, eşmerkezli çaprazlara alternatif olarak kullanıp karşılaştırma yapmışlar ve bu karşılaştırmının tatmin edici sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir [8].

Hoveidae and Rafezy, 2012 yılında, çeşitli açıklıklara ve kendilerine göre kusurlara sahip olan BÖÇ elemanlarda sonlu elemanlar analizi üzerine detaylı bir sunum yapmışlardır [9]. Sonuç şunu gösterdiki açıklık ne olursa olsun BÖÇ elemanların eğilme rijitlikleri gözle görülür derecede çaprazların genel burkulma davranışlarını etkilemektedir.

Khampanit, Leelataviwat, Kochanin ve Warnitchai, 2014 yılında, 5 katlı okul binasında yerçekimi yükleri altında inceleme yaparak BÖÇ elemanların gözle görülür derecede yanal kuvvet kapasitesini ve enerji sönümlmelerini arttırdığını gözlemlemişlerdir [10].

Zhang, Wu, Mei ve Shing, 2014 yılında, yaptıkları bir araştırmada BÖÇ ile güçlendirilmiş betonarme sistemde yanal rijitliğin arttığını ve sistemin enerji sönümleme kapasitesini arttırdığını gördüler [11].

Sutcu, Takeuchi ve Matsui, 2014 yılında yaptıkları çalışmada BÖÇ ve geleneksel çaprazlar ile güçlendirilmiş betonarme bir yapıyı incelemişlerdir [12]. Araştırma sonucunda BÖÇ ile güçlendirilmiş betonarme çevrevedeki yer değiştirmelerin gözle görülür derecede azaldığını, geleneksel çelik ile güçlendirilmiş sistemde dengeli olmayan histerik davranış gözlemlendiğinden BÖÇ'li çerçeve yapının daha avantajlı olduğunu sonuç olarak sunmuşlardır.

1.2 Tezin Amacı

Betonarme bir binanın deprem sırasında istenen performansı göstermesi için yeterli derecede mukavemete, rijitliğe ve süneklığe sahip olması gerekir. Betonarme yapıların sünekliliği önemli derecede birleşenlerinin detayına veya plastik deformasyonların oluşacağı bölgelere bağlıdır. Diğer yandan bir çok betonarme yapı, yapım yılları gereği şu andaki sismik kodlara göre tasarlanmamıştır ve bu da bir çok sorunu beraberinde getirmektedir. Teknolojinin ve deneyimin ilerlemesiyle değişen sismik kodların gerisinde kalan bu yapıların sorunlarının kanıtı, depremlerde gördükleri göçmeye kadar ulaşan hasarlardır [11].

Betonarme yapıların rijitliğinin artırılması ve deprem etkilerine maruz kaldığında yeterli performansı göstermesi için yapıya betonarme perdelerin eklenilmesi bilinen bir yöntemdir. Betonarme perdelerin deprem etkisi altında gösterdiği davranış çeşitli parametrelere göre değişmektedir. Binanın bulunduğu bölgedeki zemin özellikleri, yapının mevcut ağırlığı, taşıyıcı sistem elemanlarının konumu, boyutu ve mimari özellikler yapıların deprem davranışını ve hasar görebilme derecesini önemli oranda değiştirmektedir [13].

Diğer yandan, bir diğer yöntem olarakta çelik çapraz elemanların eklenilmesi farklı bir çözüm yolu olarak kullanılmaya başlanılmıştır. Düşey çelik çaprazlama sistemleri genellikle çelik çerçeveli yapılarda yatay yükleri karşılayan yapı taşıyıcı elemanları olarak karşılanmaktadır. Betonarme yapılarda çelik çapraz elemanlar deprem gibi yanal

kuvvetlere karşı dayanımı arttırmak için kullanılmaktadır. Bu durumda, ilave diagonal çapraz elemanlar ve çerçeve girdiler kompozit kirişin ağ elemanları haline gelir [14]. Ayrıca çelik sistemlerdeki montaj kolaylığı, çaprazların hasar durumunda müdahale edilebilirliği ve istenen dayanımı elde edebilmek için betondan daha zahmetsiz ve takip edilebilir bir malzeme olması, çelik çaprazları çekici hale getirmektedir. Şekil 1.1’de betonarme yapıya uygulanmış çelik çaprazlar görülmektedir. Şekil 1.2’de ise çelik yapıya uygulanan çelik çaprazlar görülebilir.



Şekil 1.1 Geleneksel çelik çapraz uygulaması



Şekil 1.2 Çelik çaprazlı çerçeve sistem yapı

Deprem kuvvetlerine karşı yapı taşıyıcı elemanlarının tasarımının esasları yapının yanal kuvvetlere karşı dayanımına bağlıdır. Binaların çoğunda bu düşey elemanların kombinasyonlarından bazılarına rastlanmaktadır. Bu sistemin herhangi bir bölümündeki hata ve bölümler arasındaki bağlantılardaki hata, binada çökmeye varan hasarlara neden olabilir [14].

Çelik çaprazlara alternatif olan BÖÇ elemanlar, çelik çaprazlar gibi bir çok uygulama çeşidiyle karşımıza çıkmaktadır. Bu tez kapsamında BÖÇ elemanlar, aynı veya benzer yapılarda farklı uygulama metodları için incelenmiştir.

1.3 Hipotez

Betonarme yapıların, çerçeve ile beraber çalışacak şekilde BÖÇ elemanların kullanılarak tasarımı uygulama yöntemlerine ve seçilen taşıyıcı eleman tiplerine göre yapıya sağladıkları katkılar farklılık göstermektedir. Özellikle uygulamada ardışık katların anılan elemanlarla bağlanması görece yer değiştirmeleri sınırlandırması açısından sıklıkla tercih edilmektedir. Bu tez kapsamında söz konusu bağlantıların tek kat ve iki katta bir yapılması durumunda alçak ve orta yükseklikteki betonarme yapılarda global sistem davranışı ayrı ayrı irdelenecektir.

BÖLÜM 2

BURKULMASI ÖNLENMİŞ ÇAPRAZLAR (BÖÇ)

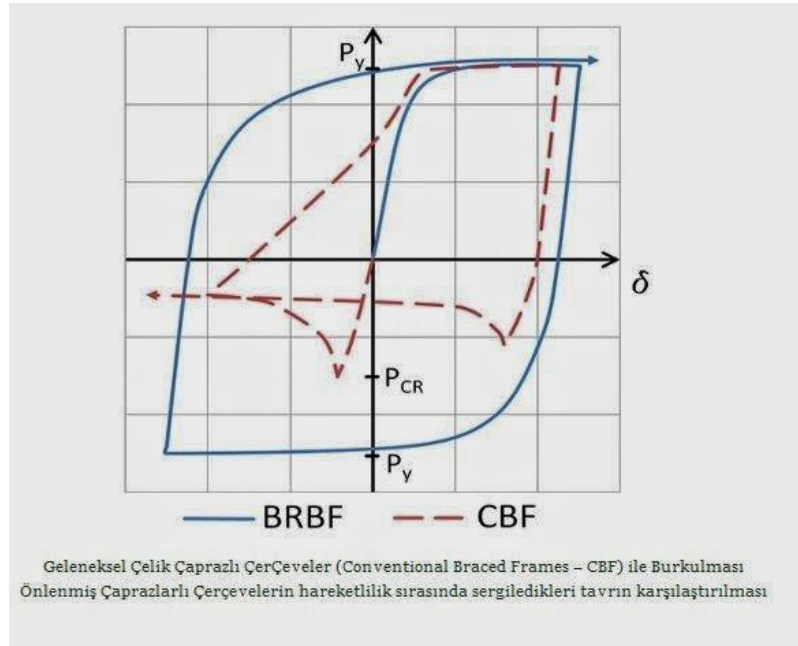
Geleneksel çelik çaprazlı çerçevelere alternatif olarak üretilen Burkulması Önlenmiş Çaprazlar (Şekil 2.1) önemli ölçüde enerji sönümleme özelliğine sahiptir [15].

Burkulması Önlenmiş Çaprazlar (BÖÇ) sismik ve diğer yüklere karşı yapıda destekleyici nitelikte kullanılır. BÖÇ elemanlar yüksek derecede sünekliğe sahiptirler ve yükler altında burkulmadan akmaya göre tasarlanırlar [10].

Geleneksel türdeki çelik çapraz çevrimsel yükler altında Şekil 2.2’de görüldüğü gibi asimetrik bir davranış sergilemekte; bir yandan çekmenin etkisiyle temel madde olan çeliğin esnekliğinden kaynaklanan yüksek ölçüde uyum sağlayabilme niteliğine sahip olmakla birlikte diğer taraftan basınç etkisiyle eğilme sonucunda ise verimlilikleri sınırlı kalmaktadır. İşte bu dengesizlik durumu yapısal öğelerin hareket sürecinin tüm aşamaları karşısında gösterecekleri direnç üzerinde etkili olmakta, bu da kendini taşıma kapasitesinin zamanla azalması biçiminde göstermektedir [15]. Yani doğası gereği geleneksel çaprazların basınç ve çekme kapasiteleri arasında büyük fark vardır [16].



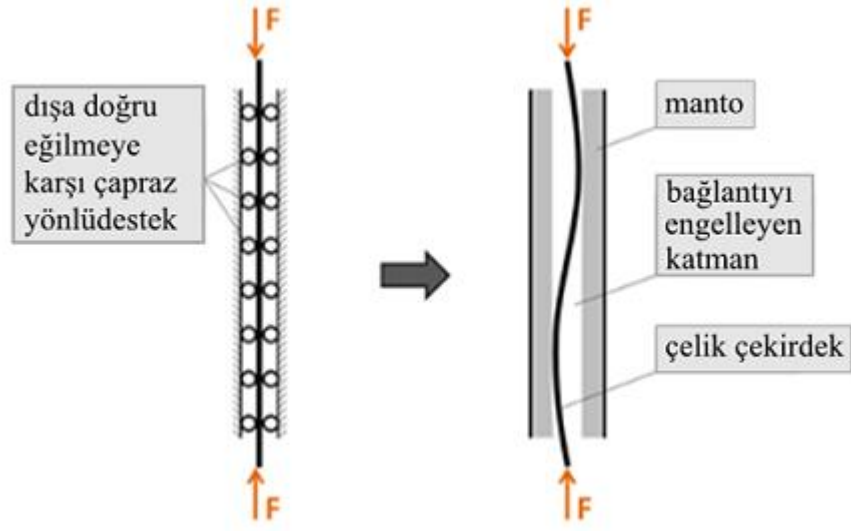
Şekil 2.1 Burkulması önlenmiş çapraz (BÖÇ)



Şekil 2.2 BÖÇ-tipik histerik davranış eğrileri

Dışa doğru eğilmenin engellenmesi durumunda ise (Şekil 2.3) –ki bu BÖÇ sisteminin temel düşüncesini oluşturan görüştür- yukarıda yer alan Şekil 2.2’de görüleceği üzere dengeli, önemli ölçüde esnek ve yüksek değerlerde enerji sönümleme parametrelerine

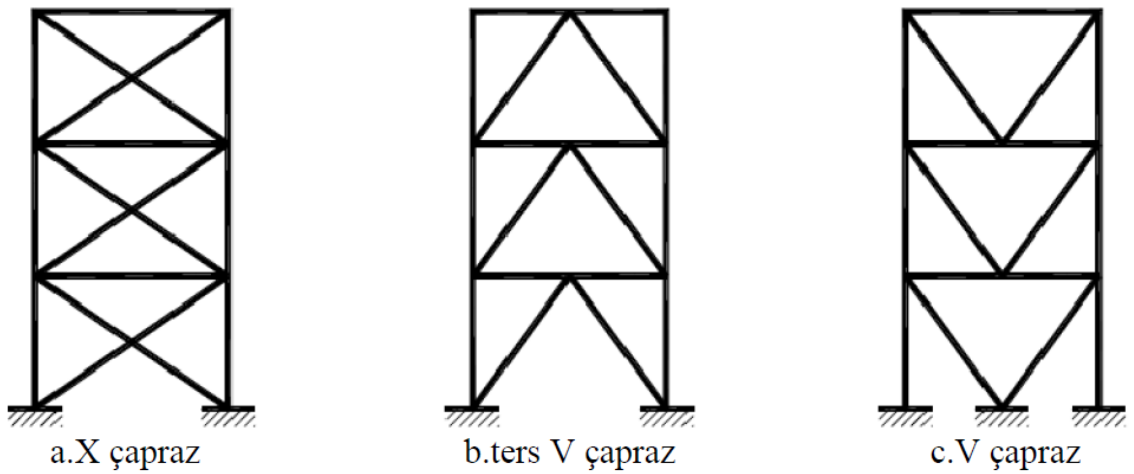
sahip davranışlar elde edilmektedir [17]. Tipik BÖÇ elemanlara ait mekanizma Şekil 2.3'te verilmiştir.



Şekil 2.3 Burkulması önlenmiş çaprazları oluşturan temel düşünce

2.1 BÖÇ Çalışma Mekanizması

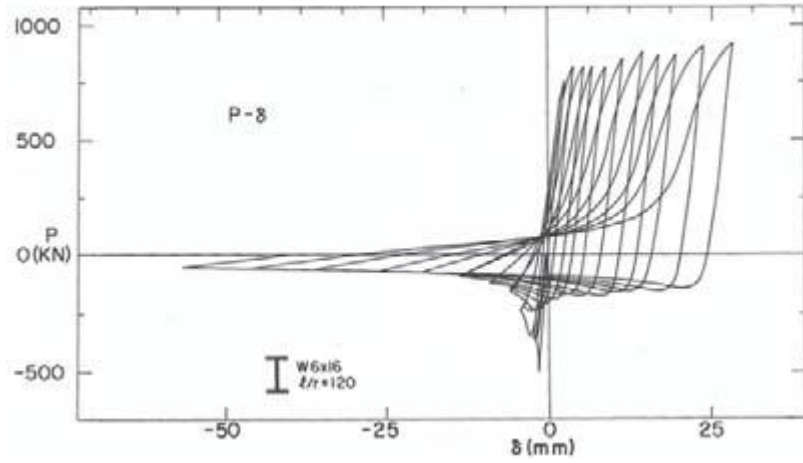
Geleneksel çapraz elemanların (Şekil 2.4) enerji sönümleme kapasiteleri burkulmadan ve rijitlik kaybından dolayı sınırlıdır [12]. Şiddetli yer hareketleri sırasında MÇÇÇ'lerdeki çapraz elemanlar çevrimsel çekme ve basınç etkisinde (burkularak) büyük doğrusal olmayan deformasyonlara maruz kalmaktadırlar. Çapraz elemanın burkulma ve burkulma sonrası dayanımı, eğer uygun tasarlanmazsa, çekme dayanımından önemli ölçüde düşük olacaktır (Şekil 2.5a). Bu da MÇÇÇ'nin enerji dağıtma kapasitesini ve sünekliğini önemli ölçüde azaltmaktadır (Şekil 2.5b) [18].



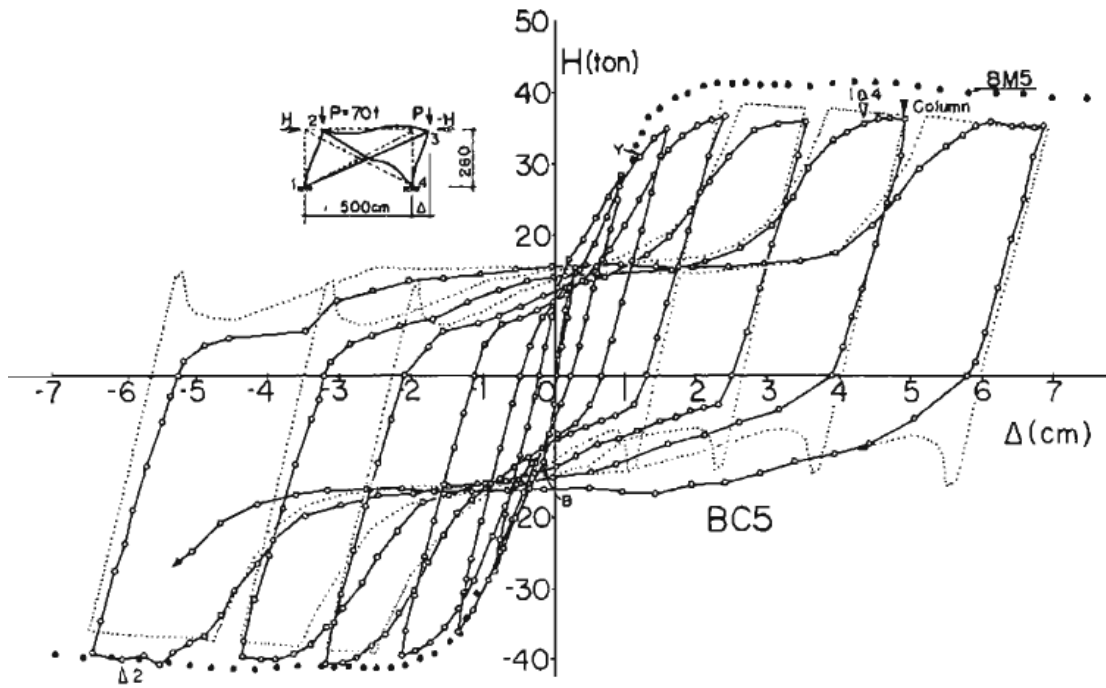
Şekil 2.4 Çelik çapraz düzenleri

Çapraz elemanın çevrimsel davranışı iki tasarım parametresinden önemli ölçüde etkilenmektedir [18]:

- Global burkulmayı önlemek için narinlik oranı,
- Lokal burkulmayı önlemek için genişlik/kalınlık (b/t) oranı.



a.Basınç çubuğu (19)



b.Tek katlı MÇÇÇ [20]

Şekil 2.5 Çapraz elemanın ve MÇÇÇ'nin çevrimsel davranışı

Plastik mafsallar genellikle global burkulmadan sonra çaprazın orta noktasında ve guse levhasının yakınında oluşur. Eğer lokal burkulma önlenmişse bu plastik mafsal noktalarında plastik dönmeler neticesinde önemli miktarda enerji dağıtılacaktır. Tipik bir MÇÇÇ’de çaprazlar çok büyük olmayan %0.3-0.5’lik görelî kat ötelemesi oranına erişildiğinde burkulurlar. Şiddetli deprem yer hareketleri sırasında çaprazlardaki burkulma sonrası eksenel deformasyonlar akma deformasyonunun 10-20 katına çıkabilir [21]. Bu derece büyük çevrimsel deformasyonları aprazların erken kırılma olmadan karşılayabilmesi için uygun bir şekilde detaylandırılması gereklidir. MÇÇÇ’lerde en sık gözlenen gevrek hasar modları olarak;

a. aşırı burkulma deformasyonundan dolayı çaprazlarda oluşan kırılma (Şekil 2.6a),

b. Çapraz birleşimlerinde kırılma (Şekil 2.6b)

sayılabilir [18].



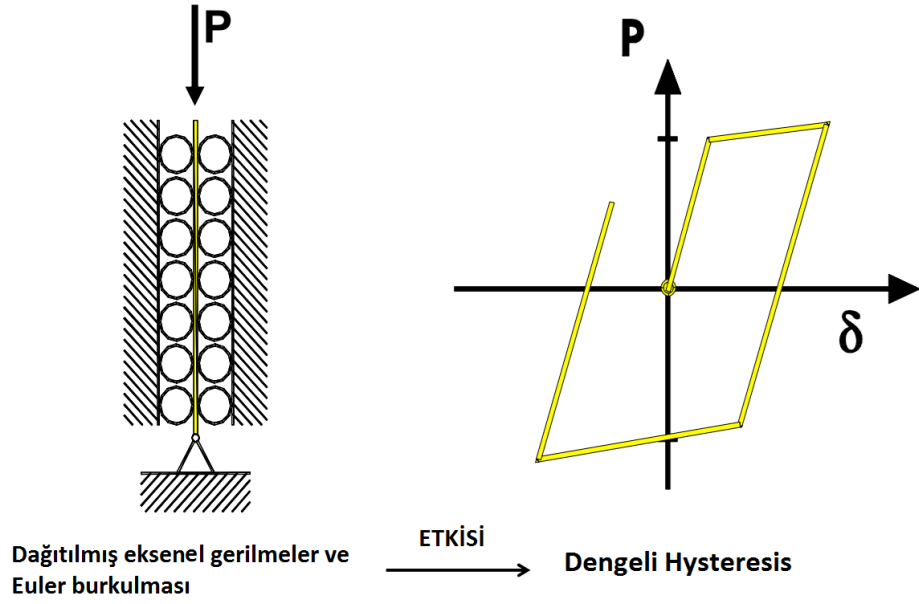
a.Düzlem dışı burkulma ve çaprazlarda kırılma [19]



b.Birleşimde kırılma [21]

Şekil 2.6 Çaprazlarda düzlem dışı burkulma ve birleşimde kırılma

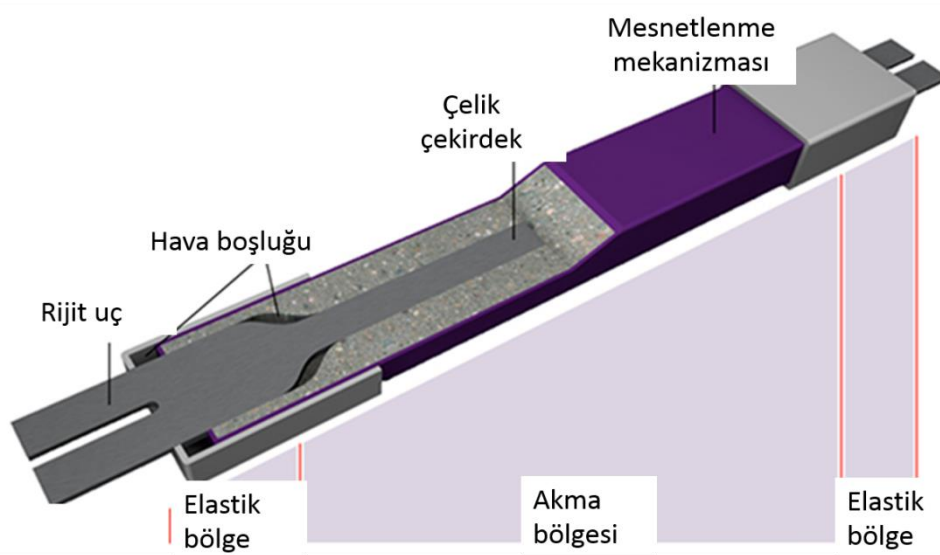
BÖÇ elemanlar şekil 2.7’de görüldüğü gibi çekme dayanımına benzer şekilde basınç dayanımına sahiptir ve histerik eğrileri dengeli bir grafik ortaya koymaktadır. Basınç kuvvetini, gerilme dayanımı ve eğilme-burkulma dayanımlarına ayırarak bunu gerçekleştirir. Bu manto, çelik, beton veya kompozit malzemelerden oluşabilir (Şekil 2.8). Manto, eğilme rijitliği sayesinde çelik çekirdeğin burkulmasını önler. İç kısımda bulunan çelik çekirdek bölümü BÖÇ üzerine gelen eksenel yükleri karşılar. Arada bulunan katman ise çelik çekirdek ve mantoyu birbirinden ayırarak aralarında diğer malzemenin davranışını kısıtlayacak bir etki olmasını önler. Bağlantı olarak mafsallı bağlanan BÖÇ elemanlar, üzerlerinde herhangi bir moment olmadan tamamen eksenel yük taşırlar.



Şekil 2.7 BÖÇ elemanlarda histerik eğriler

BÖÇ elemanlar temel olarak 3 ana bölüme ayrılmaktadır:

- Çelik çekirdek
- Manto ile çekirdek arasındaki ara malzeme
- Manto



Şekil 2.8 BÖÇ elemanlar için yapısal mekanizma

Çelik çekirdeğin inelastik davranışını aksel akma ile sınırlandırarak yüksek oranda süneklik sağlanmış olunur. Çelik materyalin sünekliği çoğunlukla çaprazın uzunluğuyla

orantılıdır. Bu yüzden bu çapraz elemanların histerik performansları, çelik çekirdeğinkiyle benzerlik göstermektedir.

2.2 BÖÇ Tasarım Esasları

BÖÇ elemanların analizinde elastik ve elastik ötesi davranışlar arasındaki fark çelik çaprazların analiz sonuçlarına göre daha az farklılıklar gösterir. Bu yüzden analiz için izleyeceği yol, analiz yapacak kişinin kararına ve öngörülerine kalmaktadır. Fakat daha gerçekçi sonuçlar için elastik olmayan analizlerin tercih edilmesi gerektiği bilinen bir gerçektir.

BÖÇ elemanların tasarlamaalarında elemanların histerik eğrileri kullanılmaktadır. Bu eğrileri elde edebilmek için de kesitleri belirlenmiş BÖÇ elemanlar için deneyler yapılmalı ve analizlerde dikkate alınmalıdır. Histerik eğrilerden elde edilen ω ve β katsayıları ile pekleşmeli taşıma güçleri elde edilmiş olur [22].

BÖÇÇ sistemlerin analizi ile ilgili kıstaslar şu anda FEMA450 [23] ve AISC [24] şartnamelerinde bulunmaktadır. Türk yönetmeliklerinde BÖÇ'ler ile ilgili herhangi bir bilgi bulunmamaktadır. Bu yüzden bu tez kapsamında bazı katsayılar FEMA450'den [23], çelik ile ilgili formülasyonlar DBYBHY 2007'den [25] alınmıştır [16].

BÖÇ elemanlar sadece eksenel kuvvete çalıştıkları için analiz modelleri oluşturulurken dikkat edilmesi gereken hususlardan bir tanesidir. BÖÇ elemanların mevcut kolon veya kirişler ile bağlantısı mafsallı olarak tanımlanmalı, moment kuvvetleri etkisinden kurtarılmalıdır.

Çizelge 2.1 Temel deprem kuvveti dayanım sistemi tasarım katsayıları ve faktörleri
(FEMA 450)

Temel Sismik-Kuvvet-Direnç Sistemi	Detaylandırılan Referans Bölümü	R^a	Ω_0^b	C_d^c	Sismik Dizayn Kategorisine göre Sistem Sınırlamalar ve Yükseklik Sınırları(ft)				
					B	C	D ^e	E ^e	F ^f
Düğüm noktalarından uzakta kolonlara momente dirençsiz bağlantılı çelik eksantrik çaprazlı çerçeveler	AISC Seismic, Part I, Sec. 15	7	2	4	NL	NL	160	160	100
Burkulması Önlenmiş Çapraz Çerçeveler, momente dirençsiz giriş-kolon bağlantıları		7	2	5½	NL	NL	160	160	100
Burkulması Önlenmiş Çapraz Çerçeveler, momente dirençli giriş-kolon bağlantıları		8	2½	5	NL	NL	160	160	100
Özel eş merkezli çelik çaprazlı çerçeveler	AISC Seismic, Part I, Sec. 13	6	2	5	NL	NL	160	160	100
Sıradan eş merkezli çelik çaprazlı çerçeveler	AISC Seismic, Part I, Sec. 14	5	2	4½	NL	NL	35 ^g	35 ^g	NP ^g
Özel betonarme perde duvarlar	9.2.1.6	6	2½	5	NL	NL	160	160	100
Sıradan betonarme perde duvarlar	9.2.1.4	5	2½	4½	NL	NL	NP	NP	NP
Detaylı düz beton perde duvarlar	9.2.1.2	2½	2½	2½	NL	NP	NP	NP	NP
Sıradan düz beton perde duvarlar	9.2.1.1	1½	2½	1½	NL	NP	NP	NP	NP
Orta derece prekast perde duvarlar	9.2.1.5	5	2½	4½	NL	NL	40 ^h	40 ^h	40 ^h
Sıradan prekast perde duvarlar	9.2.1.3	4	2½	4	NL	NP	NP	NP	NP
Kompozit eksantrik çaprazlı çerçeveler	AISC Seismic, Part II, Sec. 14	8	2½	4	NL	NL	160	160	100
Kompozit eş merkezli çaprazlı çerçeveler	AISC Seismic, Part II, Sec. 12	5	2	4½	NL	NL	160	160	100
Sıradan kompozit çaprazlı çerçeveler	AISC Seismic, Part II, Sec. 13	3	2	3	NL	NL	NP	NP	NP
Kompozit çelik levha perde duvarlar	AISC Seismic, Part II, Sec. 17	6½	2½	5½	NL	NL	160	160	100
Özel çelik levha perde duvarlar		7	2	6	NL	NL	160	160	100
Özel çelik elemanlı kompozit betonarme perde duvarlar	AISC Seismic, Part II, Sec. 16	6	2½	5	NL	NL	160	160	100
Sıradan çelik elemanlı kompozit betonarme perde duvarlar	AISC Seismic, Part II, Sec. 15	5	2½	4½	NL	NL	NP	NP	NP

Çizelge 2.1'den görülebileceği gibi FEMA 450'de [23] Burkulması Önlenmiş Çapraz Çerçeveler, momente dirençsiz giriş kolon bağlantıları için R katsayısı 8, Cd katsayısı da 5 olarak verilmiştir. Bu tez kapsamında da bu değerler kullanılmıştır.

Kullanılması gereken minimum kesit alanı için DBYBHY 2007'de [25] verilen formül kullanılmıştır. Burada Asc, minimum kesit alanı, Fysc malzeme akma dayanımı, P ise analiz sonucunda elde edilen en elverişsiz durum için eksenel yük değeridir. Bu formül ile P değeri bilinmeyen olarak bırakılıp belli bir kesitin taşıyabileceği yük değeri de bulunabilir.

$$P=0.9 \cdot F_{ysc} \cdot A_{sc} \quad (2.1)$$

BÖÇ elemanın şekil değiştirme miktarını hesaplamak için 2.2 numaralı formül kullanılır. Burada Pbx eksenel yük kuvveti ve Lsyc akma uzunluğudur. Akma uzunluğu için

alınması gereken değer üretici tarafından deneyler sonucu bulunur fakat biz analiz yaparken özel bir malzeme kullanmadığımız için 0.7L olarak kabul edeceğiz.

$$\Delta_{bx} = (P_{bx} * L_{syc}) / (E * A_{sc}) \quad (2.2)$$

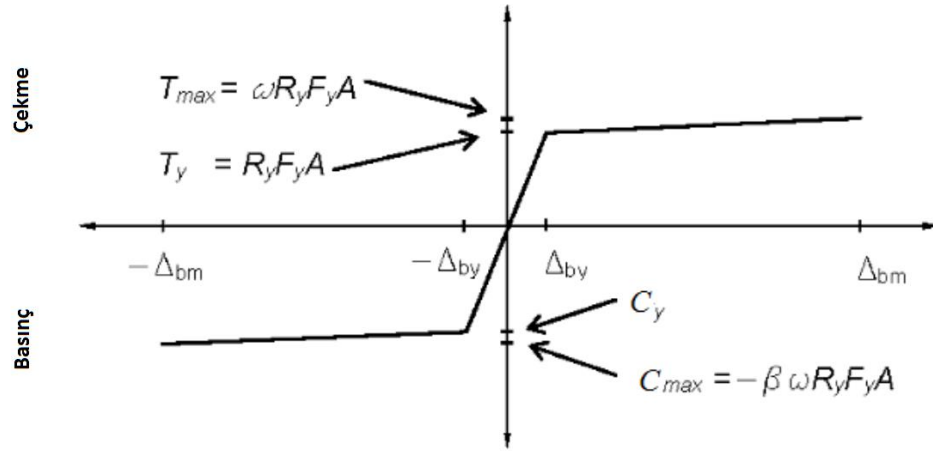
Azaltılmış deprem yüklerine göre hesaplanmış Δ_{bx} değeri Cd katsayısı ile çarpılarak etkin deformasyon miktarı denklem 2.3 ile bulunur.

$$\Delta_{bm} = C_d * \Delta_{bx} \quad (2.3)$$

Histerik eğrilerden elde edilen ω ve β katsayıları kullanılarak pekleşmeli eksenel çekme ve basınç kuvvetleri bulunur (Şekil 2.9).

$$C_{max} = \omega * \beta * P_{syc} \quad (2.4)$$

$$T_{max} = \omega * P_{syc} \quad (2.5)$$

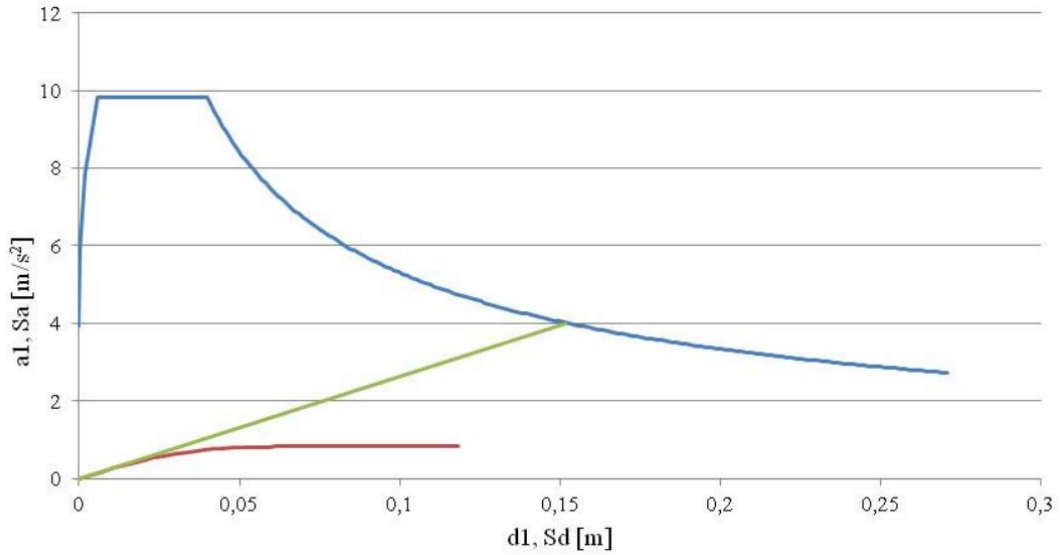


Şekil 2.9 BÖÇ kuvvet-deformasyon ilişkisi

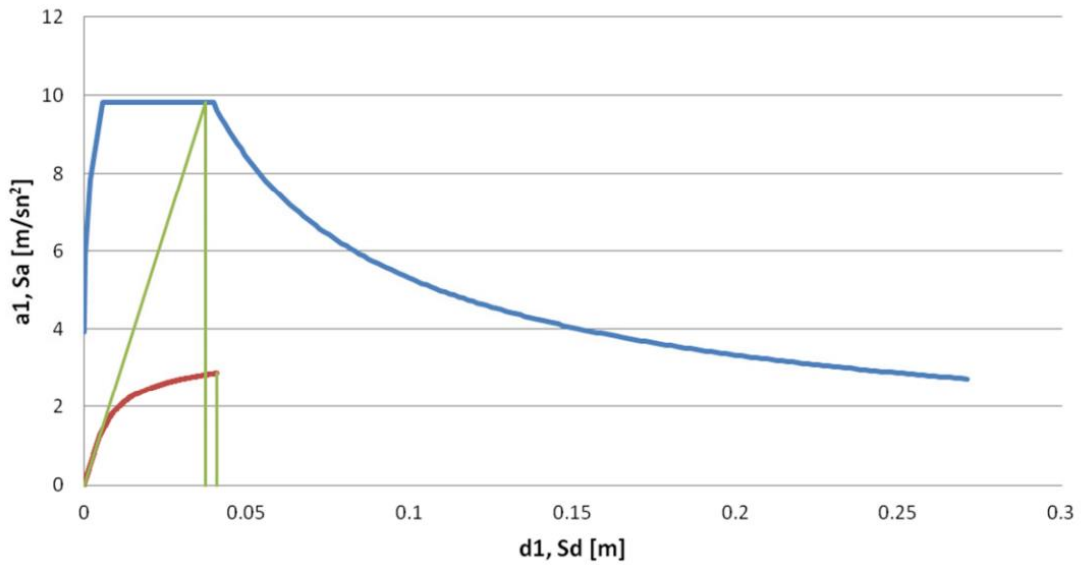
2.3 BÖÇ ile Betonarme Yapılarda Kapasite Artışı

Daha önceden yapılan çalışmalarda BÖÇ elemanların kullanıldığı betonarme ve çelik yapılarda, yapının sünekliğinin arttığı, yer değiştirmelerin gözle görülür derecede azaldığı belirlenmiştir [26].

Şekil 2.10 [26] ve Şekil 2.11'de [26], BÖÇ eleman kullanılan ve kullanılmayan yapılara ait spectral ivme-spectral yer değıştirmelerin modal kapasite diyagramlarında bahsedilen sonuçlar görölmektedir.

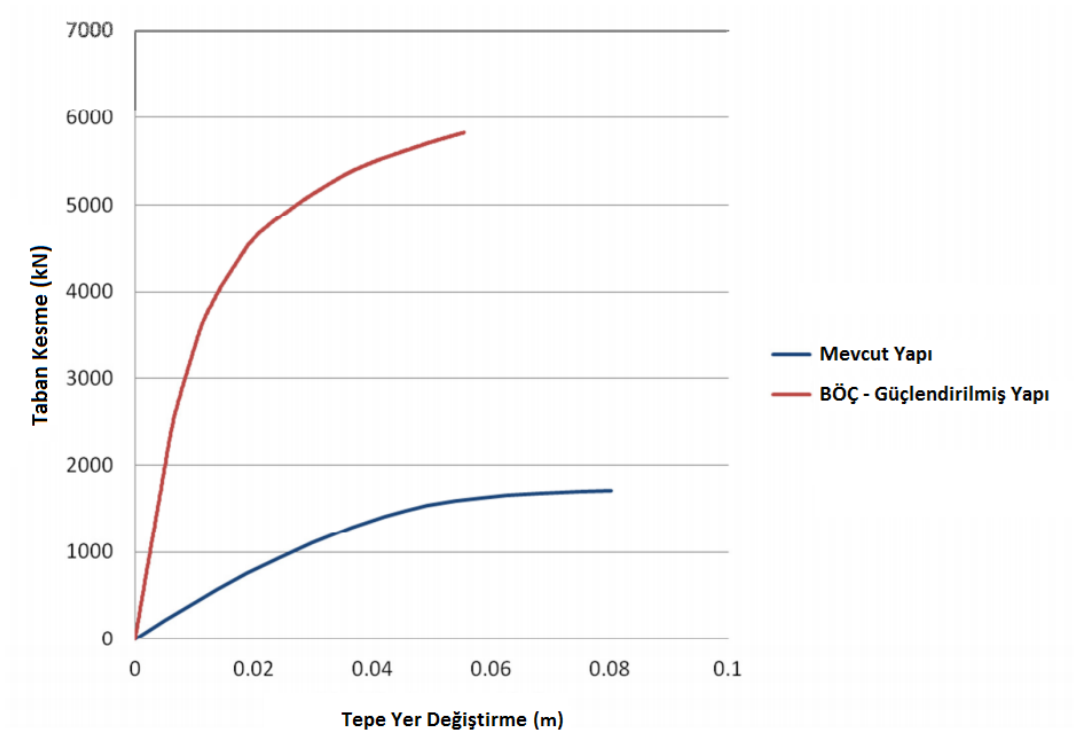


Şekil 2.10 İvme-Yer değıştirme spektrumu - Modal kapasite diyagramı (Mevcut Yapı)

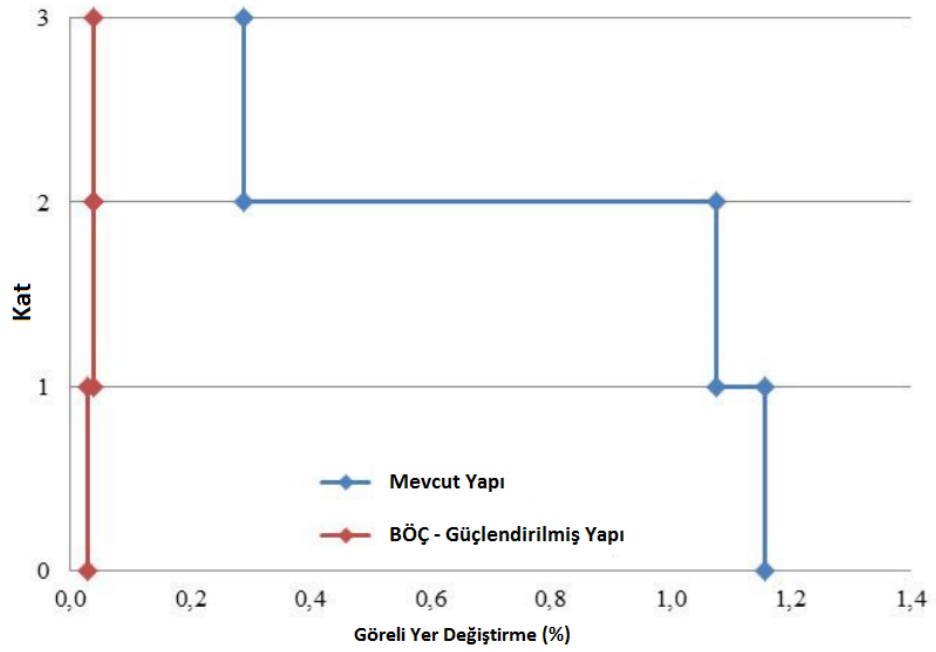


Şekil 2.11 İvme-Yer değıştirme spektrumu - Modal kapasite diyagramı (BÖÇ ile güçlendirilmiş yapı)

BÖÇ kullanılan ve kullanılmayan yapılara ait maksimum yer değıştirme ve görelî kat ötelemeri Şekil 2.12 [26] ve Şekil 2.13'de [26] görölmektedir. Yapılan çalışmada görelî kat ötelemelerinin %97 oranında azaldığı görölmektedir [26].



Şekil 2.12 İtme eğrileri



Şekil 2.13 X doğrultusundaki görelî kat öteleme oranları

BETONARME YAPILARIN ŞEKİL DEĞİŞTİRME ESASLI DEĞERLENDİRİLMESİ

Performans kavramı, deprem mühendisliğinde yeni gelişen bir kavram olup, önce mevcut yapıların deprem güvenliğinin belirlenmesi için gelişmiştir. Ancak, daha sonra bu yöntemin yeni yapıların tasarımında da kullanılabilmesi söz konusu olmuştur. Deprem sırasında yapıların davranışı elastik sınırlar ötesine geçmektedir. Doğrusal analiz yöntemleri ile açıklanamayan elasto-plastik davranışı tahmin etmek için doğrusal olmayan analiz yöntemlerinin kullanılması gerekmektedir [27].

Doğrusal elastik olmayan yöntemlerin amacı, belirli bir deprem için öncelikle kesit bazında sünek davranışa ilişkin plastik şekil değiştirme, sonrasında gevrek davranışa ilişkin iç kuvvet değerlerinin hesaplanmasıdır. Bulunan değerler, her kesite ait tanımlanmış olan şekil değiştirme kapasiteleri ve iç kuvvet kapasiteleri ile karşılaştırılır. Öncelikle kesit bazında yapılan performans değerlendirmesi, bina bazında bir değerlendirmeye dönüştürülür.

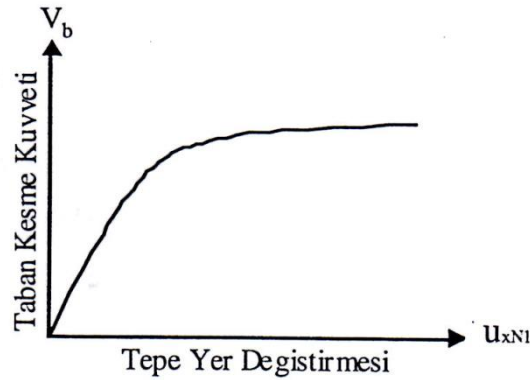
Doğrusal elastik olmayan yöntemlerde artan yükler altında analiz modelinde bulunan yapısal elemanlar, kapasite değerlerine ulaştıkça bu elemanlar tarafından taşınan yükün diğer elemanlar tarafından taşınmasına izin verilir. Bu bağlamda deprem etkisinde binanın davranışı ile ilgili mekanizma durumlarını gösteren sonuçlar, elastik yöntemle göre daha gerçekçi bir şekilde bulunur.

Yapılan analizle taşıyıcı sistemin yatay yük kapasitesi ile deprem etkisi talebinin buluşturularak, depremlili duruma karşı gelen performans durumu belirlenir. Bunu 4 adımda gerçekleştirmek mümkündür [28].

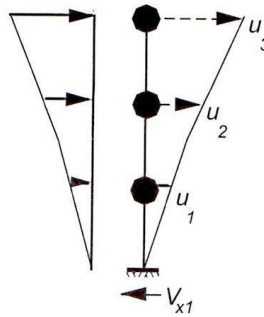
- Kapasite eğrisi belirlenir

- Deprem etkisinin talep eğrisinin belirlenmesi
- İki eğrinin kesiştirilerek taşıyıcı sistemde dengenin olduğu bina performans durumunun belirlenmesi
- Performans durumunda iç kuvvetler ve şekil değiştirme durumunun incelenerek sağlanan performans durumunun hedeflenene uygun olup olmadığının tespiti

Yapısal kapasite statik itme eğrisi ile ifade edilir (Şekil 3.1). Taşıyıcı sistemin geometrisi, kesit ve malzeme özellikleri ve taşıyıcı sistem elastik ötesi davranışı göz önüne alınarak sistem adım adım yüklenir (Statik İtme Analizi) ve toplam yatay yükle en üst noktanın yer değiştirmesi arasındaki ilişki elde edilir (Şekil 3.2).



Şekil 3.1 Statik itme eğrisi



Şekil 3.2 Yükleme-Yer değiştirme [28]

İlk Moda (hakim mod) ait doğal titreşim periyodunun 1 saniyeden az olduğu durumlarda yüksek modaların yapıya etkileri göz ardı edilebilir. Statik itme eğrisinde yatay kuvvet adım adım arttırıldıkça, yatay yer değiştirmeler ve plastik şekil değiştirmeler büyür. Büyüme sonucu sistemde oluşan plastik mafsalların etkisi ile

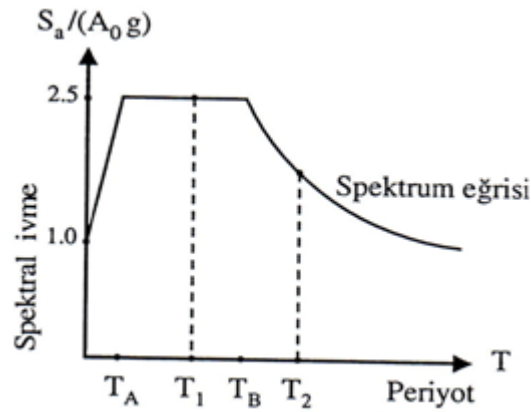
taşıyıcı sistemdeki oluşan hasarlar gözlemlenebilir. Statik itme eğrisinin adımları, kesitte oluşan plastik mafsalların ortaya çıkış sırasının izlenmesi ve sistem davranışının değerlendirilebilmesi açısından önemlidir.

3.1 Deprem Talep Spektrumunun Belirlenmesi

Deprem etkisi talep eğrisi , spektral ivme ile DBYBHY 2007 [25] Tablo 2.4’de (Çizelge 3.1) belirtilen ve yerel zemin sınıflarına göre tanımlanan spektrum karakteristik periyotlarının esas alındığı eksenler arasındaki bağıntı çizilerek elde edilir. Tasarım depremi, 50 yılda aşılma olasılığı %10, ortalama dönüş periyodu 474 yıl, ve bina önem katsayısı 1 olan yeni konut binaları için göz önüne alınan deprem etkisine karşı gelir [28], (Şekil 3.3).

Çizelge 3.1 Spektrum karakteristik periyotları, TDY2007 Tablo 2.4

<i>Tablo 6.2'ye göre Yerel Zemin Sınıfı</i>	T_A (saniye)	T_B (saniye)
Z1	0.10	0.30
Z2	0.15	0.40
Z3	0.15	0.60
Z4	0.20	0.90



Şekil 3.3 Tasarım depremi için spektrum eğrisi [15]

3.2 Statik İtme Eğrisinin Modal kapasite Eğrisine Dönüştürülmesi

Hedef yer değiştirme noktasının belirlenebilmesi için statik itme eğrisinin, deprem talep eğrisi ile bir araya getirilmesi gerekmektedir. Bunun için statik itme eğrisinde eksen değişimi uygulanması gerekir. V_{x1} toplam kuvvet (taban kesme kuvveti), α_1 modal ivmeye ve u_{N1} en üst katın yer değiştirmesi, d_1 modal yer değiştirmeye dönüştürülür [27].

Bu dönüşümün gerçekleşmesi için gerekli işlem sırası denklem 3.1-5 ifadeleri ile belirtilmiştir [27].

$$A(T) = A_o \cdot I \cdot S(T) \quad (3.1)$$

denklemini spektral ivme kat sayısını ifade etmektedir. Spektral ivme;

$$S_a(T) = A(T) \cdot g \quad (3.2)$$

denkleminde çekilirse;

$$S_a(T) = A_o \cdot I \cdot S(T) \cdot g \quad (3.3)$$

şeklini alır.

$$\Gamma_{x1} = \left[\frac{\sum_{i=1}^N (m_i \cdot \phi_{i1})}{\sum_{i=1}^N (m_i \cdot \phi_{i1}^2)} \right] \quad (3.4)$$

$$M_1 = \left[\frac{(\sum_{i=1}^N m_i \cdot \phi_{i1})^2}{\sum_{i=1}^N (m_i \cdot \phi_{i1}^2)} \right] \quad (3.5)$$

$$a_1^{(i)} = \frac{V_b}{M_1}$$

(3.6)

$$d_1^{(i)} = \frac{u_{xN1}^i}{\Gamma_{x1} \cdot \phi_{xN1}} \quad (3.7)$$

$$d_1^{(i)} = a_1^{(i)} \left(\frac{T}{2\pi} \right)^2 \quad (3.8)$$

Formüllerde kullanılan simgeler:

Γ_{x1} = Birinci doğal titreşim modu için Modal Katılım Çarpanı

m_i = i . kattaki toplanmış kütle

M_1 = 1. modal kütle

$\phi_1 = i.$ kattaki modun şekli ($i.$ katın yanal yer değiştirmesi)

ϕ_{xN1} = Binanın tepesinde ($N.$ katta) x deprem doğrultusunda $i.$ itme adımı sonunda elde edilen birinci moda ait yer değiştirme

N = Yapıdaki kat sayısı

V_b = Taban kesme kuvveti

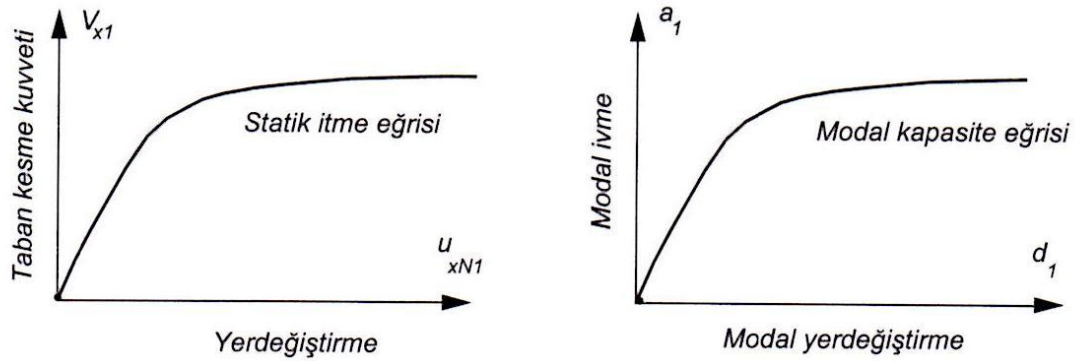
$U_{xN1}^{(i)}$ = Binanın tepesinde ($N.$ katta) x deprem doğrultusunda $i.$ itme adımı sonunda elde edilen birinci moda ait yer değiştirme

$a_1^{(i)}$ = $i.$ itme adımı sonunda elde edilen birinci moda ait modal ivme

ϕ_{N1} = Yapının en üst katına ait yanal yer değiştirme

$d_1^{(i)}$ = $i.$ itme adımı sonunda elde edilen birinci moda ait modal yer değiştirme

statik itme eğrisini modal kapasite eğrisine dönüştürmek için öncelikle denklem (3.4) ve (3.5) kullanılarak birinci doğal titreşim modu için modal katılım çarpanı Γ_1 ve 1. Modal kütle M_1 hesaplanır. Daha sonra denklem (3.6) ve (3.7) kullanılarak statik itme eğrisi (Taban kesme kuvveti- Tepe yer değiştirme eğrisi) modal kapasite eğrisine (Modal ivme- Modal yer değiştirme eğrisi) dönüştürülür (Şekil 3.5).

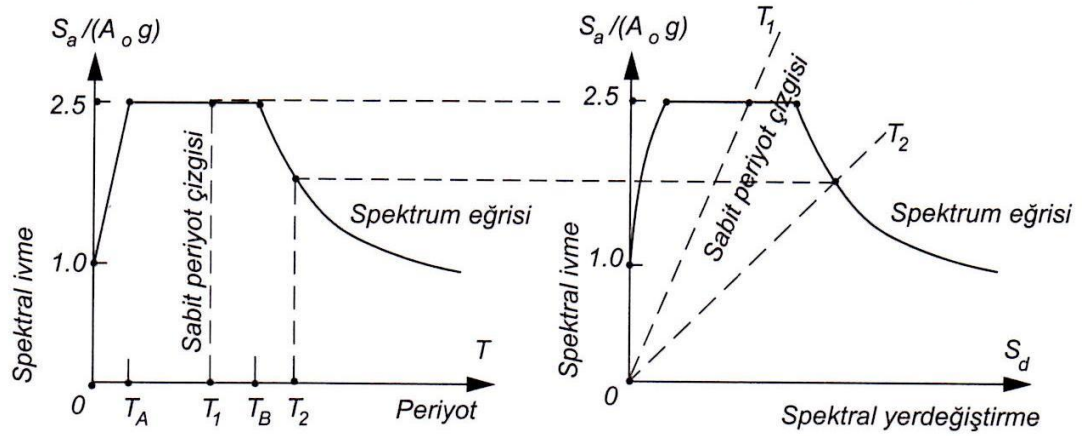


Şekil 3.4 Statik itme eğrisinin modal kapasite eğrisine dönüştürülmesi [28]

3.3 Deprem Talep Eğrisi Eksen Değişimi

Modal kapasite eğrisinin deprem talep eğrisi ile bir araya gelebilmesi için eksen değişimine ihtiyaç duyulur [27]. Denklem (3.9) kullanılarak bu dönüşüm gerçekleştirilir (Şekil 3.5).

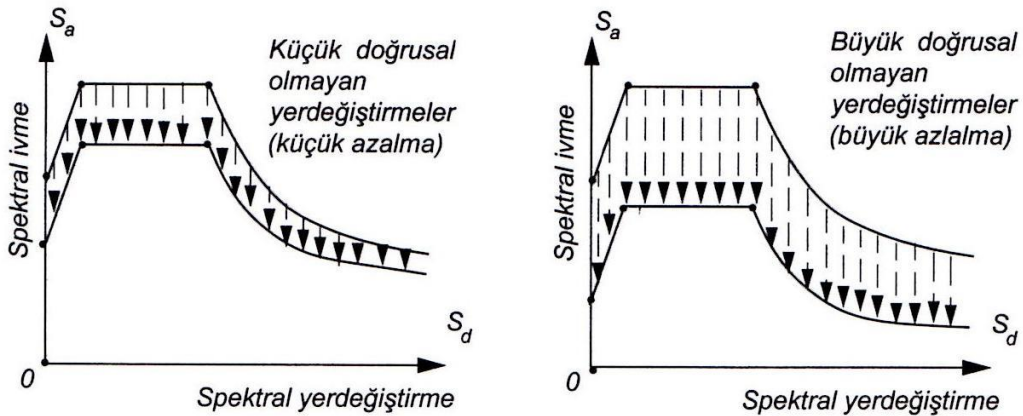
$$S_d = S_a \left(\frac{T}{2\pi} \right)^2 \quad (3.9)$$



Şekil 3.5 Deprem talep eğrisi eksen değişimi [28]

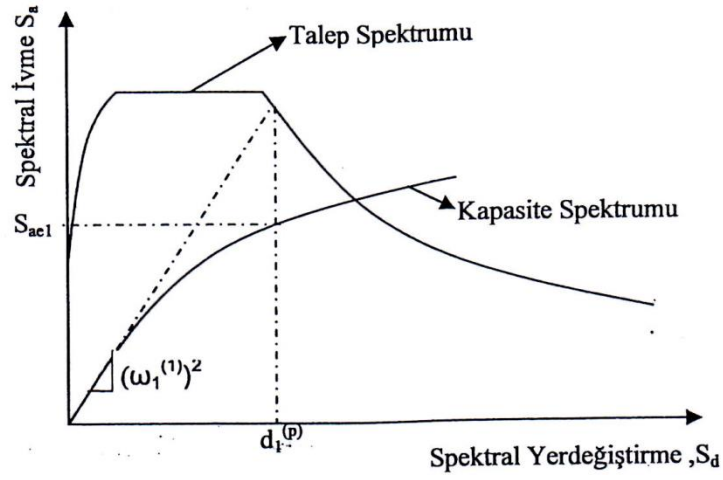
3.4 Hedef Yer Değiştirme Sınırı Tayini

Koordinatları $(d1, a1)$ olan *Modal Kapasite Diyagramı* ile koordinatları *Spektral Yer değiştirme* (S_d)- *Spektral İvme* (S_a) olan Deprem Talep Spektrumu karşılaştırılarak, hedef yer değiştirme sınırı bulunur. Talep deprem spektrumu elastik spektrum eğrisi ile tanımlanmıştır. Sistemin kapasitesi doğrusal olmayan davranışla belirlenmiştir. Deprem elastik talep eğrisi, sistemin doğrusal olmayan davranışı göz önüne alınarak azaltılır ve kesişme noktası tespit edilir. Bu azalma sistemin doğrusal olmayan davranışına bağlıdır. Büyük elasto-plastik yer değiştirmeler daha büyük sönüme sebep olacağı için elastik spektrum eğrisinin azaltılması da daha büyük olur (Şekil 3.6).



Şekil 3.6 Elastik spektrum eğrisinin azaltılarak elasto-plastik spektrumun elde edilmesi [15]

Çizilen teğetle elastik spektrum eğrisinin kesişimi ile hem deprem talebi, hem de yatay yer değiştirme elde edilir. Ancak her iki eğride elastik tabanlıdır. Bu nokta sistemin elastik olmasına karşı gelir. Eşit yer değiştirme kuralı kullanılarak elastik sistem için elde edilen d_{max}^e elastik yer değiştirme değerinden d_{max}^{ep} elasto-plastik olana geçilir (Şekil 3.7). Periyodu büyük olan yapılarda elastik ve elasto-plastik yer değiştirmelerin yaklaşık olarak eşit olduğu kabul edilirken, periyodu küçük olan yapılarda elasto-plastik yer değiştirmenin C_{R1} spektral yer değiştirme oranı ile büyütülmesi ile elde edilir.



Şekil 3.7 Deprem talep eğrisi ile modal kapasite eğrisinin birlikte gösterimi [28]

3.4.1 $T_1^{(1)}$ Başlangıç Periyodunun T_B 'den Küçük Olması Durumu

Doğrusal elastik yer değiştirme S_{de1} 'e bağlı olarak denklem (3.10) ile bulunur:

$$S_{di1} = C_{R1} \cdot S_{de1} \quad (3.10)$$

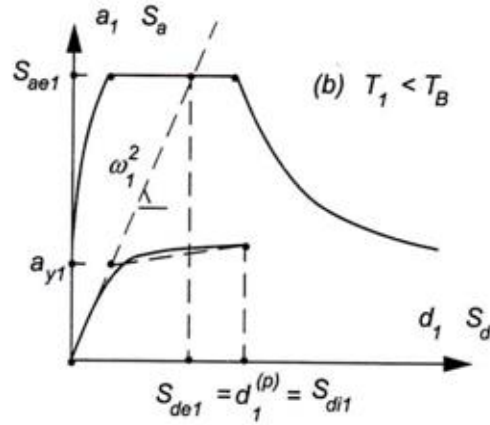
$$S_{de1} = \frac{S_{ae1}}{(\omega_1^{(1)})^2} \quad (3.11)$$

$$C_{R1} = \frac{1 + (R_{y1} - 1) \frac{T_B}{T_1^{(1)}}}{R_{y1}} \geq 1 \quad (3.12)$$

$$R_{y1} = \frac{S_{ae1}}{a_{y1}} \quad (3.13)$$

Denklem (3.12)'de T_1 sistemin birinci periyodunu ve R_{y1} bu moda ait dayanım azaltma katsayısını göstermektedir. Şekil 3.8'de görüldüğü gibi hedef performans noktası bulunduktan sonra bu eğrinin Eşit Alanlar Kuralı ile lineer hale getirilmesi ve buradan

elde edilecek a_{y1} , R_{y1} , C_{R1} değerlerinin hesap edilmesi gerekir. Başlangıçta hedef performans noktası bilinmediğinden bir veya iki adımda sonuca götüren deneme yanılma yönteminin uygulanması gerekli olabilir.

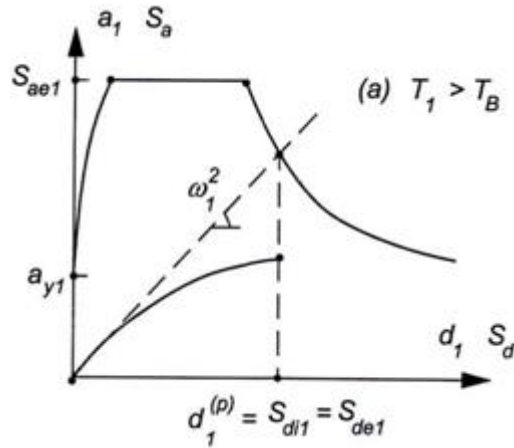


Şekil 3.8 $T_1(1)$ Başlangıç periyodunun T_B 'den küçük olması durumu [28]

3.4.2 $T_1^{(1)}$ Başlangıç Periyodunun T_B 'den Büyük Olması Durumu

Bu duruma karşı gelen elastik yer değiştirmenin plastik yer değiştirmeye eşit olacağı kabulü yapılmıştır. Bu nedenle C_{R1} katsayısı 1'e eşittir :

$$C_{R1} = 1 \quad (3.14)$$



Şekil 3.9 $T_1(1)$ Başlangıç periyodunun T_B 'den büyük olması durumu [15]

Şekil 3.9'da görüldüğü gibi hedef spektral yer değiştirme değeri $d_1(p)$ bulunduktan sonra denklem (3.7) ile hedef yer değiştirme değeri elde edilir. Bu yer değiştirme değeri üst sınır alınarak itme analizinin yinelenmesi sonucu eleman kesitlerinde oluşan hasar tipleri ve kat bazındaki dağılımları tespit edilir.

3.5 Bina Güvenlik Seviyesinin Belirlenmesi

Performans noktasının belirlenmesinden sonra, plastik yer değıştirme, plastik mafsalsal yerleri, plastik mafsalsal dönmeleri ve plastik eğrilik değeri elde edilmiş olur. Bu plastik eğrilik değeri kesitin plastikleşinceye kadar yaptığı akma elastik eğrilik değeri de eklenerek denklem (3.15) ile toplam eğrilik değeri ulaşılır:

$$\Phi_p = \theta_p / L_p \quad \Phi_t = \Phi_y + \Phi_p \quad (3.15)$$

Plastik mafsalsal dönmeleri, taşıyıcı sistem elemanlarının plastik mafsalsal oluşan kısımlarından elde edilir. Akma eğriliği değeri bazı ampirik formüllerden ulaşılacağı gibi XTRACT ver 3.0.8 [29] programından da daha gerçekçi bir yaklaşımla elde etmek mümkündür [27,28]. Toplam eğrilik belirlendikten sonra kesitte betona ait en büyük kısalma ve donatının en büyük uzama değeri hesap edilir. Bu değeri DBYBHY 2007’de [25] Bölüm 7.6.9.2’ de belirtilen performans durumlarına ait sınır değeri ile karşılaştırılarak kesitin hasar durumu belirlenir. Kesitten kat performans değeri geçilerek yapının performans durumu tespit edilir.

BÖLÜM 4

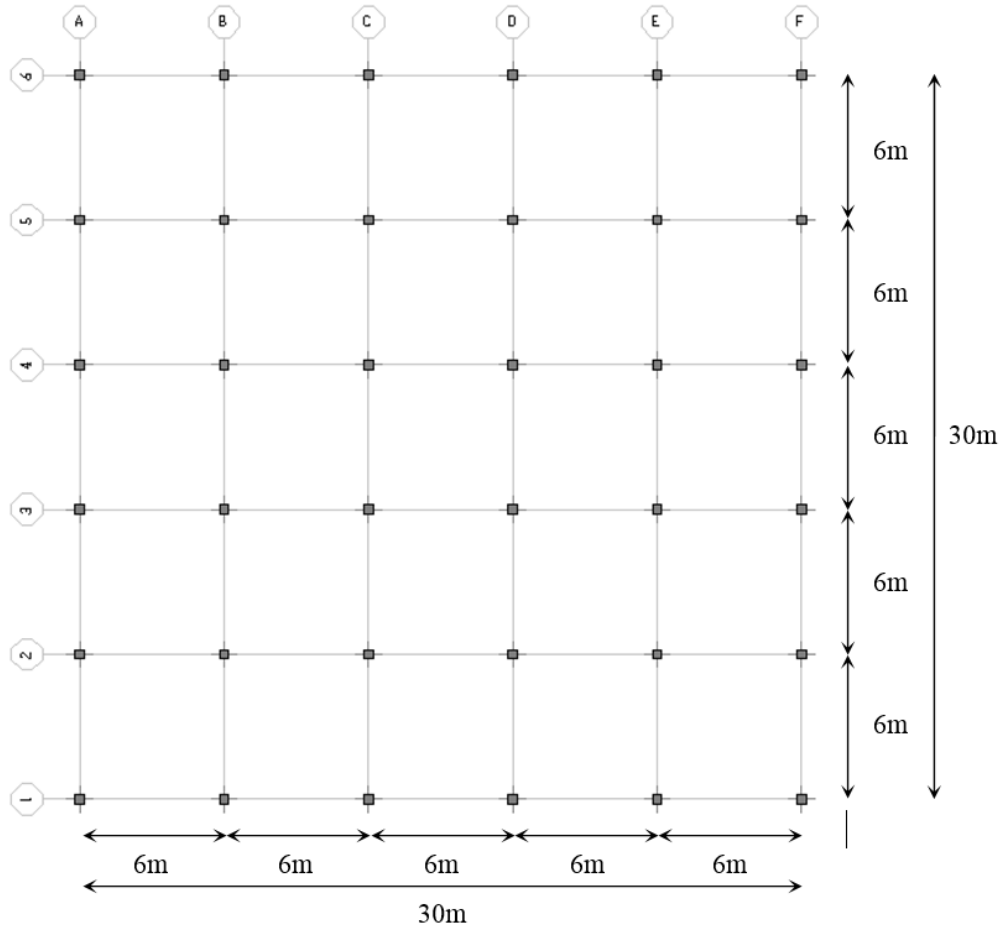
SAYISAL İRDELEMELER

Bu başlık altında belirli özellikli yapıların analiz modelleri oluşturulup sonlu elemanlar programıyla (SAP2000 v14.2.2 [30]) yapılan statik itme analizleri ve sonuçları anlatılmıştır. Yapılardaki eleman boyutlarında benzerlikler oluşturulup kıyaslama yapılabilmesi daha kolay hale getirilmiştir.

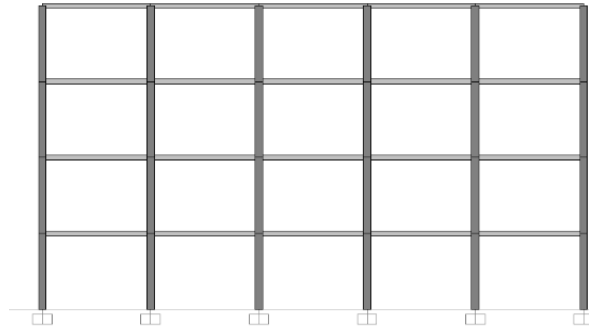
4.1 4 Katlı Betonarme Yapı

4 katlı yapı için yapılacak olan analizlerde 3 farklı yaklaşım seçilmiştir. İlkinde yapı BÖÇ elemanlar kullanılmadan analiz edilmiş (Şekil 4.2a), ikinci durumda BÖÇ elemanlar tek kat yüksekliği boyunca düğüm noktalarına bağlanmış (Şekil 4.2b), üçüncü durumda ise BÖÇ elemanlar iki kat yüksekliği boyunca düğüm noktalarına bağlanmıştır (Şekil 4.2c).

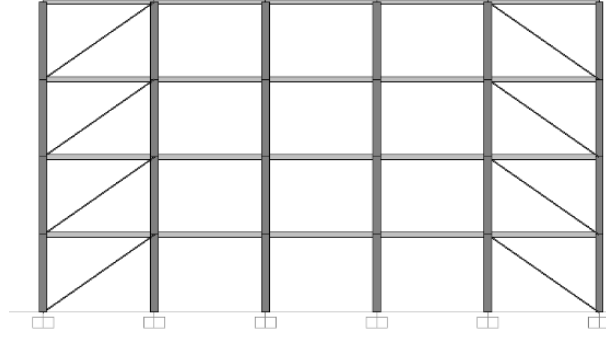
Genel yapı yukarıda bahsedilen 3 sistemde de aynıdır. Aks aralıkları 6 m olup toplamda X ve Y doğrultularında 6 aks bulunmaktadır. Toplam bina oturum uzunları 30x30 m'dir. Kat yükseklikleri 4.2 m olarak seçilmiştir. Yapı 4 katlı olup bütün katlar birbiriyle aynıdır. Yapıda kiriş bulunmamakta olup kirişsiz döşeme (mantar döşeme) sistemi kullanılmıştır. Döşeme kalınlığı 0.25 m'dir. Şekil 4.1'de yapının tipik kat planı görülmektedir. Her yapının sismik tasarım özellikleri TSC-1997 (1997) [31] ve güncellenmiş versiyonu olan TSC-2007 (2007) [32]'ye göre tasarlanmıştır.



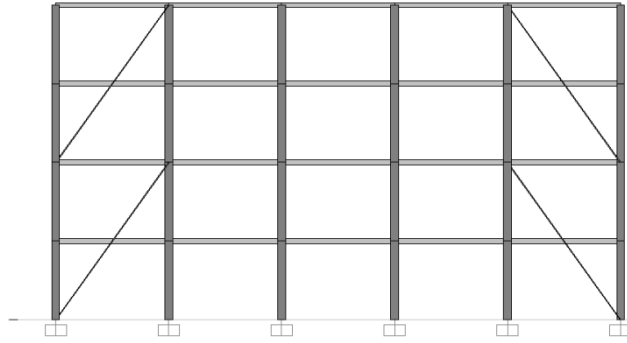
Şekil 4.1 Tipik kat planı



a.Yalın çerçeve



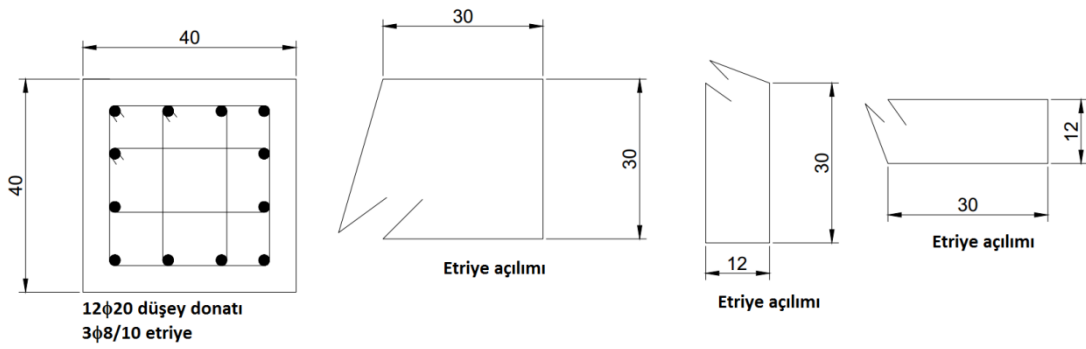
b.Tek kat yüksekliğinde BÖÇ



c.Çift kat yüksekliğinde BÖÇ'lü sistem

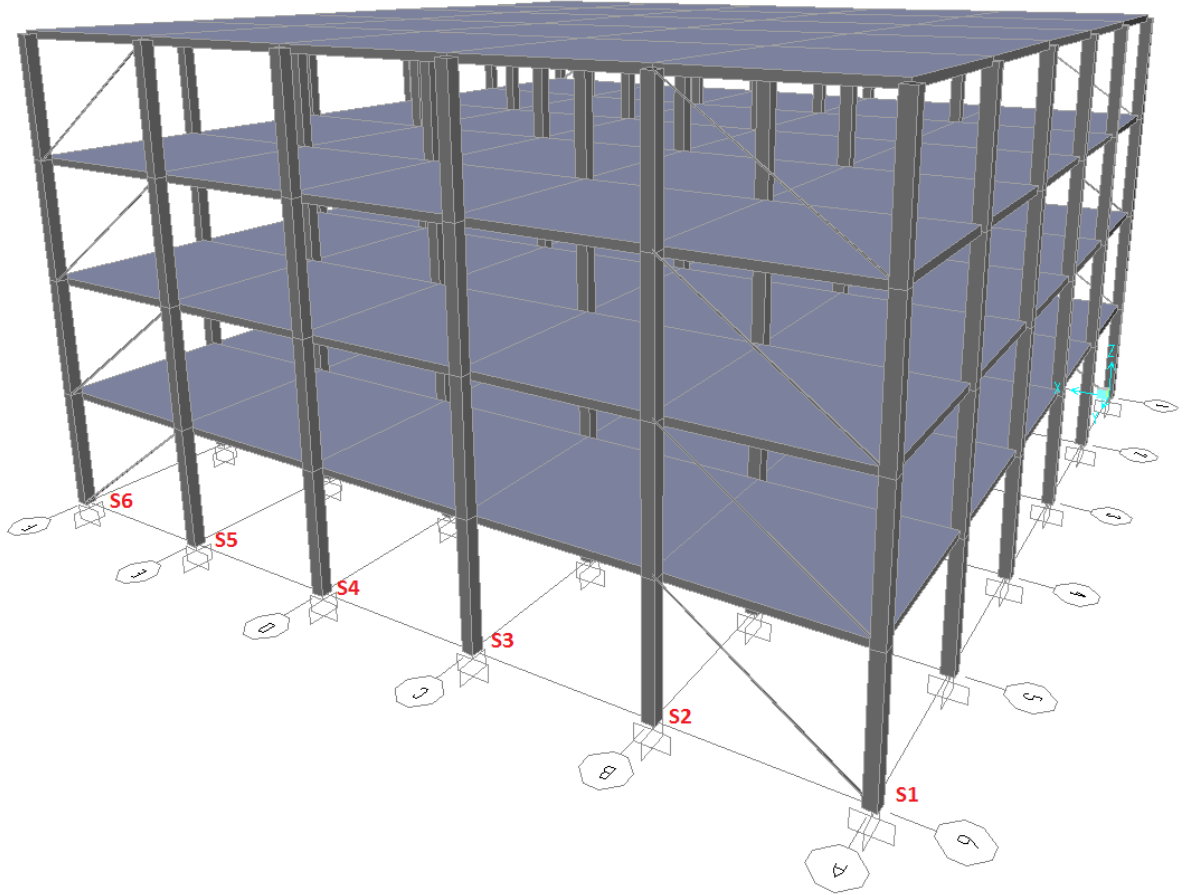
Şekil 4.2 Analiz için kullanılan sistemler

Yapılarda kullanılan kolon kesit boyutları 40x40 cm'dir. Düşey donatı olarak 12 ϕ 20, etriye olarak ϕ 8/10 kullanılmıştır (Şekil 4.3). Beton sınıfı olarak C30, çelik sınıfı olarak S420a seçilmiştir. TS500'e [33] dayanarak elastisite modülleri beton için 3.0×10^7 kN/m², çelik için 2.0×10^8 kN/m² olarak dikkate alınmıştır.



Şekil 4.3 Tipik donatı detayı

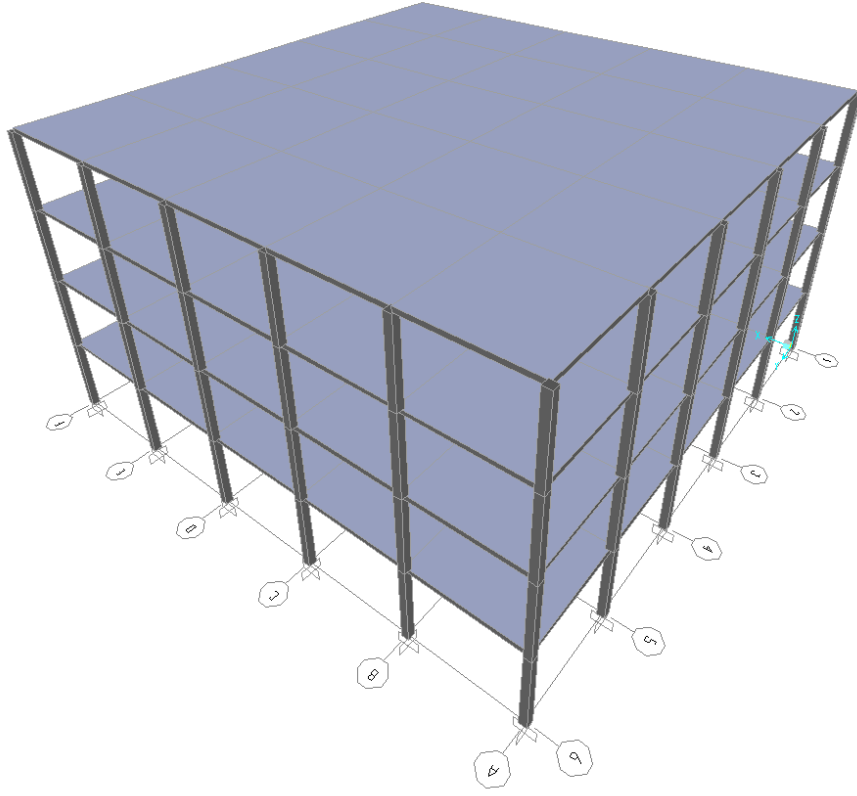
Aşağıda kolon numaralandırılması görülmektedir. İlerleyen kısımlarda kolonlara bu isimler ile hitap edilecektir. Yapının 1 aksında bulunan BÖÇ elemanlar, 6 aksında bulunan elemanlar ile aynıdır. Bu yüzden sadece 6 aksındaki kolonlar isimlendirilmiştir (Şekil 4.4).



Şekil 4.4 4 katlı yapı 3 boyutlu tipik görünüş

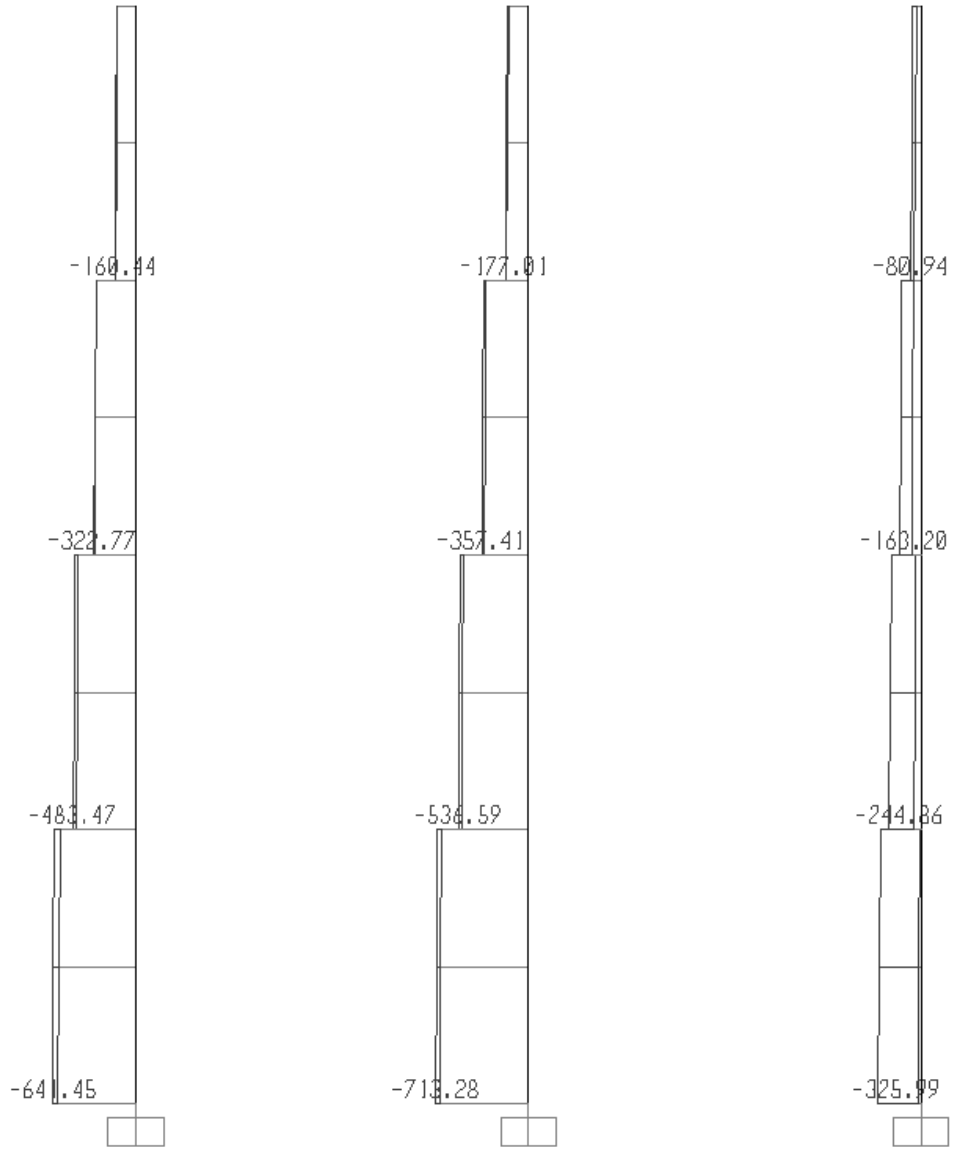
4.1.1 Yalın Çerçeve Sistem

Analizde bu modelde herhangi bir BÖÇ eleman kullanılmadan yapının mevcut durumunu ortaya çıkartılarak eklenen BÖÇ elemanlar ile yapıdaki değişimlerin ortaya çıkartılması amaçlanmıştır.



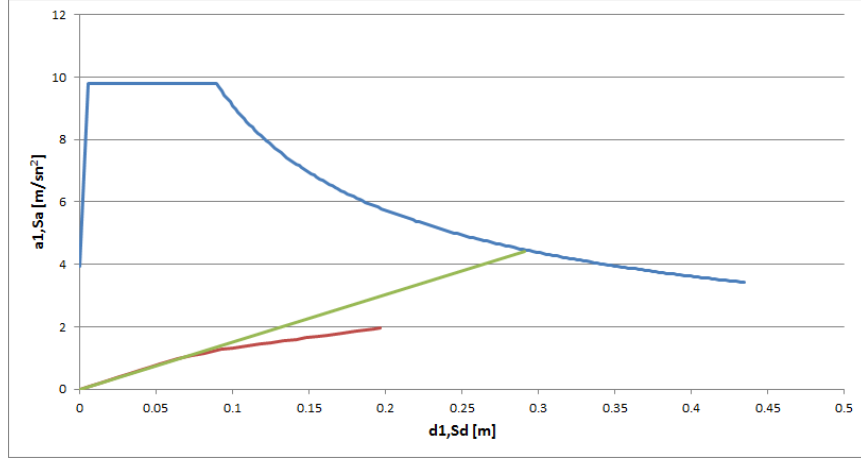
Şekil 4.5 Yalın çerçeve modeli

Yapı Şekil 4.5'te görüldüğü gibi 3 boyutlu olarak modellenmiştir. Yapının modellenmesi sırasında betonarme kolonlarda plastik P-M-M mafsalları oluşacağı kabulü yapılmıştır. Plastik mafsallar FEMA 356'ya [34] göre daha önce bahsedilen donatılara göre tanımlanmıştır. Yapılan itme analizi sonucu ortaya çıkan gerilmeler Şekil 4.6'da görülmektedir. Yapı simetrik olduğu için C ve D akslarının ortasından (yapı simetri çizgisi) 2'ye bölerek grafikler gösterilmiştir.



Şekil 4.6 1-Aksı kolonları X-yönündeki itme analizi son adımına ait eksenel kuvvetler

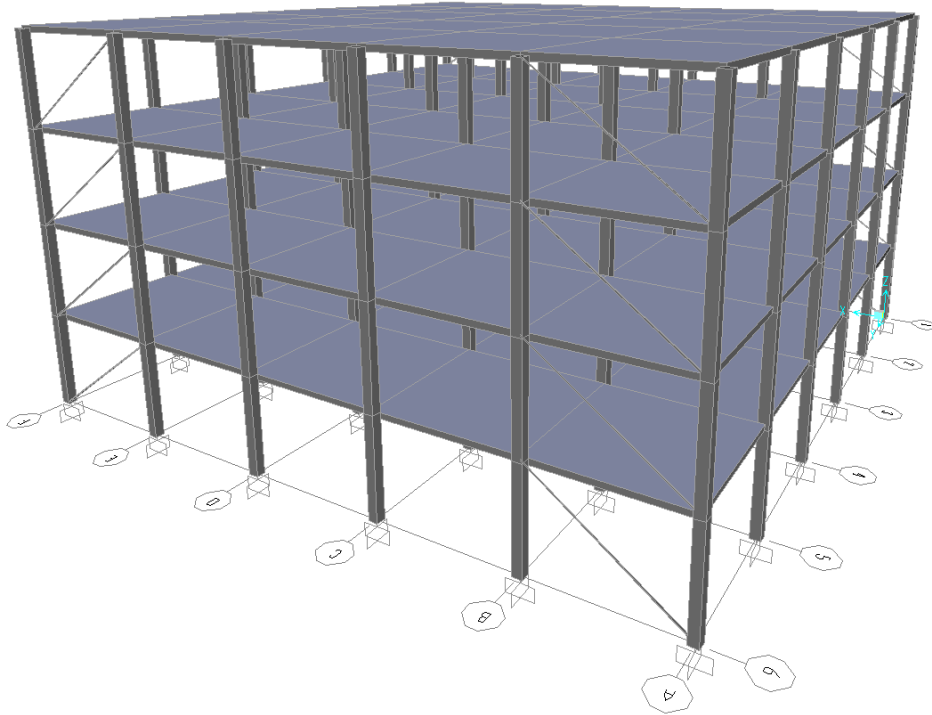
Yapının itme analizi sonucu tepe noktası yatay yer değiştirmesi 0.370 m'dir. Şekil 4.7'de yapının spektral ivme-yer değiştirme grafiğinin modal kapasite diyagramı ile karşılaştırılması görülmektedir.



Şekil 4.7 İvme-Yer değiştirme spektrumu - Modal kapasite diyagramı (Yalın çerçeve)

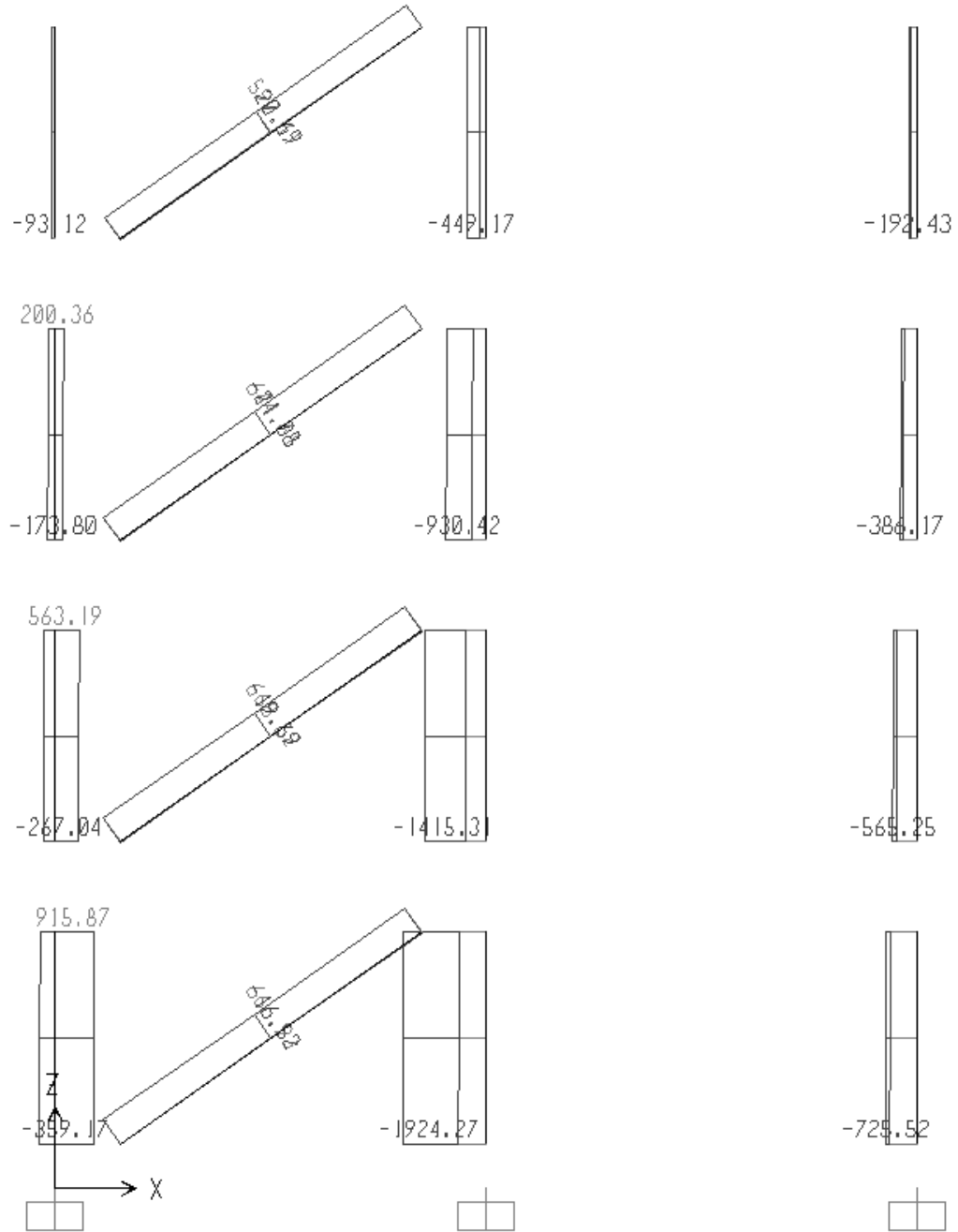
4.1.2 Tek Kat Yüksekliğinde Burkulması Önlenmiş Çelik Çaprazlı Çerçeve Sistem

Yalın çerçeve sistemin analizinden sonra yapıya X aksları doğrultusunda BÖÇ elemanlar eklenmiştir. BÖÇ'lerin alanı 20.25 cm^2 , uzunlukları 7.32 m 'dir. BÖÇ elemanlardaki eksenel yüke göre plastik mafsalları tanımları XTRACT [29] adlı programda hesaplanıp, Sap2000 v14.2.2 programında tanımlanmıştır. Yapının 3 boyutlu modeli Şekil 4.8'de görülmektedir.



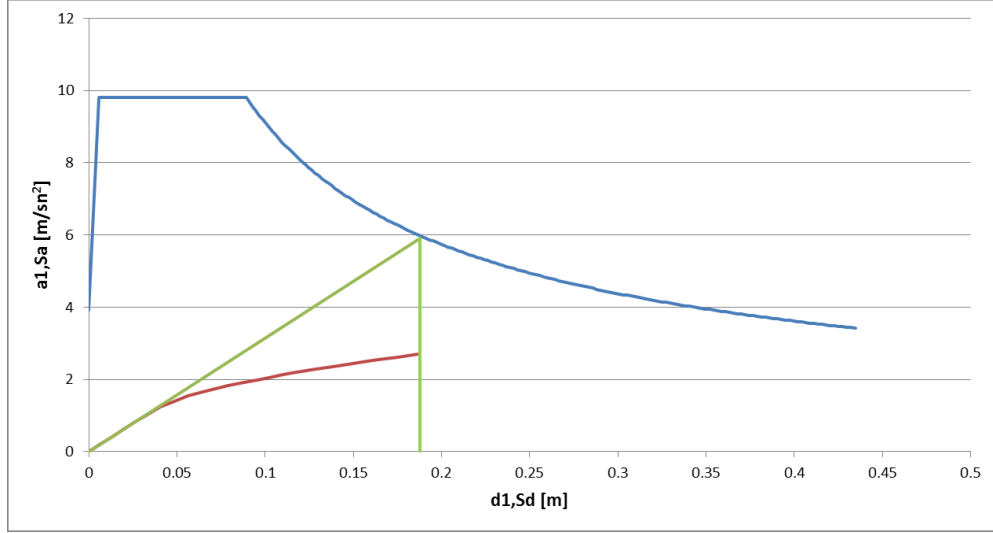
Şekil 4.8 Tek kat yüksekliğinde BÖÇ elemanlı sistemin analiz modeli

Yapılan itme analizi sonucu oluşan gerilmeler şekil 4.9'da görülmektedir.



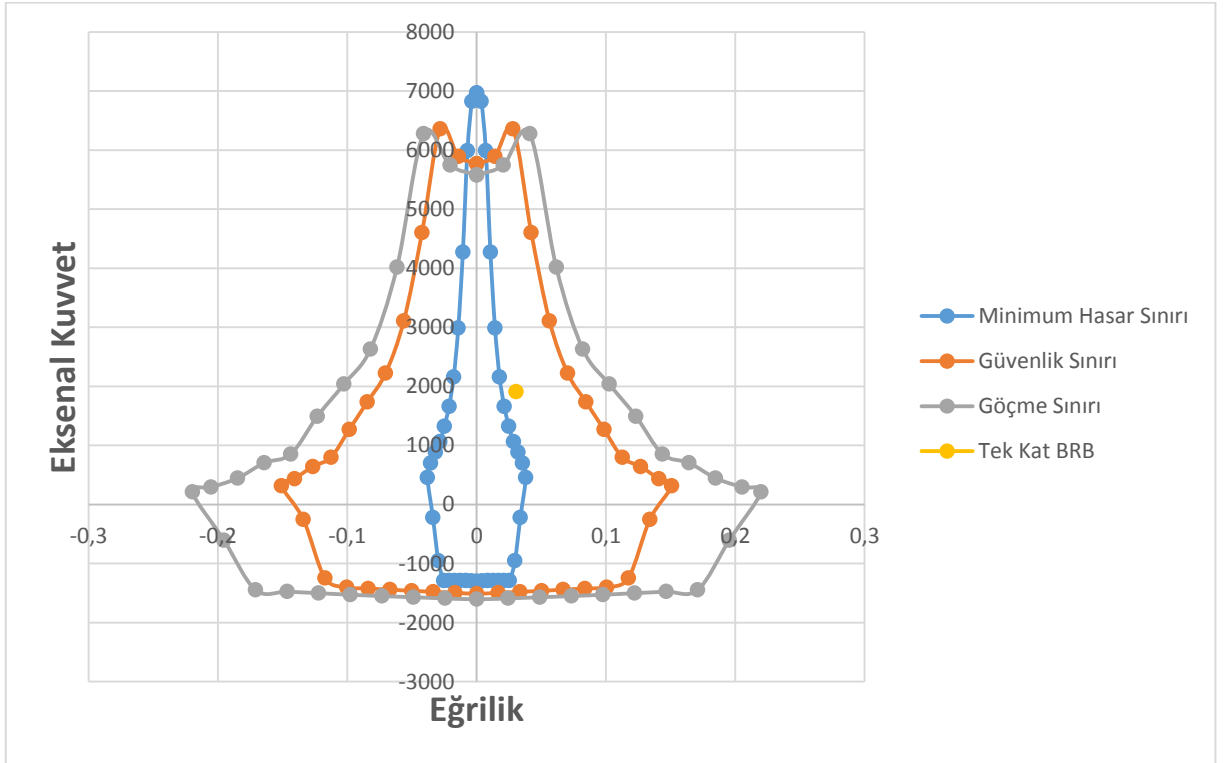
Şekil 4.9 İtme analizi sonucunda kolonlar ve BÖÇ elemanlarda oluşan aksenal kuvvetler

Yapının itme analizi sonucu tepe noktası yatay yer değiştirmesi 0.238 m'dir [35]. Şekil 4.10'da ivme-Yer değiştirme spektrumu – Modal kapasite diyagramı verilmiştir.



Şekil 4.10 İvme-Yer değiştirme spektrumu - Modal kapasite diyagramı (Tek kat BÖÇ)

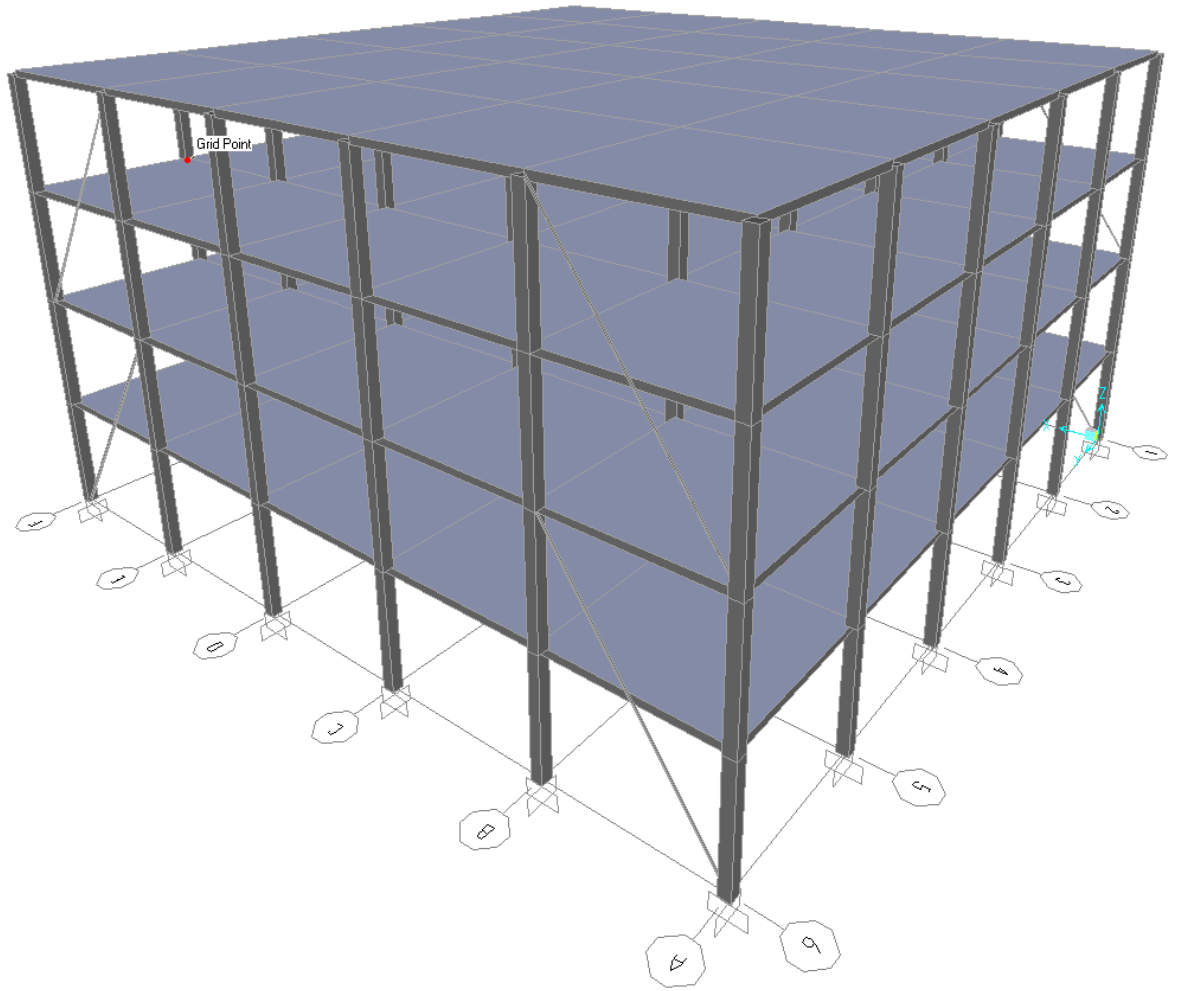
Şekil 4.11’de BÖÇ elemanların bağlandığı kolonlardan maksimum yüke maruz kalan kolonun şekil değiştirmeye göre performans grafiği gösterilmiştir. Şekil 4.9’dan anlaşıldığı üzere maksimum yük 1924 kN ile S5 kolonunda oluşmaktadır. Tek kat boyunca bağlanan BÖÇ elemanlı çerçeve sistemdeki kolon grafikten görüleceği üzere minimum hasar bölgesini aşıp güvenlik sınırında kalmıştır.



Şekil 4.11 Kolon performans grafiği (Tek kat BÖÇ)

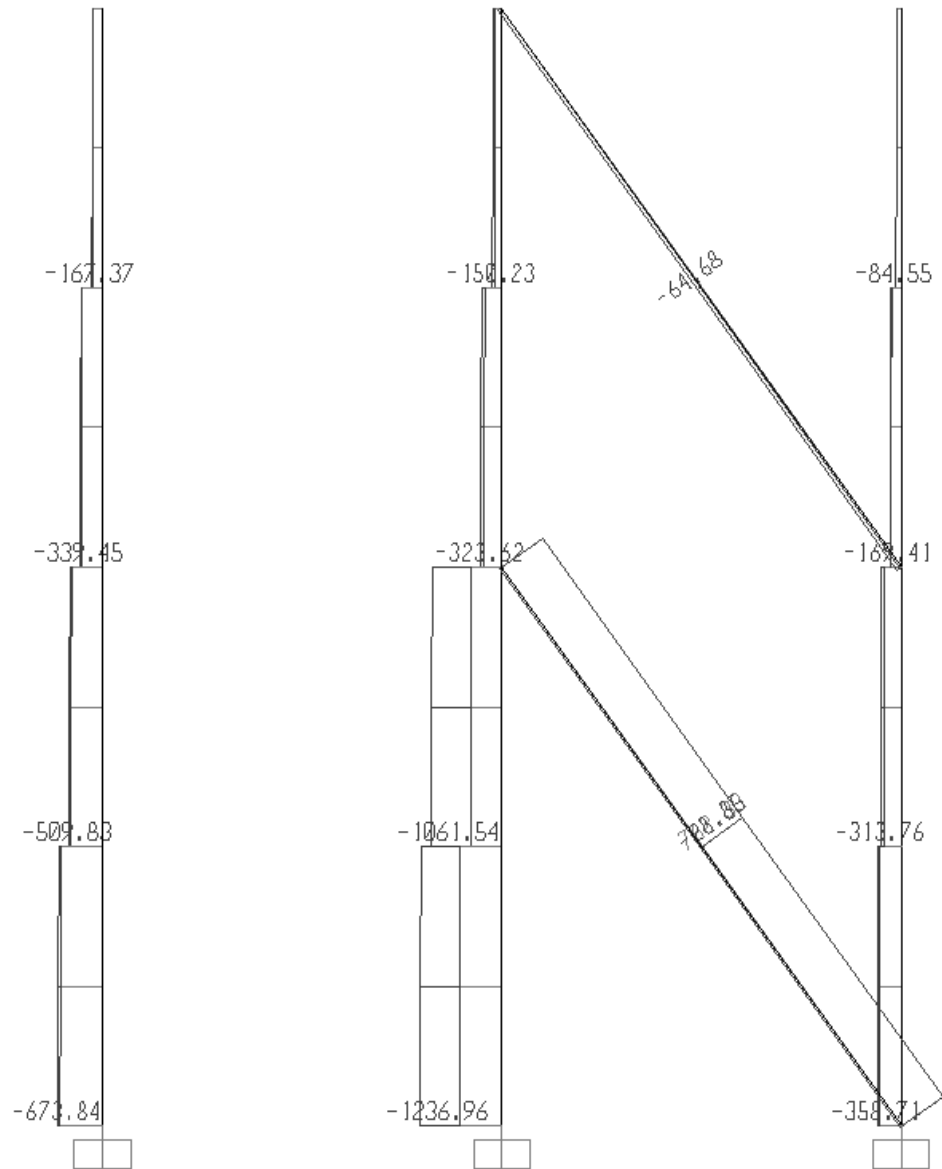
4.1.3 Çift Kat Yüksekliğinde Burkulması Önlenmiş Çelik Çaprazlı Çerçeve Sistem

Yalın çerçeve sistemin analizinden sonra yapıya X aksları doğrultusunda BÖÇ elemanlar eklenmiştir. BÖÇ'lerin alanı 20.25 cm^2 , uzunlukları 10.32 m'dir. BÖÇ elemanlardaki eksenel yüke göre plastik mafsalları tanımları XTRACT [29] adlı programda hesaplanıp, SAP2000 v14.2.2 programında tanımlanmıştır. Şekil 4.12'de yapının 3 boyutlu modeli görülmektedir.



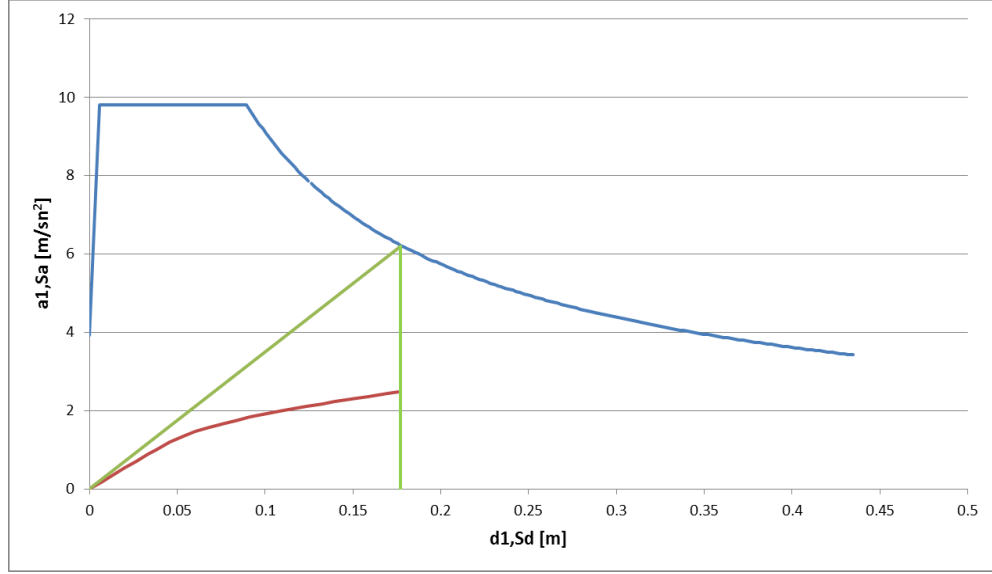
Şekil 4.12 Çift kat yüksekliğinde BÖÇ elemanlı sistemin analiz modeli

Yapılan itme analizi sonucu oluşan gerilmeler şekil 4.13'te görülmektedir.



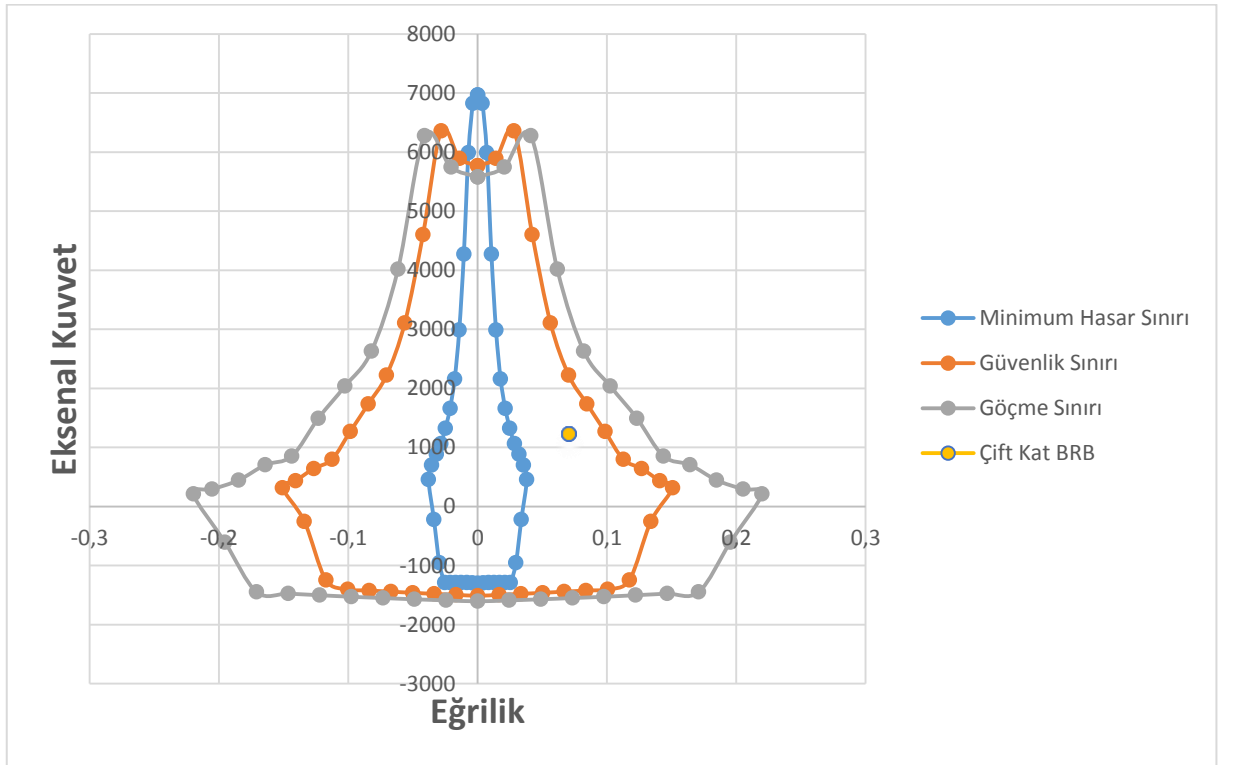
Şekil 4.13 İtme analizi sonucunda kolonlar ve BÖÇ elemanlarda oluşan eksenel kuvvetler

Yapının itme analizi sonucu tepe noktası yatay yer değiştirmesi 0.221 m'dir [35]. Şekil 4.14'te yapının spektral ivme-yer değiştirme grafiğinin modal kapasite diyagramı ile karşılaştırılması görülmektedir.



Şekil 4.14 İvme-Yer değiştirme spektrumu - Modal kapasite diyagramı (Çift kat BÖÇ)

Aşağıda BÖÇ elemanların bağlandığı kolonlardan maksimum yüke maruz kalan kolonun şekil değiştirmeye göre performans grafiği gösterilmiştir. Şekil 4.13'ten anlaşıldığı üzere maksimum yük 1237 kN ile S2 kolonuna gelmektedir. Tek kat boyunca bağlanan BÖÇ elemanlı çerçeve sistemdeki kolon Şekil 4.15'te görüleceği üzere minimum hasar bölgesini aşıp güvenlik sınırında kalmıştır.



Şekil 4.15 Kolon performans grafiği (Çift kat BÖÇ)

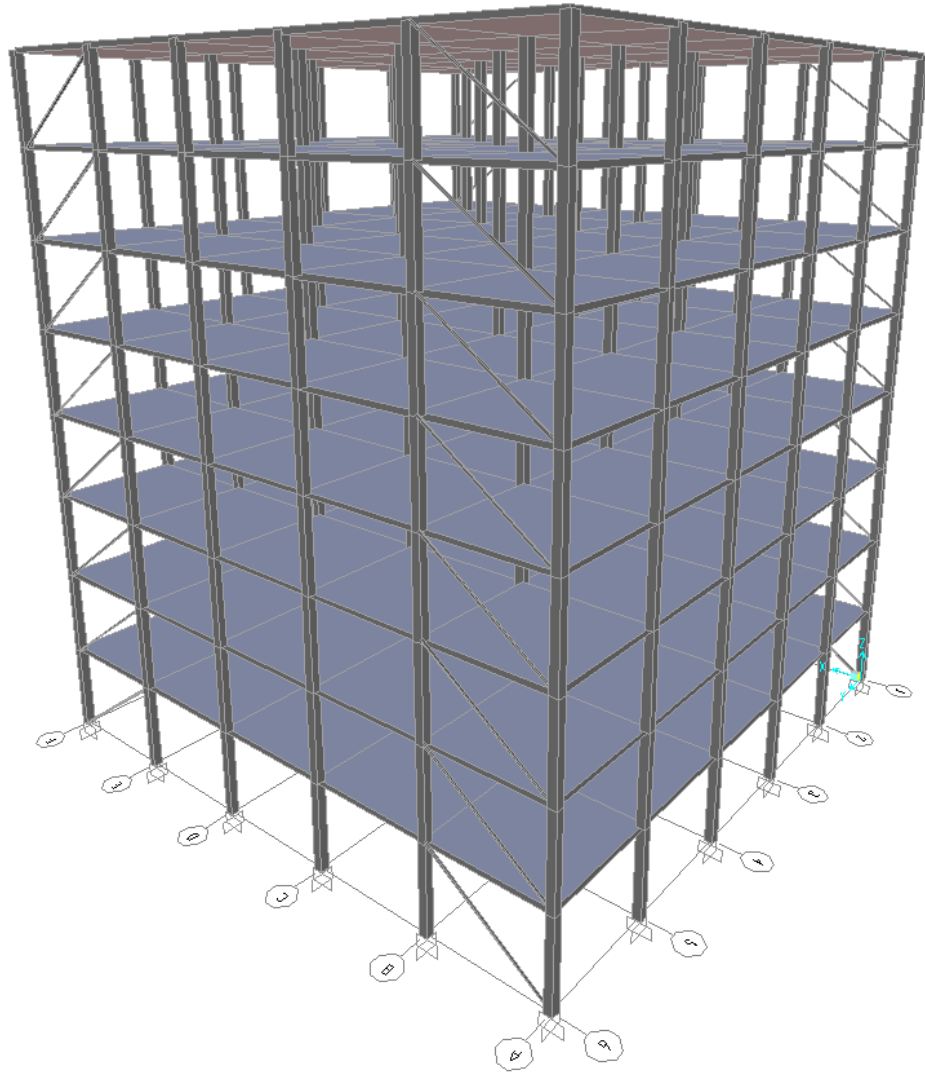
4.2 8 Katlı Betonarme Yapı

8 katlı yapı için yapılacak olan analizlerde 4 katlı yapı aksine 2 farklı yaklaşım seçilmiştir. İlkinde BÖÇ elemanlar tek kat yüksekliği boyunca düğüm noktalarına bağlanmış, ikinci durumda ise BÖÇ elemanlar iki kat yüksekliği boyunca düğüm noktalarına bağlanmıştır.

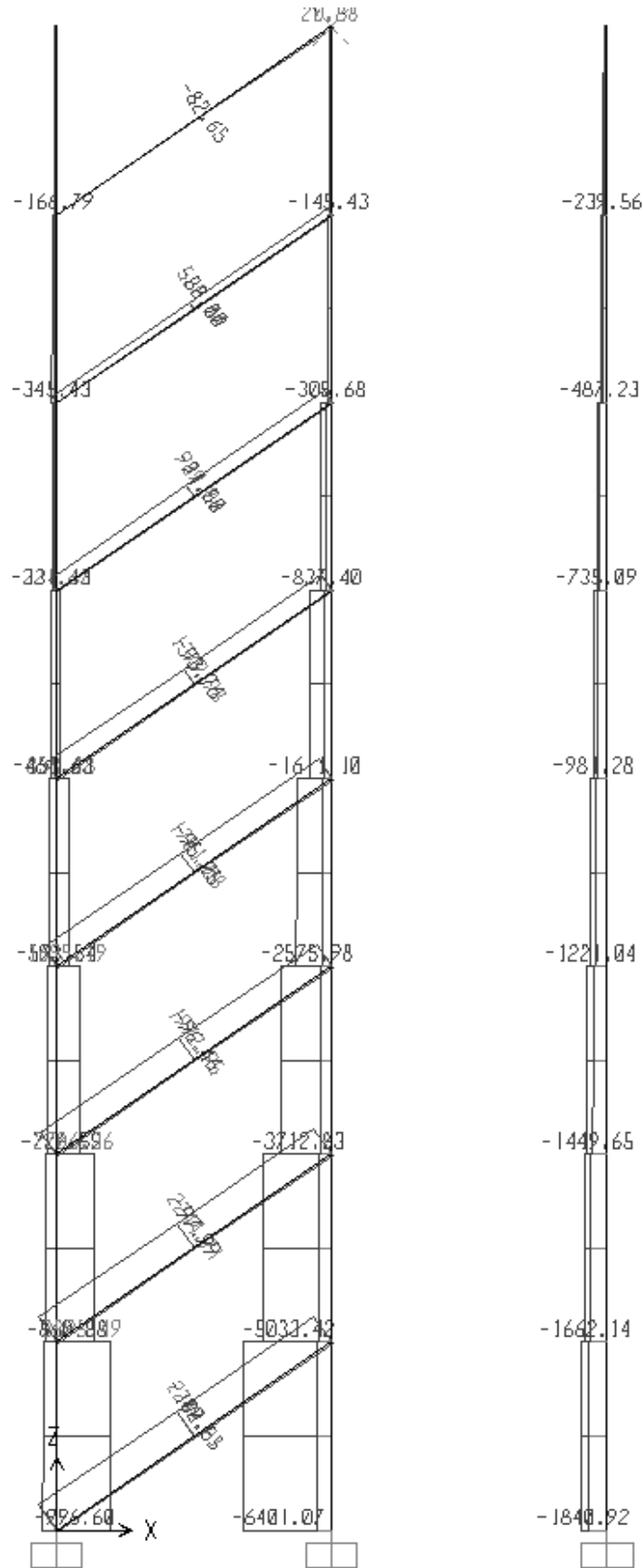
Genel yapı yukarıda bahsedilen 4 katlı yapıdaki ile aynıdır. Sadece kat sayısı 8 kat olarak analiz yapılmıştır. Aks aralıkları yine 6 m olup toplamda X ve Y doğrultularında 6 aks bulunmaktadır. Toplam bina oturum uzunlukları 30x30 m'dir. Kat yükseklikleri 4.2 m olarak seçilmiştir. Yapılar 8 katlı olup bütün katlar birbiriyle aynıdır. Yapıda yine giriş bulunmamakta olup kirişsiz döşeme (mantar döşeme) sistemi kullanılmıştır. Döşeme kalınlığı 0.25 m'dir. Her yapı sismik tasarım özellikleri TSC-1997 (1997) [31] ve güncellenmiş versiyonu olan TSC-2007 (2007) [32]'ye göre tasarlanmıştır.

4.2.1 Tek Kat Yüksekliğinde Burkulması Önlenmiş Çelik Çaprazlı Çerçeve Sistem

Yalın çerçeve sistemin analizinden sonra yapıya X aksları doğrultusunda BÖÇ elemanlar eklenmiştir. BÖÇ'lerin alanı 56.25 cm^2 , uzunlukları 7.32 m'dir. BÖÇ elemanlardaki eksenel yüke göre plastik mafsalları tanımları XTRACT [29] adlı programda hesaplanıp, SAP2000 v14.2.2 programında tanımlanmıştır. Yapının 3 boyutlu modeli Şekil 4.16'da görülmektedir.

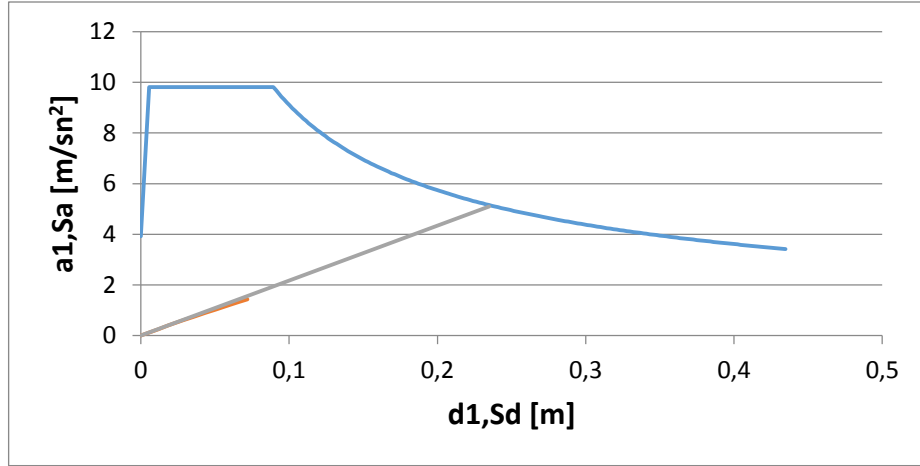


Şekil 4.16 8 katlı tek kat BÖÇ yüksekliğinde yapı analiz modeli



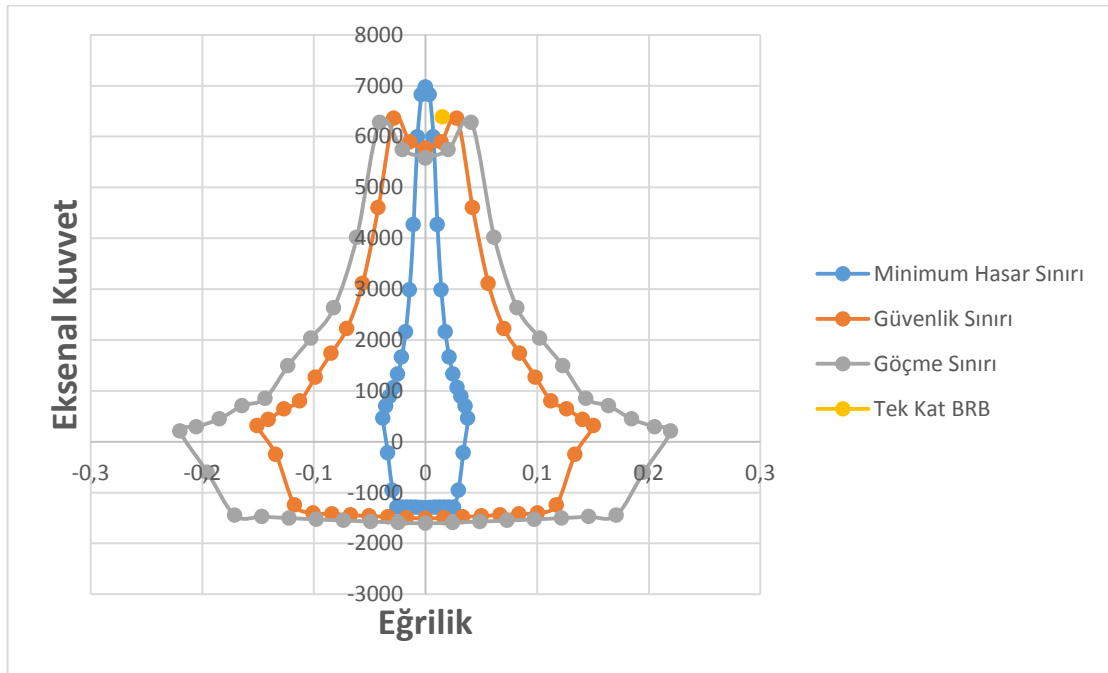
Şekil 4.17 İtme analizi sonucunda kolonlar ve BÖÇ elemanlarda oluşan eksenel kuvvetler

Yapının itme analizi sonucu tepe noktası yatay yer değiştirmesi 0.323 m'dir. şekil 4.18'de yapının spektral ivme-yer değiştirme grafiğinin modal kapasite diyagramı ile karşılaştırılması g r lmektedir.



şekil 4.18 İvme-Yer değiştirme spektrumu - Modal kapasite diyagramı (Tek kat B  )

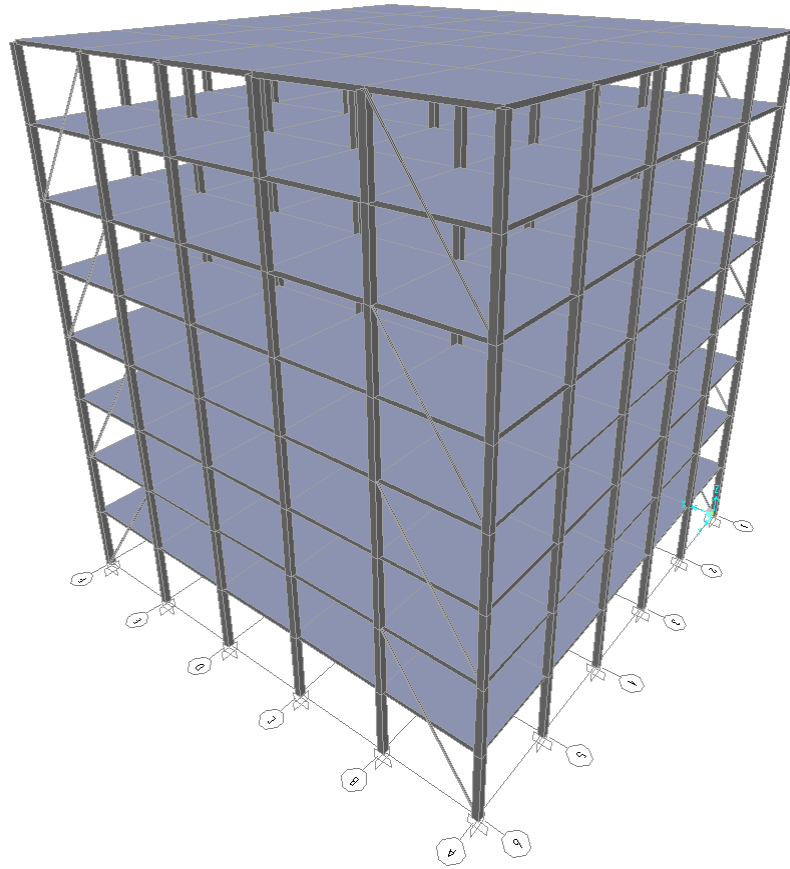
Aşağıda B   elemanların bağlandığı kolonlardan maksimum yüke maruz kalan kolonun şekil değiştirmeye göre performans grafiği gösterilmiştir. şekil 4.17'den anlaşıldığı üzere maksimum yük 6401 kN ile S2 kolonuna gelmektedir. Tek kat boyunca bağlanan B   elemanlı  er eve sistemdeki kolon şekil 4.19'dan görüleceği üzere maksimum taşıyabileceği kuvvetin üzerinde bir kuvvet olarak göçme bölgesine geçmiştir.



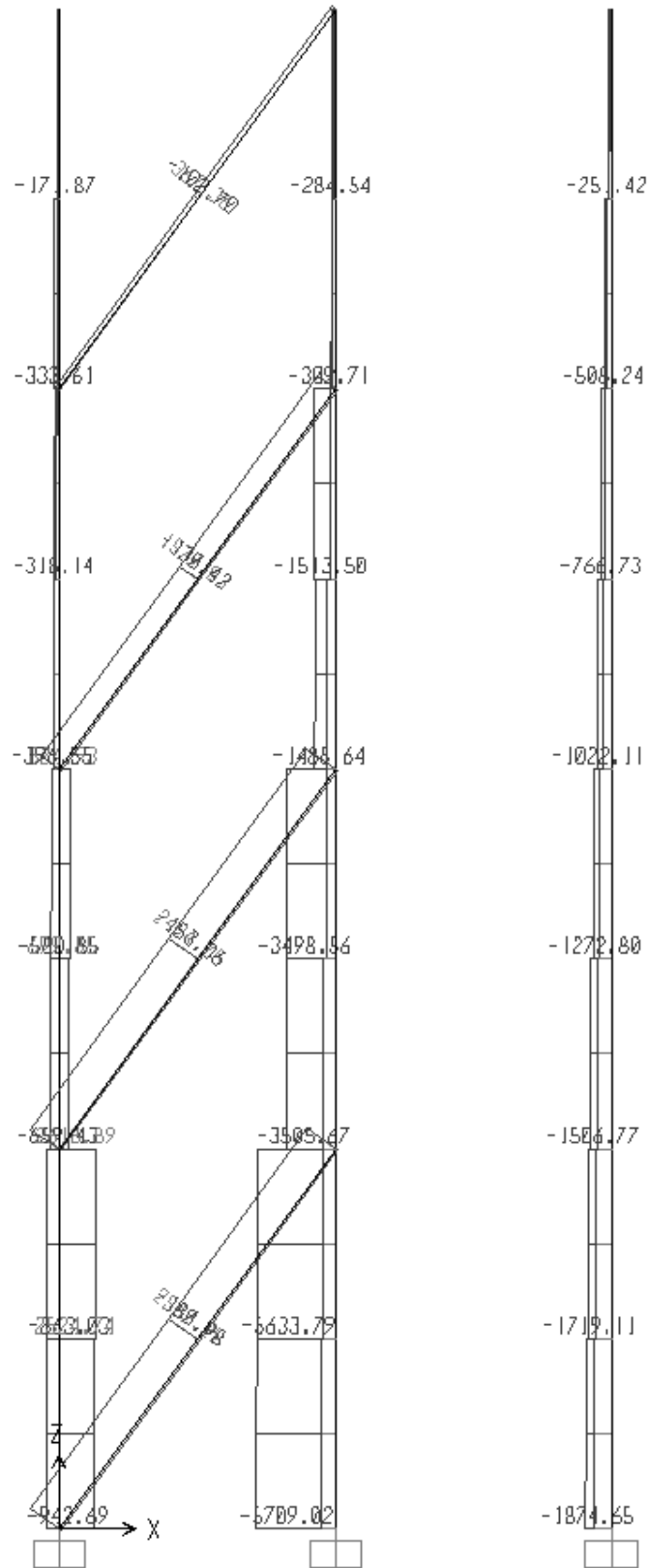
şekil 4.19 Kolon performans grafiği (Tek kat B  )

4.2.2 Çift Kat Yüksekliğinde Burkulması Önlenmiş Çelik Çaprazlı Çerçeve Sistem

Yalın çerçeve sistemin analizinden sonra yapıya X aksları doğrultusunda BÖÇ elemanlar eklenmiştir. BÖÇ'lerin alanı 56.25 cm^2 , uzunlukları 10.32 m'dir. BÖÇ elemanlardaki aksinel yüke göre plastik mafsalları tanımları XTRACT [29] adlı programda hesaplanıp, SAP2000 v14.2.2 programında tanımlanmıştır. Yapının 3 boyutlu modeli Şekil 4.20'de görülmektedir.

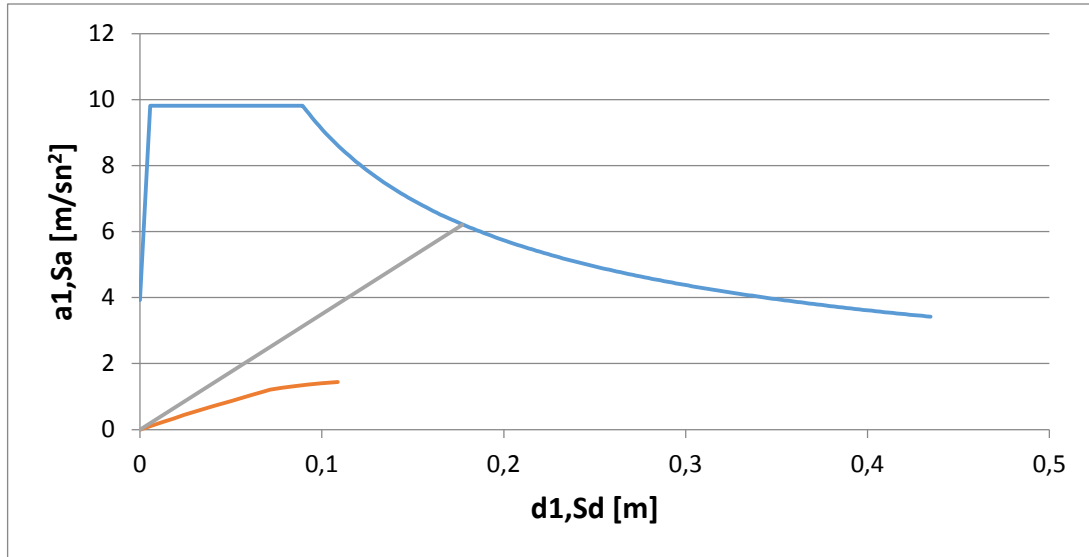


Şekil 4.20 8 katlı çift kat BÖÇ yüksekliğinde yapı analiz modeli



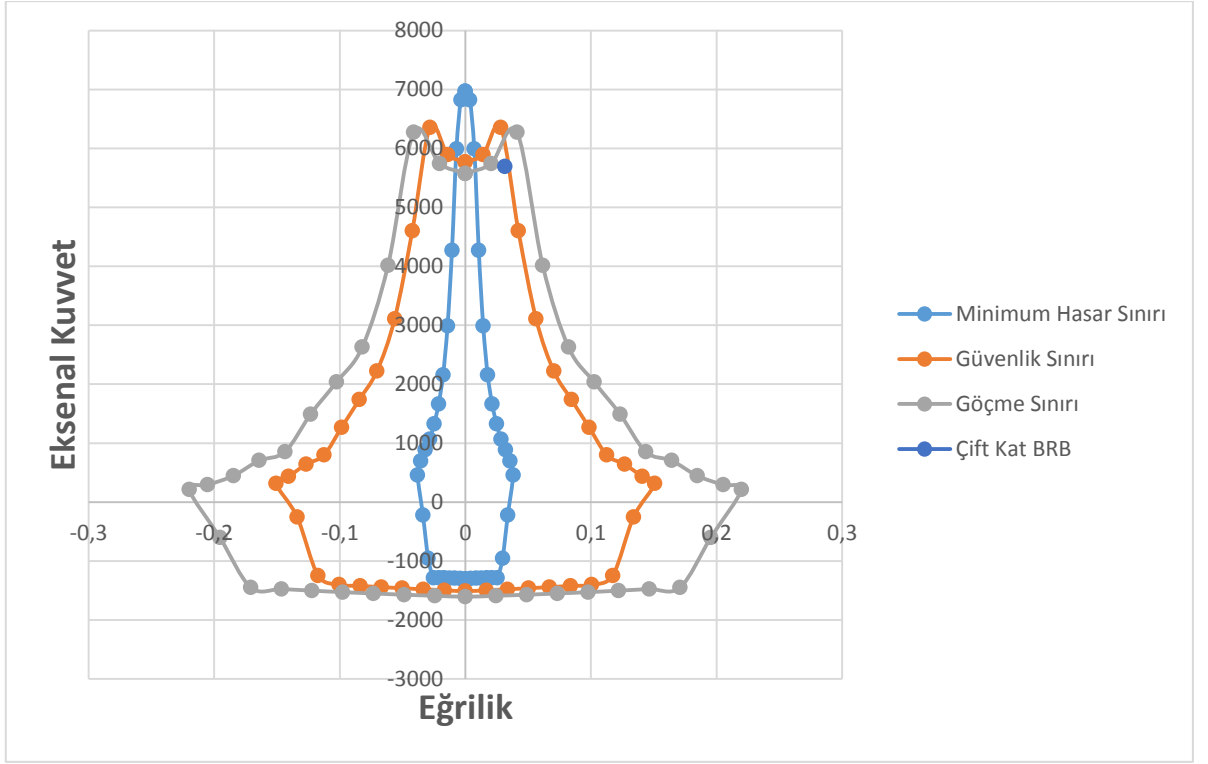
Şekil 4.21 İtme analizi sonucunda kolonlar ve BÖÇ elemanlarda oluşan eksenel kuvvetler

Yapının itme analizi sonucu tepe noktası yatay yer değiştirmesi 0.238 m'dir. şekil 4.22'de yapının spektral ivme-yer değiştirme grafiğinin modal kapasite diyagramı ile karşılaştırılması g r lmektedir.



şekil 4.22 İvme-Yer değiştirme spektrumu - Modal kapasite diyagramı ( ift kat B   )

Aşağıda B    elemanların bağlandığı kolonlardan maksimum yüke maruz kalan kolonun şekil değiştirmeye göre performans grafiği gösterilmiştir. şekil 4.21'den anlaşıldığı üzere maksimum yük 5709 kN ile S2 kolonuna gelmektedir. Çift kat boyunca bağlanan B    elemanlı  er eve sistemdeki kolon şekil 4.23'te görüleceği üzere güvenlik sınırı içerisinde kalmıştır.



Şekil 4.23 Kolon performans grafiği (Çift kat BÖÇ)

BÖLÜM 5

SONUÇLAR

Yapılan analizler ve değerlendirmeler 4 kat ve 8 kat yapılar için öncelikle farklı başlıklar altında incelenmiştir. Daha sonra, kat sayısı arttığında yapıdaki BÖÇ elemanlardaki değişimler ve taşıyıcı sistem üzerindeki kuvvet değişimleri incelenmiştir. Aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- a)** Tek kat yüksekliğinde BÖÇ elemanların kullanıldığı sistemde yapı tepe yer değiştirmesi yukarıda da bahsedildiği gibi 0,235 m olarak hesaplanmıştır. BÖÇ'süz sistemde yer değiştirme miktarı 0,370 m'dir. Böylece BÖÇ kullanılan sistemde yapıdaki yer değiştirmelerin %36 oranında azaldığı görülmektedir. Burada çıkan sonuç, daha önce yapılan çalışmalarla paraleldir. Fakat BÖÇ elemanların bağlandığı kolonları incelediğimizde, kolonlar üzerine gelen eksenel kuvvetlerin arttığı görülmektedir.
- b)** Çift kat yüksekliğinde BÖÇ elemanlar kullanıldığında ise yapı tepe yer değiştirmesi 0,221 m olarak hesaplanmıştır. Bu değer, BÖÇ kullanılmayan sisteme göre %40, tek kat yüksekliğinde BÖÇ elemanların kullanıldığı yapıya göre ise %14 bir yer değiştirme azalması demektir. BÖÇ'lü elemanların bağlandığı kolonlarda yine aynı şekilde eksenel yüklerde artış görülmektedir.
- c)** 4 katlı yapı, aynı yükler ve aynı kesit ebatlarına sahip betonarme taşıyıcılarıyla 8 kata çıkartıldığında yükünün 2 kat arttığı bilinir. Fakat bina ağırlığı 2 kat arttığı halde, BÖÇ kesit boyutları 2,72 kat büyümüştür.
- d)** 8 katlı yapıda, tek kat yüksekliğinde BÖÇ elemanlar kullanıldığında, BÖÇ elemanların bağlı bulunduğu kolonlardaki eksenel kuvvetler artmış ve hatta bazı kolonlar kapasitesini aşarak "göçme bölgesi"ne geçmişlerdir. Maksimum tepe yer değiştirmesi

bu yapı için 0,323 m olarak hesaplanmıştır. Çift kat yüksekliğinde kullanılan BÖÇ elemanlı yapıda maksimum tepe yer değiştirmesi 0,238 m'dir ve bu değer tek kat yüksekliğinde BÖÇ elemanların kullanıldığı yapıya göre %26'lık bir fark demektir. Ayrıca çift kat yüksekliğinde kullanılan BÖÇ elemanlı yapıda, BÖÇ elemanların bağlandığı veya bağlanmadığı hiç bir kolon, "göçme bölgesi"ne geçmemiştir.

e) 4 kat ve 8 kat yapılar incelendiğinde, çift kat yüksekliğinde kullanılan BÖÇ elemanların, tek kat yüksekliğinde kullanılan BÖÇ elemanlara göre maksimum tepe yer değiştirmesini daha fazla azalttığı ve bağlı bulunduğu kolonlardaki eksenel yükleri daha az arttırdığı açıkça görülmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Yoshino, T. ve Karino, Y. (1971). Experimental study on shear wall with braces: Part 2 - Summaries of technical papers of annual meeting, Volume 11, Architectural Institute of Japan, *Structural Engineering* Section, 403-404
- [2] Wikipedia, Buckling Restrained Brace, https://en.wikipedia.org/wiki/Buckling_restrained_brace, 6 Haziran 2015
- [3] Goel, S.C. ve Lee, H.-S. (1990). Seismic strengthening of RC structures by ductile steel bracing system. Proceedings of Fourth U.S National Conference on Earthquake Engineering, Earthquake Engineering Research Inst., El Cerrito, California, 3:323-331
- [4] Maheri M. ve Sahebi A. (1997), Use of steel bracing in reinforced concrete frames. *Engineering Structures*, 19(12):1018-1024
- [5] Kim, J. ve Choi, H. (2004), "Behavior and design of structures with buckling-restrained braces", *Engineering Structures*, 26(2004):693-706
- [6] Qiang X., (2005), State of the art of buckling-restrained braces in Asia. *Journal of Constructional Steel Research*, 61:727-748
- [7] Chang, HY ve Chiu, CK. (2011), Performance Assessment of Buckling Restrained Braces. *Procedia Engineering*, 14: 2187-2195
- [8] Almansa, F.L., Medina, J.C., ve Oller, S. (2012), "A numerical model of the structural behavior of bucklingrestrained braces", *Engineering Structures*, 41:108-117
- [9] Hoveidae, N. ve Rafezy, B. (2012), "Overall buckling behavior of all-steel buckling restrained braces. *Journal of Constructional Steel Research*", 79:151-158
- [10] Khampanit, A., vsd., (2014). "Energy-based seismic strengthening design of non-ductile reinforced concrete frames using buckling-restrained braces", *Engineering Structures* 81 2014: 110-122
- [11] Zhang, J., vsd., (2015), "Experimental and Analytical Studies on a Reinforced Concrete Frame Retrofitted with Buckling-Restrained Brace and Steel Caging", *Advances in Structural Engineering*

- [12] Sutcu, F., vsd, (2014). "Seismic retrofit design method for RC buildings using buckling-restrained braces and steel frames", Journal of Constructional Steel Research, 101 2014: 304-313
- [13] Yön, B. ve Sayın, E., (2011), "Betonarme Perdeler ve Çelik Çaprazlarla Yapılan Güçlendirmelerin Karşılaştırılması", 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11), 16-18 Mayıs 2011, Elazığ, Türkiye
- [14] Eşsiz, Ö., (2005), "Deprem Bölgelerindeki Yapılarda Çelik Çapraz Çerçeve Sistemlerinin Avantajları", Deprem Sempozyumu, 23-25 Mart 2005, Kocaeli, Türkiye
- [15] Engineering Blog, Burkulması Önlenmiş Çelik Çaprazlar, <http://www.atacanute.com/2014/06/burulmasi-onlenmis-celik-caprazlar.html>, 20 Haziran 2015
- [16] Hussain, S., vsd, Buckling Restrained Braced Frame (BRBF) Structures: Analysis, Design and Approvals Issues
- [17] Robinson, K. ve Stocking, A., (2013), Buckling Restrained Braces-An Overview
- [18] Akbaş, B., (2011), "Endüstriyel Çelik Yapıların Sismik Detaylandırılması", 1. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, 11-14 Ekim 2011, ODTÜ, Ankara
- [19] Engelhardt, M.D. (2007). Design of Seismic-Resistant Building Structures: Concentrically Braced Frames, University of Texas at Austin, V1
- [20] Wakabayashi, M. ve Matsui, C., Minami, K., Mitani, I. (1974). Inelastic Behavior of Full-Scale Steel Frames with and without Bracings, Bulletin of Disaster Prevention Research Institute, 24:1, 1-23
- [21] Shen, J. (2011). Seismic Design of Steel Buildings Using AISC Seismic Provisions, Class Notes, CAE 525, Illinois Institute of Technology
- [22] Mollaoğlu, E., (2013), Burkulması önlenmiş çapraz (BÖÇ) ile güçlendirilmiş betonarme bir binanın doğrusal olmayan analiz yöntemleriyle performans değerlendirmesi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- [23] FEMA 450, 2003, NEHRP Recommended Provisions for Seismic Regulations for New Buildings and Other Structures, Federal Emergency Management Agency
- [24] AISC, 2010, Specification for Structural Steel Buildings, American Institute of Steel Construction
- [25] DBYBHY 2007, 2007, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik
- [26] Doran, B., vsd, (2013). "Non-linear static analysis of strengthened existing RC frame building using steel braces", Earthquake Engineering and Structural Dynamics 2013, 28-30 Ağustos, Viyana-Avusturya
- [27] Gürpınar, Z., (2011), Rijit Ötelenme Hareketine Maruz Mevcut Dolgu Duvarlı Bir Yapının Deprem Performansının Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ile Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- [28] Celep, Z., (2007), Betonarme Taşıyıcı Sistemlerde Doğrusal Olmayan Davranış ve

Çözümleme, Beta Dağıtım, İstanbul

- [29] XTRACT ver.3.0.8,(2007), Cross Sectional Analysis of Components, Imbsen Software System, Sacramento
- [30] Sap2000 v14.2.2, (2010), Integrated Structural Analysis and Design Software, Computer and Structures Inc., Berkeley, California
- [31] TSC-1997, Turkish Seismic Code, 1997
- [32] TSC-2007, Turkish Seismic Code, 2007
- [33] TS500, Türk Standartı, Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, 2000
- [34] FEMA 356, American Society of Civil Engineers, 2000.
- [35] Şenol, E., vsd, (2015), Ductility Enhancement in Reinforced Concrete Structure with Buckling-Restrained Braced Frames, Advances in Civil and Infrastructure Engineering, 12-13 Haziran, Vietri Sul Mare, İtalya

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : İsmail KÖSE
Doğum Yeri ve Tarihi : Üsküdar / 31.12.1987
Yabancı Dili : İngilizce, İspanyolca
E-posta : ce.ismailkose@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lisans	İnşaat Mühendisliği	İstanbul Üniversitesi	2012
Lise	Sayısal	Haydarpaşa Anadolu Lisesi	2006

İş Tecrübesi

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2015	Partner Teknik	Proje Koordinasyon Mühendisi
2012	Art-Yol Mühendislik	İnşaat Proje Mühendisi
2012	Hedef Yapı Akasya Şantiyesi	Teknik Ofis Mühendisi