

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TÜRKİYE ÇELİK YÖNETMELİĞİ'NE (ÇYTHYE-2016) GÖRE
STABİLİTE TASARIM YÖNTEMLERİNİN İRDELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İsmail KUL

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Bilim Dalı

SUBAT 2023

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TÜRKİYE ÇELİK YÖNETMELİĞİ'NE (ÇYTHYE-2016) GÖRE
STABİLİTE TASARIM YÖNTEMLERİNİN İRDELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İsmail KUL

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Bilim Dalı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Hüseyin KASAP

ŞUBAT 2023

İsmail KUL tarafından hazırlanan “Türkiye Çelik Yönetmeliği’ne (ÇYTHYE-2016) Göre Stabilitate Tasarım Yöntemlerinin İrdelenmesi” adlı tez çalışması 15.02.2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yapı Bilim Dalı’nda Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

Jüri Başkanı : **Doç. Dr. Öğretim Üyesi Elif AĞCAKOCA**
Sakarya Üniversitesi

Jüri Üyesi : **Dr. Öğr. Üyesi Hüseyin KASAP**
Sakarya Üniversitesi

Jüri Üyesi : **Dr. Öğretim Üyesi Emine AYDIN**
Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Eğitim-Öğretim Yönetmeliğine ve Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesine uygun olarak hazırlamış olduğum “Türkiye Çelik Yönetmeliği’ne (ÇYTHYE-2016) Göre Stabilitate Tasarım Yöntemlerinin İrdelenmesi ” başlıklı tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın tüm aşamalarında yukarıda belirtilen yönetmelik ve yönergeye uygun davrandığımı, tezin içerdiği yenilik ve sonuçları başka bir yerden almadığımı, tezde kullandığım eserleri usulüne göre kaynak olarak gösterdiğimi, bu tezi başka bir bilim kuruluna akademik amaç ve unvan almak amacıyla vermediğimi ve 20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince Sakarya Üniversitesi’nin abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Enstitü tarafından belirlenmiş ölçütlere uygun rapor alındığını, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun ortaya çıkması halinde doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi beyan ederim.

(15/02/2023).

(imza)

İsmail KUL

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, her konuda bilgi ve desteğini almaktan çekinmediğim, araştırmanın planlanmasından yazılmasına kadar tüm aşamalarında yardımlarını esirgemeyen, teşvik eden, aynı titizlikte beni yönlendiren değerli danışman hocam Dr. Hüseyin KASAP teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmaları değerli bilgilerini benimle paylaşan, kendisine ne zaman danışsam bana kıymetli zamanını ayırıp, sabırla ve büyük bir ilgiyle bana faydalı olabilmek için elinden gelenden fazlasını sunan her sorun yaşadığımda yanına çekinmeden gidebildiğim, güler yüzünü ve samimiyetini benden esirgemeyen hocam Dr. Zeynep YAMAN'a teşekkürü bir borç biliyor ve şükranlarımı sunuyorum.

İsmail KUL

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ	v
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xiii
SİMGELER	xv
TABLO LİSTESİ	xix
ŞEKİL LİSTESİ	xxi
ÖZET	xxiii
SUMMARY	xxv
1. GİRİŞ	1
1.1. Stabilite Tasarımı	1
1.2. Geometrik Ön Kusurlar	2
1.2.1. Geometrik kusurların doğrudan doğruya modellenmesi	2
1.2.2. Geometrik kusurların fiktif yük olarak modellenmesi	3
1.2.3. Dayanım ve Rijitliklerdeki Belirsizlikler	3
1.3. İkinci Mertebe Etkileri	4
1.3.1. P- δ Etkisi	4
1.3.2. P- Δ Etkisi	8
1.4. Literatür Taraması	10
2. İKİNCİ MERTEBE ANALİZİ	13
2.1. Geometri Değişimi Bakımından Doğrusal Olmayan(Nonlinear) Analiz	13
2.2. Yaklaşık İkinci Mertebe Analizi	14
2.2.1. Uygulama sınırları	18
2.2.2. P- δ Etkisi için B1 katsayısı	18
2.2.2.1. Cm katsayısı	19
2.2.3. P- Δ etkisi için B2 katsayısı	21
2.3. Tasarım İçin Yöntem, Kabul ve İhmaller	22
2.3.1. Tasarım yöntemi	22
2.3.2. YDKT ve GKT yöntemleri	22
2.3.3. Geometri değişimi bakımından ikinci mertebe analizi için ihmal	22
3. YÖNTEMLER	25
3.1. Genel Analiz Yöntemi	25
3.1.1. Uygulama sınırı	25
3.1.2. Tasarım dayanım hesabı	25
3.1.3. Gerekli dayanımın hesabı	26
3.1.3.1. Geometrik ön kusurların dikkate alınması	26
3.1.3.2. Dayanım ve rijitliklerdeki belirsizlikler	27
3.1.3.3. İkinci mertebe etkilerin dikkate alınması	31
3.2. Burkulma Boyu (Etkin Uzunluk) Yöntemi	31
3.2.1. Uygulama sınırı	32
3.2.2. Gerekli dayanım hesabı	32

3.2.2.1. Geometrik ön kusurların dikkate alınması	32
3.2.2.2. Dayanım ve rijitliklerdeki belirsizliklerin dikkate alınması	33
3.2.3. İkinci merteye etkileri.....	33
3.2.4. Tasarım dayanım hesabı	33
3.2.5. Burkulma boyu katsayısı(K).....	33
3.2.5.1. Yanal yer değiştirmesi önlenmemiş çerçeveler	36
3.2.5.2. Yanal yer değiştirmesi önlenmiş çerçeveler	37
3.2.5.3. Burkulma boyu katsayısı(K) hesabı için yapılan düzenlemeler	39
3.2.5.4. Diğer düzenlemeler	40
3.2.6. Kat stabilitesi için K katsayısı	42
3.2.6.1. Kat rijitliği yaklaşımı	42
3.2.6.2. Kat burkulması yaklaşımı	43
3.3. Genel Analiz ve Burkulma Boyu Yöntemleri Özet Tabloları	44
3.4. Çerçeve Örneği	47
3.4.1. Burkulma boyu yöntemiyle tasarımın yapılması.....	47
3.4.1.1. YDKT yüklemesi durumunda yaklaşık ikinci merteye etkilerin belirlenmesi.....	51
3.4.1.2. GKT yüklemesi durumunda yaklaşık ikinci merteye etkilerin belirlenmesi.....	53
3.4.1.3. Burkulma boyu yöntemi ile ÇYTHYE'ye göre kolonların tasarımı.....	55
3.4.1.4. Bileşik etkilerin dikkate alınması.....	59
3.4.1.5. Sap2000 doğrusal olmayan analiz sonuçları	60
3.4.2. Genel analiz yöntemiyle tasarımın yapılması.....	63
3.4.2.1. YDKT yüklemesi durumunda yaklaşık ikinci merteye etkilerin belirlenmesi.....	64
3.4.2.2. GKT yüklemesi durumunda yaklaşık ikinci merteye etkilerin belirlenmesi.....	66
3.4.2.3. Genel analiz yöntemi ile ÇYTHYE'ye göre kolon tasarımı	67
3.4.2.4. Bileşik etkilerin dikkate alınması.....	68
3.4.2.5. Sap2000 doğrusal olmayan analiz sonuçları	70
3.4.3. Bulgular ve irdelemeler	73
4. YAPILAN ÇALIşMA.....	75
4.1. Çelik Yapının ÇYHTYE Yönetmeliğine Göre Tasarımı	77
4.1.1. Yükler	77
4.1.1.1. Düşey yükler	77
4.1.1.2. Deprem yükleri	79
4.1.1.3. Rüzgar yükü	86
4.1.2. Yük kombinasyonları	87
4.1.3. Çelik yapının birinci merteye analiz sonuçları	88
4.2. Çelik Yapının ÇYHTYE Yönetmeliğine Göre Stabilite Tasarımı	91
4.2.1. Geometrik ön kusurların dikkate alınması	91
4.2.1.1. Yük kombinasyonları.....	91
4.3. Çelik Yapının Genel Analiz Yöntemi Doğrusal Olmayan Analiz (Nonlinear) ile Tasarımı.....	94
4.3.1. Genel analiz yöntemi doğrusal olmayan analiz sonuçları	95
4.4. Çelik Yapının Genel Analiz Yöntemi Yaklaşık İkinci Merteye Analiz ile Tasarımı	96
4.4.1. Programa yaklaşık ikinci merteye analizi için girilen veriler (GA)	98

4.4.2. Genel analiz yöntemi yaklaşık ikinci mertebe analizi sonuçları	98
4.5. Çelik Yapının Burkulma Boyu Yöntemi Doğrusal Olmayan Analiz (Nonlinear) ile Tasarımı	99
4.5.1. K katsayıları hesabı	99
4.5.2. Burkulma boyu yöntemi doğrusal olmayan analiz sonuçları	100
4.6. Çelik Yapının Burkulma Boyu Yöntemi Yaklaşık İkinci Mertebe Analiz ile Tasarımı.....	101
4.6.1. Programa yaklaşık ikinci mertebe analizi için girilen veriler.....	103
4.6.2. Burkulma boyu yöntemi yaklaşık ikinci mertebe analiz sonuçları	104
4.7. Bulgular ve İrdemeler.....	105
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	109
KAYNAKLAR	113
EKLER.....	115
ÖZGEÇMİŞ.....	125

KISALTMALAR

AISC	: American Institute of Steel Construction
BB	: Burkulma Boyu
BKS	: Bina Kullanım Sınıfı
BYS	: Bina Yükseklik Sınıfı
ÇYTHYE	: Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapımına Dair Esaslar
DGT	: Dayanıma Göre Tasarım
DTS	: Deprem Tasarım Sınıfı
GA	: Genel Analiz
GKT	: Güvenlik Katsayıları ile Tasarım
KH	: Kontrollü Hasar Performans Düzeyi
Sap2000	: Structural Analysis Program v.22.2.0
TBDY	: Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018
TS 498	: Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri, Türk Standardı
YDKT	: Yük ve Dayanım Katsayıları ile Tasarım
Yönetmelik	: Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapımına Dair Esaslar 2016

SİMGELER

A_g	: Kayıpsız enkesit alanı
B_1	: P- δ etkilerini göz önüne alan katsayı
B_2	: P- Δ etkilerini göz önüne alan katsayı
C_m	: Eşdeğer sabit moment yayılışına dönüştürme katsayısı
D	: Dayanım fazlalığı katsayısı
DD-2	: 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan deprem yer hareketi düzeyi
E	: Deprem yükü
E	: Yapısal çelik elastisite modülü
EA	: Eksenel ve kayma rijitliği
EA^*	: Azaltılmış eksenel ve kayma rijitliği
$E_c I_c$: Kolon enkesiti eğilme rijitliği
E_d	: Doğrultu birleştirmesi uygulanmış tasarım esas toplam deprem etkisi
$E_d^{(H)}$: Doğrultu birleştirilmesi uygulanmış tasarıma esas yatay deprem etkisi
$E_d^{(X)}$: (X) Doğrultusundaki depremin etkisi altında tasarıma esas deprem etkisi
$E_d^{(Y)}$: (Y) Doğrultusundaki depremin etkisi altında tasarıma esas deprem etkisi
$E_d^{(Z)}$: (Z) Doğrultusundaki depremin etkisi altında tasarıma esas deprem etkisi
$E_g I_g$: Kiriş enkesiti eğilme rijitliği
EI	: Eğilme rijitliği
EI^*	: Azaltılmış eğilme rijitliği
F	: Yatay yük
F_{cr}	: Kritik burkulma gerilmesi
F_e	: Elastik burkulma gerilmesi
F_y	: Yapısal çelik karakteristik akma gerilmesi
G	: Sabit yük
G_A	: Eleman üst düğüm noktası
G_B	: Eleman alt düğüm noktası

H	: Düşey konsol uzunluğu
H	: Yatay yüklerden oluşan kat kesme kuvveti
H_N	: Bina toplam yüksekliği
I	: Bina önem katsayısı
I	: Eleman enkesitinin eğilme düzlemindeki ataleti
i	: Atalet yarıçapı
K	: Burkulma boyu katsayısı
K₁	: Yanal ötelenmesi önlenmiş sistem burkulma katsayısı
K₂	: Kat burkulma boyu
L	: Eleman boyu
L	: Kat yüksekliği
L'_g	: Düzenlenmiş giriş boyu
L_c	: Burkulma boyu
L_c	: Kolon burkulma boyu
L_g	: Giriş boyu
M*	: P-δ ve P-Δ etkilerinden oluşan ilave moment
M₀	: Birinci mertebe eğilme momenti dayanımı
M_F	: Dikkate alınan düğüm noktasından uzakta bulunan uçtaki moment değeri
m_i	: i'inci katın toplam kütlesi
M_{1t}	: Yapı sisteminin sadece yanal ötelenmesi sonucu, YDKT veya GKT yük birleşimleri altında ilgili elemanda oluşan birinci mertebe eğilme momenti
M_N	: Dikkate alınan düğüm noktasındaki moment değeri
M_{nt}	: Yatay ötelenmesi önlenmiş sistemde, YDKT veya GKT yük birleşimleri altında hesaplanan birinci mertebe eğilme momenti.
M_r	: İkinci mertebe etkileri içeren gerekli eğilme momenti dayanımı
n	: Hareketli yük katılım katsayısı
N_G	: Sabit yükün en az 0.002 katı kadar yatay fiktif yük
N_i	: (i) Kat düzeyine etkitilecek fiktif yük (Tüm Sistem için)
N_Q	: Hareketli yükün en az 0.002 katı kadar yatay fiktif yük
N_S	: Kar yükünün en az 0.002 katı kadar yatay fiktif yük
P	: Düşey yük
P_{e, kat}	: Söz konusu katın yatay taşıyıcı elemanlarına etkileyen toplam düşey yük
P_{el}	: Eğilme düzlemindeki burkulma yükü

P_{kat}	: Söz konusu katın tüm düşey taşıyıcı elemanlarına etkiyen toplam düşey yük
P_{It}	: Yapı sisteminin sadece yanal ötelenmesi sonucu, YDKT veya GKT yük birleşimleri altında ilgili elemanda oluşan birinci mertebe aksel kuvvet
P_{mf}	: Çerçevelerin kat kolonlarına etkiyen toplam düşey yük
P_n	: Karakteristik aksel basınç kuvveti dayanımı
P_n/Ω	: Güvenli basınç kuvveti dayanımı
P_{ns}	: Eleman enkesit basınç kuvveti dayanımı
P_{nt}	: Yatay ötelenmesi önlenmiş sistemde, YDKT veya GKT yük birleşimleri altında hesaplanan birinci mertebe aksel kuvvet
P_r	: İkinci mertebe etkileri içeren gerekli aksel kuvvet dayanımı
P_r	: Yük altında hesaplanan gerekli aksel basınç kuvveti dayanımı
Q	: Hareketli yük
r	:
R	: Taşıyıcı sistem davranış katsayısı
$R_a(T)$: Öngörülen süneklik kapasitesi ve periyoda bağlı deprem yükü azaltma katsayısı
R_M	: P- δ etkilerinin P- Δ üzerindeki etkisini göz önüne alan katsayı
S	: Kar yükü
$S_{ae}(T)$: Yatay elastik tasarım spektral ivmesi (g)
$S_{aR}(T)$: Azaltılmış tasarım spektral ivmesi (g)
S_{Ds}	: Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı (boyutsuz)
T	: Doğal titreşim periyodu (sn)
T_A	: Yatay elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu (sn)
T_B	: Yatay elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu (sn)
$T_P(X)$: X Doğrultusu doğal titreşim periyodu
$T_P(Y)$: Y Doğrultusu doğal titreşim periyodu
T_{pA}	: Ampirik olarak hesaplanan hakim doğal titreşim periyodu (sn)
$V_{tE}^{(X)}$: (X) Deprem doğrultusunda binanın tümüne etkiyen toplam eşdeğer deprem yükü (taban kesme kuvveti) [kN]
$V_{tE}^{(Y)}$: (Y) Deprem doğrultusunda binanın tümüne etkiyen toplam eşdeğer deprem yükü (taban kesme kuvveti) [kN]
W	: Rüzgar yükü
Y_i	: YDKT veya GKT yük birleşimleri ile belirlenen, (i) kat döşemesine etkiyen toplam düşey yük.
Δ	: Sistem deplasmanı

ΔH	: Görelî kat ötelemesi
ϕP_n	: Tasarım basınç kuvveti dayanımı
τ_b	: Eğilme rijitliği azaltma katsayısı

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1. Tek eğrilik ve çift eğrilik gösterimi	20
Tablo 3.1. YDKT kombinasyonları.....	27
Tablo 3.2. Burkulma boyu katsayısı, K için yaklaşık değerler	35
Tablo 3.3. Çerçeve K hesabı.....	40
Tablo 3.4. Doğrusal olmayan analiz ile Genel Analiz yöntemi	44
Tablo 3.5. Yaklaşık ikinci merteye analizi ile Genel Analiz Yöntemi.....	45
Tablo 3.6. Doğrusal olmayan analiz ve yaklaşık ikinci merteye analizi ile Burkulma Boyu yöntemi	46
Tablo 3.7. Çerçeve elemanları kesit özellikleri.....	48
Tablo 3.8. Çerçeve örneği K katsayısı hesabı	48
Tablo 3.9. YDKT ve GKT yükleme durumları için elemanlara gelen yüklerin belirlenmesi	49
Tablo 3.10. Birinci merteye YDKT yüklemesi analiz sonuçları	50
Tablo 3.11. YDKT yüklemesi B katsayıları hesabı.....	51
Tablo 3.12. YDKT yüklemesi ikinci merteye değerlerinin belirlenmesi	52
Tablo 3.13. Birinci merteye GKT yüklemesi analiz sonuçları.....	52
Tablo 3.14. GKT yüklemesi B katsayılarının hesabı	54
Tablo 3.15. GKT yüklemesi ikinci merteye değerlerinin belirlenmesi	55
Tablo 3.16. Burkulma boyu yöntemi kolon tasarımı.....	59
Tablo 3.17. A Kolonu için YDKT ve GKT yüklemesi kapasite oranı	59
Tablo 3.18. B Kolonu için YDKT ve GKT yüklemesi kapasite oranı	60
Tablo 3.19. Burkulma Boyu yöntemi YDKT yüklemesi doğrusal olmayan analizi sonuçları	61
Tablo 3.20. Burkulma Boyu yöntemi GKT yüklemesi doğrusal olmayan analizi sonuçları	62
Tablo 3.21. Burkulma Boyu yöntemi yaklaşık ikinci merteye ile doğrusal olmayan analiz sonuçlarının karşılaştırması.	63
Tablo 3.22. Genel analiz yöntemi YDKT ve GKT yüklemeleri birinci merteye analizi	64
Tablo 3.23. Genel analiz yöntemi YDKT yüklemesi için sistem ayırımı	64
Tablo 3.24. GKT yüklemesi için sistem ayırımı	64
Tablo 3.25. Genel Analiz Yöntemi YDKT yüklemesi B katsayıları hesabı	65
Tablo 3.26. Genel analiz yöntemi YDKT yüklemesi ikinci merteye değerlerinin belirlenmesi	66
Tablo 3.27. Genel analiz yöntemi GKT yüklemesi B katsayılarının hesabı	66
Tablo 3.28. Genel analiz yöntemi GKT yüklemesi ikinci merteye değerlerin belirlenmesi	67
Tablo 3.29. Genel analiz yöntemi kolon tasarımı	68
Tablo 3.30. A kolonu için YDKT ve GKT yüklemesi kapasite oranı.....	69
Tablo 3.31. B kolonu için YDKT ve GKT yüklemesi kapasite oranı	69
Tablo 3.32. Genel analiz YDKT yüklemesi doğrusal olmayan analiz sonuçları	70

Tablo 3.33. Genel Analiz yöntemi GKT yüklemesi doğrusal olmayan analizi sonuçları	71
Tablo 3.34. Genel Analiz yöntemi yaklaşık ikinci mertebe ile doğrusal olmayan analiz sonuçlarının karşılaştırması.	72
Tablo 3.35. Burkulma Boyu yöntemi yaklaşık ikinci mertebe ile doğrusal olmayan analiz sonuçlarının karşılaştırması	72
Tablo 4.1. Taşıyıcı sistem elemanları ve özellikleri	77
Tablo 4.2. Çatı katı giriş yüklemeleri	78
Tablo 4.3. Normal kat giriş yüklemeleri.....	79
Tablo 4.4. Yapı yüzey genişliğine göre yüzeye dik gelen rüzgar kuvvetleri	87
Tablo 4.5. GA yöntemi yaklaşık ikinci mertebe analizi B2hesabı	98
Tablo 4.6. GA yaklaşık ikinci mertebe analiz sonuçları.....	98
Tablo 4.7. Burkulma boyu katsayısı, K hesabı.....	99
Tablo 4.8. BB yöntemi yaklaşık ikinci mertbe analizi B2 hesabı	103
Tablo 4.9. BB yaklaşık ikinci mertebe analiz sonuçları	104
Tablo 4.10. Stabilitate tasarım-analiz yöntemlerinde kullanılan değişken değerler ve sonuçları	105

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1. Yayılı yatay yüke sahip düşey konsol moment gösterimi.....	5
Şekil 1.2. Yayılı yatay yüke sahip düşey konsolun ikinci mertbe moment gösterimi5	
Şekil 1.3. P- δ Etkisinin moment gösterimi	7
Şekil 1.4. Eksenel yük ile elaman bazındaki şekil değiştirme	7
Şekil 1.5. Tekil yatay ve düşey yüke sahip düşey konsolun gösterimi.....	8
Şekil 1.6. P- Δ Etkisinin moment gösterimi	9
Şekil 1.7. Eksenel yük ile sistem genelindeki şekil değiştirme	10
Şekil 1.8. P- δ ve P- Δ etkilerinin aynı diyagramda gösterimi.....	10
Şekil 2.1. Sistem ekseni ve şekil değiştirmiş eksen.....	13
Şekil 2.2. Çerçeve durumu.....	15
Şekil 2.3. Çerçeve ayırımı; a)Sadece düşey yükler etkisindeki çerçeve b)Sadece yanal yükler etkisindeki çerçeve	16
Şekil 2.4. Çerçeve ayırımı gösterimi; a) tüm yükler etkisindeki çerçeve b)Tüm yükler altında mesnetler ile ötelenmesi engellenmiş çerçeve c)Mesnet reaksiyon yükleri etkisindeki çerçeve.....	17
Şekil 3.1. Kritik burkulma gerilmesinde etkili olan durumlar.....	28
Şekil 3.2. Kritik burkulma gerilmesi	29
Şekil 3.3. Yanal yerdeğiştirmesi önlenmemiş sistemlerde burkulma boyu katsayısı, K nomogramı	36
Şekil 3.4. Yanal yer değiştirmesi önlenmiş sistemlerde burkulma boyu katsayısı, K nomogramı	38
Şekil 3.5. Model çerçeve detayı.....	40
Şekil 3.6. Çerçeve sistemi ve yük durumları gösterimi	47
Şekil 4.1. Genel sistem görünüşü.....	75
Şekil 4.2. Normal kat sistem planı	76
Şekil 4.3. Tipik sistem enkesiti	76
Şekil 4.4. Sap2000 X ve Y doğrultusu periyot değerleri	80
Şekil 4.5. Sae(T)-Periyot grafiği.....	81
Şekil 4.6. X doğrultusu için azaltılmış tasarım spektrumu	82
Şekil 4.7. Y doğrultusu için azaltılmış tasarım spektrumu	83
Şekil 4.8. Sap2000 toplam düşey yükler.....	83
Şekil 4.9. Sap2000 x doğrultusu deprem verileri.....	85
Şekil 4.10. Sap2000 y doğrultusu deprem verileri.....	85
Şekil 4.11. Sap2000 düşey doğrultu deprem yükü	86
Şekil 4.12. Sap2000 deprem yükleri.....	86
Şekil 4.13. Birinci mertbe kesit kapasite oranları genel görünüşü.....	89
Şekil 4.14. Birinci kat birinci mertbe kapasite oranları listesi	89
Şekil 4.15. 3 aksı birinci mertbe kapasite oranları	90
Şekil 4.16. A aksı birinci mertbe kapasite oranları	90
Şekil 4.17. 5 aksı birinci mertbe deplasman değeri	91
Şekil 4.18. Sap2000 fiktif yük	91

Şekil 4.19. Sap2000 nonlinear yük durumu	94
Şekil 4.20. GA yöntemi Sap2000 Nonlinear ayarı.....	95
Şekil 4.21. Birinci kat ikinci mertbe kapasite oranları listesi (GA)	95
Şekil 4.22. 5 aksı ikinci mertbe deplasman değeri (GA)	96
Şekil 4.23. GA yöntemi Sap2000 yaklaşık ikinci mertbe analiz ayarı.....	96
Şekil 4.24. 5 aksı yaklaşık ikinci mertbe deplasman değeri (GA)	97
Şekil 4.25. BB yöntemi Sap2000 nonlinear ayarı	100
Şekil 4.26. Birinci kat ikinci mertbe kapasite oranları listesi (BB).....	101
Şekil 4.27. 5 aksı ikinci mertbe deplasman değeri (BB).....	101
Şekil 4.28. BB yöntemi Sap2000 yaklaşık ikinci mertbe analiz ayarı	102
Şekil 4.29. 5 aksı yaklaşık ikinci mertbe deplasman değeri (BB).....	102
Şekil 4.30. B/3(12 numaralı) zemin kat kolonu Sap2000 girdisi.....	104
Şekil 4.31. A/4 (7 numaralı) zemin kat çaprazı Sap2000 girdisi	104

TÜRKİYE ÇELİK YÖNETMELİĞİ'NE (ÇYTHYE-2016) GÖRE STABİLİTE TASARIM YÖNTEMLERİNİN İRDELENMESİ

ÖZET

Çelik yapıların stabilitesini(kararlılığını) etkileyebilecek birçok faktör bulunmaktadır. Elemanların ve yapı sisteminin şekil değiştirmeleri, şekil değiştirmelerden oluşan ikinci mertebeye etkiler, geometrik ön kusurlar, dayanım ve rijitliklerdeki belirsizlikler yapı stabilitesini önemli derecede etkilemektedir. Bu nedenle yapı stabilitesinin tahkikinin yapılabilmesi için stabilite tasarım yöntemlerinin kullanılması gerekmektedir. Amerikan Şartnamesi AISC360-16(Specification for Structural Steel Buildings, Çelik Binalar İçin Tasarım ve İnşaat Yönetmeliği-2016), ÇYTHYE(Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları Yönetmeliği-2016)'da Burkulma Boyu(BB) ve Genel Analiz(GA) yöntemleri yer almaktadır.

Genel Analiz yöntemi teknolojik gelişmeler neticesinde geliştirilen ve yapı stabilitesini irdelemek için sunulan bir yöntemdir. Burkulma boyu yöntemi yarım yüzyılı aşkın süredir bilinen ve kullanılan yöntem olmasından dolayı sınırlı koşullarda genel analiz yöntemine alternatif olarak kullanılabilir. Her iki yöntem için ikinci mertebeye etkilerin belirlenmesinde doğrusal olmayan analiz kullanılır. Doğrusal olmayan analiz yöntemine, belirli sınırlar çerçevesinde yaklaşık ikinci mertebeye analizi alternatif olarak kullanılabilir. Yöntemler harmanlandığında dört farklı stabilite tasarım yöntemini oluşturmaktadır. Bu yöntemler, doğrusal olmayan analiz ile BB yöntemi, doğrusal olmayan analiz ile GA yöntemi, yaklaşık ikinci mertebeye analizi ile BB yöntemi ve yaklaşık ikinci mertebeye analizi ile GA yöntemleridir. Yapı stabilitesini etkileyen, elemanların ve sistemin şekil değiştirmeleri, ikinci mertebeye etkiler, geometrik ön kusurlar, dayanım ve rijitliklerdeki belirsizlikler basit ifadelerle tez içerisinde açıklanmış, yöntemlerin içerisinde nasıl ele alındığı ifade edilmiştir. Stabilite tasarımı yöntemlerinin, çerçeve sistemi üzerinde çalışmasını irdelemek amacıyla çerçeve sistemi örneği, hesap detaylarıyla çözülmüştür. Stabilite tasarımı için sunulan dört yöntemin, uygulama sınır durumlarını sağlayan sekiz katlı çelik yapı sistemi sap2000 programı ile çözülmüştür.

Tüm yapılan çalışmaların kapsamlı değerlendirmesi yapılmıştır. Değerlendirmeler neticesinde hesaplamalardaki netlik ve uygulanabilirlik bakımından GA yöntemi BB yönteminden daha güvenilir olduğu görülmüştür. Doğrusal olmayan analiz yöntemi, YİMA yöntemine göre şekil değiştirmeleri analizde dikkate alabilmesi sebebiyle gerçek davranışa daha yakın sonuçlar vermektedir. YİMA yöntemi, doğrusal olmayan analiz yönteminden daha küçük değerler elde etmeksizin daha güvenli bölgede kalmaktadır. Süperpozisyon prensibinin kullanılması gerekli durumlarda doğrusal olmayan analiz yöntemi uygulanamadığından YİMA yönteminin kullanılması avantaj sağlamaktadır.

INVESTIGATION OF STABILITY DESIGN METHODS ACCORDING TO TURKISH STEEL CODE (2016)

SUMMARY

Stability for all building systems; Although it is a problem that must be overcome in terms of life safety and building safety, it has special importance, especially for steel structures. The high strength of the steel provides easy access to sufficient bearing capacity with small cross-sections in the carrier system elements. However, while the buckling problem is encountered in the structural element formed with small sections and subjected to axial pressure load, the stability problem is also met when the holistic behavior of the same structural system is examined. For this reason, it is necessary to carry out the design by examining the stability situation based on elements and throughout the system during the design phase. It would be a correct method to consider the factors affecting the stability of the element and the structure with a comprehensive research in the stability design. In this context, international steel regulations and Turkish Steel Regulations (ÇYTYHE-2016) offer design opportunities with two different methods: General Analysis (GA) and Buckling Length (BB) method. There are two different analysis methods to consider the second-order effects of the design methods. These methods are nonlinear geometric analysis (nonlinear) and approximate second-order analysis methods (YIMA). When the presented methods are blended, they form four different design and analysis methods within certain boundary situations. Aim: This study is aimed to compare the four methods within the limits of applicability and to highlight their advantages and disadvantages. Method: Within the scope of the study, a single-story plane steel frame system and an eight-story steel structure model were designed with first-order analysis and stability controls with four different methods, and the results were analyzed.

When we examine the structure of the frame sample with the results of first-order analysis, after all the wear stability design of the columns (A and B axle columns) that carry both horizontal and vertical loads are completed; It is seen that the first-order results for column A have greater internal forces than the stability design results. The negative consequences of this situation for this column are the stability design internal force values are greater than the first order values. It has been observed that vertical, horizontal and second order effects are effective on the internal forces of the column in both columns. With the effect of vertical load from the weights of the vertical and horizontal loads, axial compressive force and positive moment occur in the A column, while horizontal loads consist of axial tensile force and negative moment values. The propagation of the second-order effects, on the other hand, has an opposite sign to the internal forces formed by vertical loads. Therefore, the stability design results resulted in lower internal force values since the second order effects are the opposite direction (opposite sign) of the internal force values formed by vertical loads on the A column. For the B column, the internal force values are greater in the stability design as this is exactly the opposite of the

situation. Considering the case of the opposite case of the direction of fictitious load application, it can be predicted that the results obtained will be exactly the opposite. The values that continue to be examined within the internal force values are the values where the moment values are affected more than the axial values. This shows that second order effects are more effective on instant values.

When the calculation details of the GA and BB methods used in stability design are examined, the BB method aims to reduce the element design compressive force strength with the coefficient K . For this reason, the capacity ratio that will occur in the element is taken into account with the reduced axial force strength. In the GA method, the deformations of the element and the system are taken into account by reducing the element stiffnesses without changing the design strengths of the element.

When the displacement values are examined, it is seen that the BB-YIMA method has the same displacement values as the first order analysis. It is understood that the buckling length coefficient K used in the BB method does not affect the system displacements. In GA methods, on the other hand, higher values were obtained than the first-order displacement values due to the stiffness reductions. More displacement values can cause more effective second-order effects and destabilizing factors. More displacement values in terms of stiffness reduction provide the opportunity to better examine the stability of the structure.

It can be taken into consideration that nonlinear analysis (nonlinear) in terms of geometry change is the method recommended to be used by the regulation, giving results close to the real behavior. Comparing the internal force values in the nonlinear analysis and approximately second order analysis results, the results were close to each other in the axial force values. In the moment values, it is seen that the second order analysis gives higher moment values than the nonlinear analysis values.

Assuming that the nonlinear analysis results give results close to the real behavior, it can be said that the results show close values when the second order analysis for column elements and the nonlinear analysis element capacity ratio results are compared. When the results are analyzed in terms of internal forces, it is seen that the axial force values are close to each other in both methods. However, when the moment values are compared, it can be said that the results of the second order analysis reach 1% to 5% higher values than the nonlinear analysis results. This situation shows that the stability design made with approximate second order analysis is in the safer region. This situation, which seems to be a disadvantage, allows the use of approximately second-order analysis and the spectrum (mode combining) method, which is commonly used by design engineers, in stability design.

The buckling length coefficient K used in the buckling length method does not affect the structural displacement. The general analysis method tries to force the limit values with the displacement of the designed structure and the second order effects that may occur due to the reduction in stiffnesses. Such a compulsion gives the designer a chance to better examine the stability of the structure.

Column elements used in steel structures generally have a stronger inertia in one direction than the other. For this reason, they are usually designed to transmit torque in the strong direction and as articulated in the weak direction. The Buckling Length method, which is used for stability design, designs with the coefficient K . The buckling length coefficient K determines the axial slenderness ratios of the element

and the direction that will form the boundary condition for the flexural buckling condition of the element. In this determination, it is important that the slenderness ratio in the strong side of the element exceeds the slenderness ratio in the weak side, for the method to take into account the uncertainties in strength and stiffness. Two negative situations can be encountered in the buckling length method. The first case is the case where the strong axis cannot exceed the weak axis slenderness ratio and the compressive strength of the element cannot be reduced. This is the situation encountered in three-dimensional building design. In the second case, large slenderness ratios are obtained with the buckling length coefficient K . The compressive force strength of the element can be reduced too much and it can create situations of staying in the extreme safe zone in the stability design.

The biggest disadvantage of the method is that the calculation of the K coefficient for the buckling length method is a matter of debate and therefore a clear K coefficient calculation is not recommended by the standards. Since there is no such situation in the general analysis method, the GA method is more advantageous due to the clarity and applicability limit situations in its calculation.

If the axial and moment values are examined as a result of the studies, the Buckling Length and General Analysis methods examine different internal force values. The axial force in the BB method focuses on the moment value in the GA method. However, the results of the combined effects equations under bending and pressure, showing the element capacity results, are close to each other.

1. GİRİŞ

Ülkemizde bina türü yapıların büyük çoğunluğunu betonarme ve çelik yapılar oluşturmaktadır. Bina türü yapıların içerisinde fabrika, depo, antrepo, enerji santrali, spor tesisleri gibi geniş açıklıklı ve mimari olarak konstrüktif yapılar çelik olarak inşa edilmektedir. Çelik yapıların inşasında belirli standart ve yönetmelikler kullanılmaktadır. Ülkemizde çelik yapıların hesap ve tasarımlarının Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları (Bundan sonraki bölümlerde Yönetmelik veya ÇYTHYE olarak ifade edilecektir) ve Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (Bundan sonraki bölümlerde TBDY-2018 olarak ifade edilecektir)'ne göre yapılması zorunludur.

ÇYTHYE yönetmeliği Bölüm 6 Stabilite tasarımı uyarınca, çelik yapı elemanlarının tasarımında ikinci mertebe etkilerinin dikkate alınması zorunludur. TBDY-2018'e göre ikinci mertebe etkileri dikkate alınması gerekli durumlar, ikinci mertebe gösterge bağıntısı ile incelenmektedir. Bağıntının sağlanmaması durumunda, deprem etkileri ikinci mertebe büyütme katsayısı, B_{II} ile büyütülmektedir.

ÇYTHYE Amerikan yönetmeliklerinden yararlanılarak hazırlanmıştır. ÇYTHYE yönetmeliği, yönetmelik kapsamında değinilmemiş veya değinilmiş tüm tasarım ve hesap esasları için farklı yönetmeliklere de başvurulması konusunda yönlendirmeler yapmaktadır. Bu kapsam doğrultusunda yapılan bu çalışmada AISC360-10(Specification for Structural Steel Buildings, Çelik Binalar İçin Tasarım ve İnşaat Yönetmeliği 2010) ve AISC360-16(Specification for Structural Steel Buildings, Çelik Binalar İçin Tasarım ve İnşaat Yönetmeliği 2016) yönetmeliklerinden yararlanılarak stabilite tasarım detayları açıklanmıştır.

1.1. Stabilite Tasarımı

Çelik çerçeve yapıların stabilitesini etkileyen birçok parametre ve davranışsal etkiler bulunmaktadır.(Birnstiel ve Iffland, 1980; McGuire, 1992; White ve Chen, 1993; ASCE, 1997; Ziemian, 2010). Yapıların ve yapı elemanların stabilitesinden

bahsedilirken, sadece eksenel kuvvet altındaki elemanlar değil kirişler, çapraz sistemleri ve bağlantıların tamamı ile yapı bir bütün olarak düşünülmelidir.

Yapı sistemlerinin stabilite tasarımı; eleman bazındaki ve sistem genelindeki geometri değişimlerinin denge denklemlerine etkisini göz önüne alan ikinci mertebe teorisine göre analiz yapılmasını ve hesaplanan iç kuvvet büyüklüklerinin elemanların mevcut dayanımları ile karşılaştırmasını öngörmektedir.

Yapı sistemlerinin stabilitesini etkileyen başlıca faktörler şunlardır.

- Geometrik Ön Kusurlar
- Dayanım ve Rijitliklerdeki Belirsizlikler
- Eleman Bazındaki ve Sistem Genelindeki Şekil Değişimleri
- İkinci Mertebe Etkileri

1.2. Geometrik Ön Kusurlar

Geometrik ön kusur olarak ifade edilen kusurlar ilkel kusurlardır. İlkel kusurlar; ham demirin ve gerekli magnezyum, nikel vb. elementlerle birleştirilmesiyle oluşturulan çelik malzemesinin üretim toleransları, üretilen çeliğin gerekli münferit elemanlara dönüştürülmesi için yapılan fabrikasyon imalatlarında kullanılan standartlardaki tolerans paylarının toplamı ile beraberinde (üretim ve imalat hata payları dahil değil) şantiyede montajı sırasında oluşabilecek düğüm noktasının konumunun geometrik sapması olarak ifade edilebilir (kolonun üst düğüm noktasının geometrik olarak sapması). Çelik sektöründe ölçü birimi olarak milimetre kullanıldığı için, oluşan geometrik kusurların hata payı milimetre cinsine göre büyük bir yüzdelik oranı teşkil etmektedir.

Geometrik ön kusurlar(İlkel) doğrudan doğruya veya fiktif yük olarak yönetmelik çerçevesinde iki farklı şekilde ele alınmaktadır.

1.2.1. Geometrik kusurların doğrudan doğruya modellenmesi

Geometrik kusurlar; kusurun öngörülüp, hesaplanıp, model üzerinde düğüm noktasının geometrik olarak yerdeğiştireceği mesafe dikkate alınarak doğrudan modellenmiş olur. Dikkate alınacak ön kusur biliniyorsa bilindiği şekilde dikkate alınmalı eğer bilinmiyorsa ilgili yönetmeliklerin öngördüğü toleranslar baz alınarak model üzerine yansıtılmalıdır.

1.2.2. Geometrik kusurların fiktif yük olarak modellenmesi

Geometrik kusurların fiktif yük olarak modellendiği yöntemde; düğüm noktasının kusur düzeyi kadar yer değiştirmesini sağlayacak bir kuvvet, düğüm noktasına uygulanmaktadır. Bu kuvvet gerçekte hiçbir zaman var olmadığından ve sistemin geometrik kusurunun ele almak için uygulandığından fiktif(hayali) yük olarak adlandırılmaktadır. Geometrik ön kusurları temsil eden fiktif yükler yukarıdaki ifade ile anlaşılacağı üzere sistemin şekil değiştirmemiş haline uygulanacaktır.

ÇYTHYE-2016 yönetmeliği, Geometrik kusurların fiktif yük olarak modellenmesinde; yapı sistemlerinde yüklerin, çerçeveler, kolon ve perdeler tarafından taşınması şartını koymakla beraber, fiktif yük yönteminin genel olarak tüm yapı sistemleri için de benzer şekilde kullanılmasına izin vermiştir.

Yönetmelikte geometrik ön kusur olarak önerilen değer 1/500'dür. Bu değer 0.002 altında bir değer alınmasına izin verilmez. 1/500 değeri çeliğin üretim, imalat ve montaj hata toleranslarının toplamını ifade eder. Fiktif olarak alınacak kuvvet hesabı, yönetmelikte sistem genelinde katın taşıdığı düşey yük ile ön kusuru temsil eden değer cebirsel ifadesidir.

Yatay fiktif yükler Denklem 1.1 ile hesaplanmaktadır;

$$N_i = 0.002\alpha Y_i \quad (1.1)$$

Buradaki terimler aşağıda açıklanmıştır.

YDKT için $\alpha=1$

GKT için $\alpha=1.6$

N_i : (i) Kat düzeyine etkitilecek fiktif yük (Tüm Sistem için)

Y_i : YDKT veya GKT yük birleşimleri ile belirlenen, (i) kat döşemesine etkileyen toplam düşey yük. (G, Q, S gibi)

Fiktif yük, YDKT ve GKT yöntemleri için oluşturulan yük kombinasyonlarında dikkate alınacaktır.

1.2.3. Dayanım ve Rijitliklerdeki Belirsizlikler

Malzemenin üretiminde ve imalatında yapı elemanlarında oluşan iç gerilmeler artık gerilmelerdir. Artık gerilmelerin bulunduğu yapı elemanlarına dışarıdan yük

geldiğinde, yüklerden ve artık gerilmelerden oluşan tüm etkileri, yapı elemanı taşımak zorundadır.

Artık gerilmeler ile beraber elemanların eğilme, kayma, eksenel şekil değiştirmeleri ve kiriş kolon panel birleşim bölgelerinin(kayma gerilmeleri vb.) şekil değiştirmeleri eklendiğinde, sistem stabilitesi etkilenmektedir. Bu etkileri tam olarak olmasa da varsayımlar altında dikkate alan “Genel Analiz” yöntemi ile stabilite analizi yapılmaktadır. Genel analiz yöntemine alternatif olarak, sınır durumları çerçevesinde burkulma boyu yöntemi de kullanılabilir.

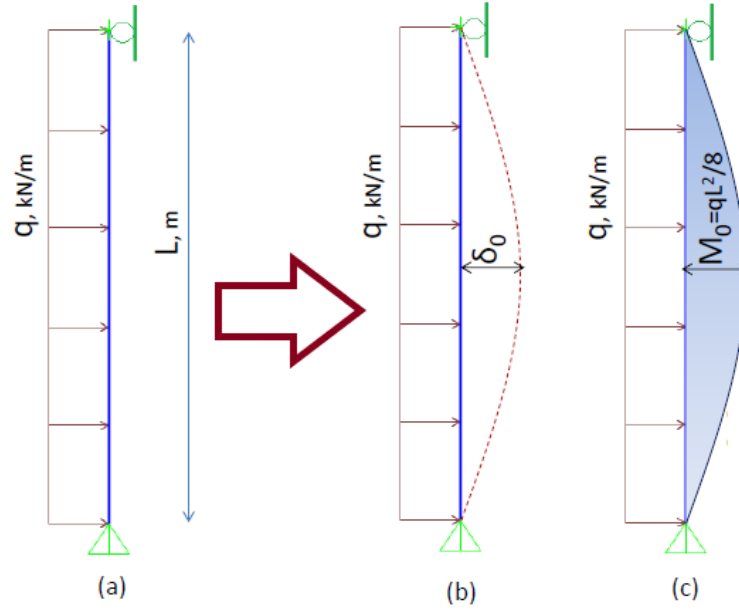
1.3. İkinci Mertebe Etkileri

İkinci mertebe etkilerini içeren eleman bazındaki $P-\delta$ ve sistem genelindeki $P-\Delta$ etkileri aşağıdaki bölümlerde açıklanmıştır. Burada eleman bazındaki ve sistem genelindeki şekil değiştirmeleri dikkate alan ikinci mertebe analizinin yük etkilerini nasıl dikkate aldığı ifade edilecektir.

1.3.1. $P-\delta$ Etkisi

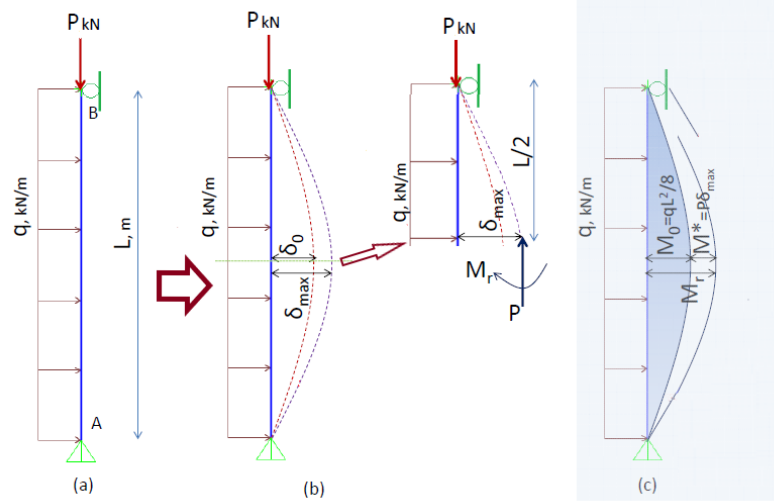
Eleman bazındaki şekil değiştirmelerin, eksenel kuvvet etkisi ile oluşacak moment değerine ilave moment katkısı oluşturmasına $P-\delta$ etkisi denir. Basit bir örneklemeyle, $P-\delta$ etkisi aşağıdaki şekilde açıklanabilir.

Düşey bir çubuk elemanı ele alalım. Alt düğüm noktası sabit, üst düğüm noktası düşeyde kayıcı mesnet olsun. Bu elemana yatay yönde ve uzunluğu boyunca yayılı q yükü etkidiğini varsayalım. Bu q yükü altında düşey çubuk elemanın deformasyon ve moment grafiği mühendislik bakış açısıyla Şekil 1.1'deki gibidir.



Şekil 1.1. Yayılı yatay yüke sahip düşey konsol moment gösterimi(Akbaş, 2013)

Eğer çubuk elemana üst düğüm noktasından aksenal bir kuvvet daha uygulanırsa çubuk elemanda nasıl bir etki oluşturacağı Şekil 1.2 üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 1.2. Yayılı yatay yüke sahip düşey konsolun ikinci mertbe moment gösterimi(Akbaş, 2013)

P aksenal basınç yükü ve q yayılı yüklerinin beraber etki etmesi durumunda, çubuk elemanda oluşacak şekil değişimi; q yükünden oluşan şekil değişimi ile aksenal P

yükünden oluşan şekil değiştirmenin birlikteliği neticesinde Şekil 1.2.b'deki δ_{max} şekil değiştirmesi şeklinde ortaya çıkmaktadır. En büyük moment değeri çubuk elemanın orta noktasında oluşmaktadır. Çubuk elemanı orta noktasından kesilip kesit tesirleri incelendiğinde; q yükü ve çubuk orta noktasına taşınan P yükünün etkisiyle M^* ilave moment tesiri olduğu görülür.

Bu denklemler yazılıp gerekli düzenlemeler yapılırsa aşağıdaki ifadeler elde edilmiş olur.

$$M_r = \frac{ql^2}{8} + P\delta_{max} \quad (1.2)$$

$$M_r = M_0 + M^* \quad (1.3)$$

Buradaki M_r toplam moment değerini, ikinci merteye etkilerini içeren bir analiz programıyla elde etmek mümkündür. Ancak el hesabı ile hesaplanabilmesi için aşağıdaki indirgemelerin yapılması gerekmektedir.

Denklem 1.3 deki ifade M_0 çarpan parantezine alınarak yazılırsa;

$$M_r = \left(1 + \frac{M^*}{M_0}\right) M_0 \quad (1.4)$$

Denklem 1.4 elde edilmiş olur. M_0 momentinin önündeki çarpan B_1 terimi ile ifade edilmektedir;

$$B_1 = \left(1 + \frac{M^*}{M_0}\right) \quad (1.5)$$

M_r : P ve q etkisinde oluşan eğilme momenti dayanımı

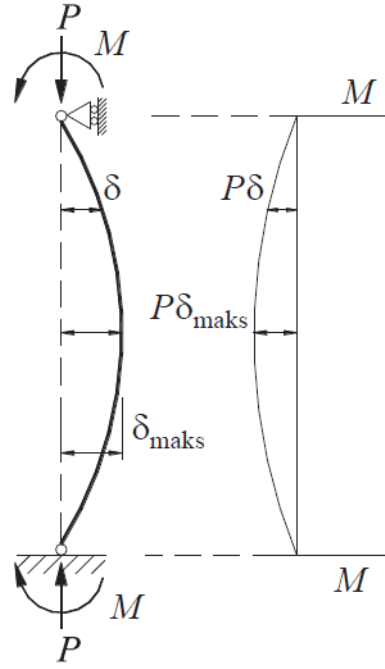
M_0 : Sadece yatay yüklerden oluşan eğilme momenti

M^* : P- δ etkileşiminden dolayı oluşan ilave eğilme momenti

B_1 : P- δ etkilerini dikkate alan katsayı

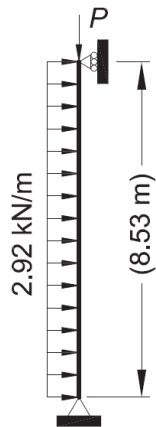
B_1 Katsayısının hesabı Bölüm 2.2.2'de açıklanmıştır.

Düşey çubuk elemanda, mevcut momentlerin olması durumunda P- δ etkisinden oluşan moment gösterimi Şekil 1.3 ile gösterilmiştir.



Şekil 1.3. P- δ Etkisinin moment gösterimi(Tasarım, Ç.Y, 2017)

Eleman bazındaki şekil değiştirmelerin oluşturacağı moment değeri etkilerinin bir örneği Şekil 1.4 ile gösterilmiştir. Şekilde ünüform yayılı yük etkisinde olan elemana, değişken eksenel kuvvet uygulanarak elde edilen ikinci mertbe moment değerleri sunulmuştur. Anlaşılabacağı üzere sabit yayılı yük etkisindeki elemanda eksenel kuvvet değerinin artmasıyla oluşan moment değerleri de eksenel kuvvetle birlikte artmıştır.



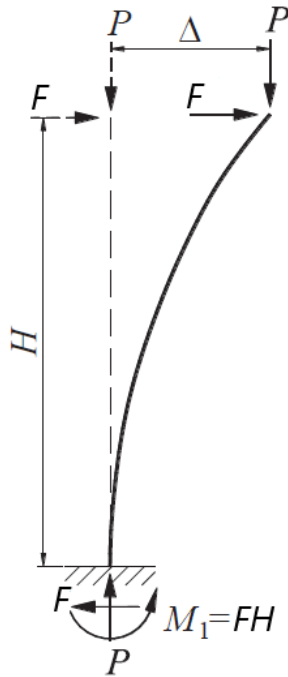
P (kN)	0	667	1334	2001
M_{orta} (kN-m)	26.6	30.5	35.7	43.0
Δ_{orta} (mm)	5.13	5.86	6.84	8.21

Şekil 1.4. Eksenel yük ile eleman bazındaki şekil değiştirme(AISC 360-16-C-C2.2)

1.3.2. P-Δ Etkisi

Yapı sisteminin yatay yükler etkisi altında yapacağı yatay ötelemeler neticesinde sistem genelinde oluşabilecek şekil değiştirmeler, elemanlarda ilave moment etkileri oluşturur. Bu durum P-Δ etkisi olarak tanımlanır. Basit bir örneklemeyle P-Δ etkisi açıklanacak olursa; Şekil 1.5'te görüldüğü üzere, ankastre olarak mesnetlenmiş düşey konsol çubuk elemanı ele alalım. Bu elemanın üst ucuna yatay yönde tekil F kuvveti ve P eksenel basınç kuvveti etki ettiğini kabul edersek, elemanın birinci mertebeye eğilme momenti Denklem 1.6'da görüldüğü gibi hesaplanır.

$$(M_1= FH) \quad (1.6)$$



Şekil 1.5. Tekil yatay ve düşey yüke sahip düşey konsolun gösterimi(Tasarım, Ç. Y, 2017)

F kuvvetinin etkisi ile meydana gelen yatay öteleme sonucu oluşan ikinci mertebeye moment etkisi ile M_2 eğilme momenti oluşur ve Denklem 1.7 de gösterildiği gibi hesaplanır.

$$M_2= FH+P\Delta \quad (1.7)$$

Buradaki M_2 toplam moment değerini, ikinci mertebeye moment etkilerini dikkate alan bir analiz programıyla elde etmek mümkündür. El hesabı yapılabilmesi için aşağıdaki indirgemelerin yapılması gerekmektedir.

Denklem 1.7 deki ifade FH çarpan parantezine alınarak yazılırsa;

$$M_2 = \left(1 + \frac{P\Delta}{FH}\right) FH \quad (1.8)$$

Denklem 1.8 elde edilmiş olur. Bu ifadedeki FH momentinin önündeki çarpan, B_2 olarak tanımlanır. Birinci mertbe moment değerini ifade eden FH, M_1 olarak yazıldığında, M_2 Denklem 1.9 şeklini almış olur.

$$M_2 = B_2 M_1 \quad (1.9)$$

Burada;

F: Yatay yük

P: Düşey yük

H: Düşey konsol uzunluğu

Δ : Konsol eleman şekil değiştirmesi

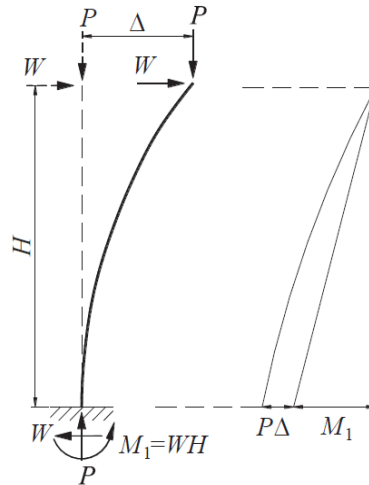
M_1 : Birinci mertbe moment

M_2 : İkinci mertbe moment

B_2 : İkinci mertbe momentlerini dikkate alan katsayı

olarak tanımlanmaktadır. B_2 Katsayısının hesabı Bölüm 2.2.3'te açıklanmıştır.

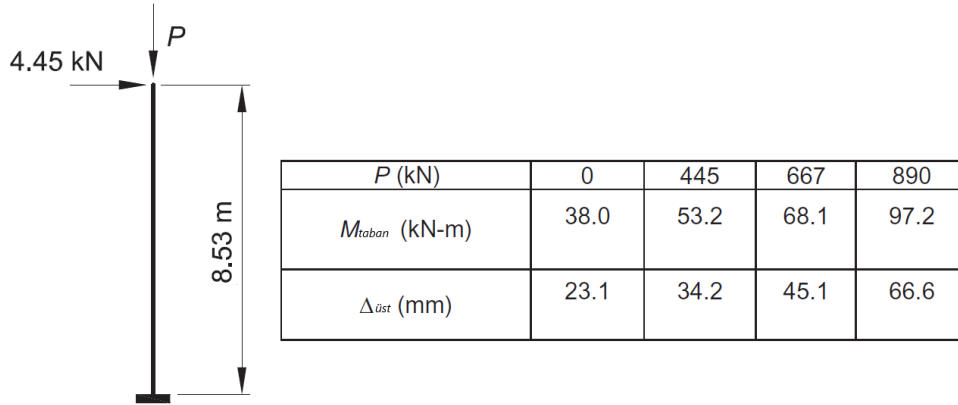
Konsol düşey çubuk elemanda, birinci ve ikinci mertbe moment değişim grafiği Şekil 1.6 da gösterilmiştir.



Şekil 1.6. P- Δ Etkisinin moment gösterimi(Tasarım, Ç. Y, 2017)

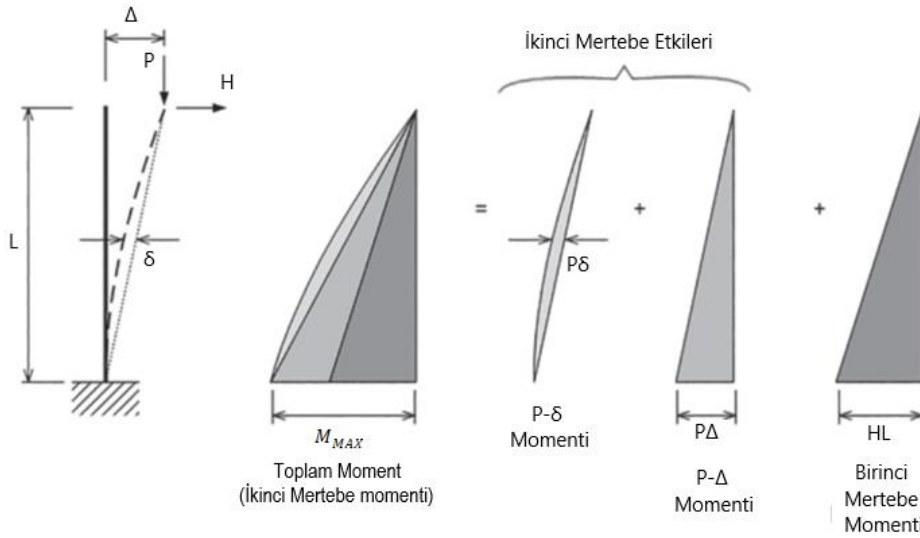
Sistem bazındaki şekil değiştirmelerin oluşturacağı moment etkilerinin hesabına yönelik sayısal bir örnek Şekil 1.7 de gösterilmiştir. Şekilde sabit yatay yük etkisinde

olan elemana, değişken aksenal kuvvet uygulanarak elde edilen ikinci mertebe moment değerleri sunulmuştur.



Şekil 1.7. Aksenal yük ile sistem genelindeki şekil değiştirme(AISC 360-16-C-C2.2)

Eleman boyunca $P-\delta$ ve $P-\Delta$ etkileri dağılım grafikleri Şekil 1.8’de sunulmuştur.



Şekil 1.8. $P-\delta$ ve $P-\Delta$ etkilerinin aynı diyagramda gösterimi(AISC Guide,2013)

1.4. Literatür Taraması

White ve arkadaşları 11 bölmeli tek katlı bir çerçeve sistemini etkili uzunluk, genel analiz ve gelişmiş analiz tasarım yöntemleri ile incelemiştir. Çerçeve sistemlerinin ilkel kusurlara sahip olduğu kabulü ile incelemeleri gerçekleştirmişlerdir. İlkel kusurların büyük düşey yükler altında önemli ikinci mertebe etkileri ürettiği gözlemlenmiştir. Her üç stabilite tasarım yaklaşımında

eksenel kuvvet değerlerinin birbirlerine yakın sonuçlar verdiğini ancak moment değerlerinde önemli ölçüde farklılıklar ortaya çıktığını belirtmişlerdir. Etkili uzunluk yöntemi moment değerleri, genel analiz yöntemi moment değerlerine göre daha düşük sonuçlar vermiştir. Tasarım yükleri ile genel analiz yöntemi uygulandığında, çerçeve sistemlerinin rijitliği azaltılmış sistem olarak modellenmesi ile iç kuvvet değerleri gerçek davranışa yakın sonuçlar verdiği bu nedenle genel analiz yönteminin stabilite tasarımı için en uygun yöntem olduğu belirtilmiştir (White ve arkadaşları, 2005)

Günaydın çalışmasında, çerçeve sistemlerinin sabit eksenel yük etkisi altında bulunan kolonlarında $P-\Delta$ ve $P-\delta$ analizinin(ikinci merteye) hesabı için yaklaşık bir yöntem geliştirmiştir. İkinci merteye etkileri altında tekil kolonların etkili kolon boyları katsayıları elde etmiş, kat rijitliği ve kat burkulması halleri için düzenlemeler yapmıştır. Önerilen tasarım yöntemi çerçeve türü yapılarda uygulanabilir (Günaydın, 2015).

Bektaş, genel analiz metodu ve efektif uzunluk(burkulma boyu) metotlarını karşılaştırmak ve esnek bağlantıların stabiliteye etkisini incelemek amacıyla yarı rijit tek katlı çelik çerçeveler üzerinde çalışmalar yapmıştır. Çalışmasında dört farklı yarı rijit bağlantılı çerçeveler oluşturmuş ve analiz yöntemleri ile sonuçlarını karşılaştırmıştır. Çalışma sonucunda, bağlantı rijitliğinin çerçeve stabilitesi üzerindeki etkisinden bahsetmiş ve genel analiz yönteminin gerçek davranışa daha yakın sonuçlar verdiğini vurgulamıştır (Bektaş, 2012).

Durmaz, standartlarda bulunan stabilite tasarım yöntemlerini incelemiştir. Standartların ve yöntemlerin arasında değerlendirme yapabilmek için beş katlı çelik bir binanın stabilite analizini ve tasarımını yapmıştır. Çalışma sonucunda stabilite tasarım sonuçlarına etki eden faktörün, şekil değiştirmelerden oluştuğunu belirtmiştir. TS-648'in diğer standartlardan çok daha fazla güvenli bölgede kaldığını vurgulamış ve TS-648'in uzun yıllardır kullanıldığını ve yeniliklere gidilmesini önermiştir (Durmaz, 2015).

Alıcıoğlu, düzlem çelik çerçevelerde oluşan ikinci merteye etkileri, doğrusal olmayan statik analiz ile incelemiştir. Çerçeve sistemlerinde, ikinci merteye etkiler dikkate alınarak ve alınmayarak analizler yapılmış, sistemin performans eğrileri oluşturulmuştur. Zemin kat ile normal kat yüksekliği arasındaki oranın iki ve daha

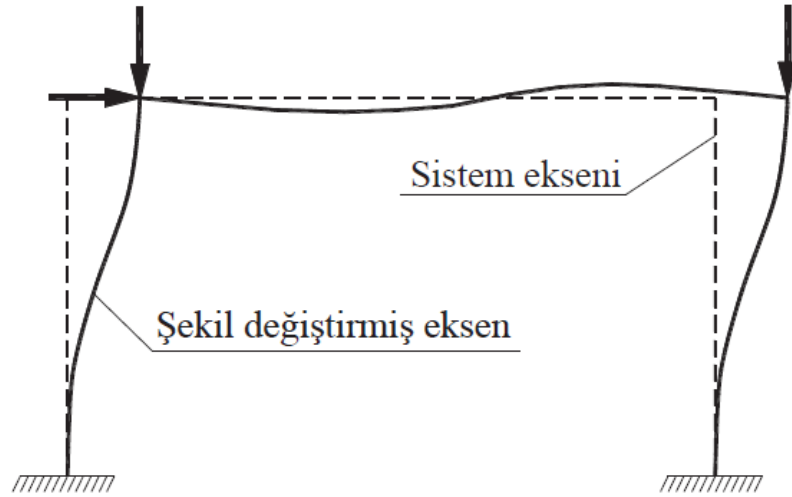
büyük olması durumu için yapısal tasarımda ikinci merteye etkilerin ivedi şekilde dikkate alınması önermiştir (Alıcıoğlu, 2020).

2. İKİNCİ MERTEBE ANALİZİ

Bu bölümde stabilite tasarımında kullanılan, geometri değişimi bakımından doğrusal olmayan, ikinci mertebe analiz ve ikinci mertebe analiz yöntemine alternatif olan, birinci mertebe analiz gibi hesaplanan, yaklaşık ikinci mertebe analizi sunulmuştur. Yaklaşık ikinci mertebe analizi ile stabilite tasarımında uygulanan kabul ve ihmallerden bahsedilmiştir.

2.1. Geometri Değişimi Bakımından Doğrusal Olmayan(Nonlinear) Analiz

P- δ ve P- Δ etkileri altında anlatılan sırasıyla eleman bazındaki ve sistem genelindeki şekil değiştirmeleri çeşitli yöntemlerle dikkate alan ikinci mertebe analizdir. Şekil 2.1'de sistem ve şekil değiştirmiş eksenlerin gösterimi sunulmuştur. Modern analiz programlarının çoğu, doğrusal olmayan analiz için önemli olan noktaları doğru modelleme yeteneğine sahiptir. İkinci mertebe etkilerini doğru bir şekilde ele alan bu programlar tipik olarak ya geometrik rijitlik yaklaşımı (McGuire ve diğerleri, 2000; Ziemian, 2010) ya da kararlılık fonksiyonları kullanımı (Chen ve Lui, 1987) yoluyla ana diferansiyel denklemleri çözerler.



Şekil 2.1. Sistem eksen ve şekil değiştirmiş eksen(Tasarım, Ç. Y.2017)

Bu programlarda analize dahil edilen ve dahil edilmeyen bileşenler veya etkileri, program kullanıcıları tarafından bilinmeli ve kontrol edilmelidir. Bazı analiz

programları P- δ etkilerinin çok düşük olduğunu varsayarak bu etkileri ihmal etmişlerdir. Bu ihmalin uygun olup-olmadığı, yapı taşıyıcı sisteminin gözlemsel olarak analiz edilmesi ile tespit edilebilir. Örneğin büyük eksenel yüke maruz çaprazlı çerçeve sistemi için yapılan P- δ etkisinin ihmali yanlıştır.

Süperpozisyon prensibinde; YDKT veya GKT yük birleşimlerini oluşturan sabit, hareketli, kar, deprem vb. yükler sisteme ayrı ayrı olarak yüklenmektedir. Yükleme analiz çıktıları kombinasyonlara göre birleştirilerek sonuçlar elde edilmektedir. Doğrusal olmayan analiz; sistemin tüm yükleme durumları altında ve sistemin tüm şekil değiştirmeleri dikkate alınarak yapılan analizdir. Bu nedenle doğrusal olmayan analizde süperpozisyon prensibi geçerli değildir.

2.2. Yaklaşık İkinci Mertebe Analizi

Bu yöntem stabilite tasarımı yöntemlerinden biri değildir. Yöntem geometrik doğrusal olmayan analiz ile eleman iç kuvvetlerini hesaplamak yerine, ikinci mertebe etkilerini yaklaşık olarak hesaplamak için geliştirilen alternatif bir yöntemdir. Birinci mertebe analizi ile elde edilen iç kuvvetleri belirli katsayılarla büyütürük ikinci mertebe etkilerini hesaplamayı amaçlar.

İkinci mertebe etkileri içeren, iç kuvvetlerin yaklaşık olarak belirlendiği formülasyonlar aşağıda verilmiştir.

$$M_r = B_1 M_{nt} + B_2 M_{lt} \quad (2.1)$$

$$P_r = P_{nt} + B_2 P_{lt} \quad (2.2)$$

M_r : YDKT veya GKT yük birleşimleri altında hesaplanan ikinci mertebe etkileri içeren gerekli eğilme momenti dayanımı.

P_r : YDKT veya GKT yük birleşimleri altında hesaplanan ikinci mertebe etkileri içeren gerekli eksenel kuvvet dayanımı.

B_1 : P- δ etkilerini göz önüne alan katsayı

B_2 : P- Δ etkilerini göz önüne alan katsayı

M_{nt} : Yatay ötelemesi önlenmiş sistemde, YDKT veya GKT yük birleşimleri altında hesaplanan birinci mertebe eğilme momenti.

P_{nt} : Yatay ötelemesi önlenmiş sistemde, YDKT veya GKT yük birleşimleri altında hesaplanan birinci mertbe eksenel kuvvet.

M_{lt} : Yapı sisteminin sadece yanal ötelenmesi sonucu, YDKT veya GKT yük birleşimleri altında ilgili elemanda oluşan birinci mertbe eğilme momenti.

P_{lt} : Yapı sisteminin sadece yanal ötelenmesi sonucu, YDKT veya GKT yük birleşimleri altında ilgili elemanda oluşan birinci mertbe eksenel kuvvet.

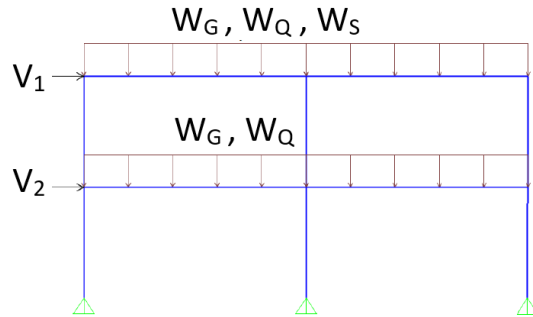
Yaklaşık ikinci mertbe analizinde, çerçeve sistemin yatay ötelenmesi önlenmiş ve yatay ötelenmesi önlenmemiş durumdaki davranışı ayrı ayrı incelenerek, çerçeve sistemde oluşan toplam moment ve kuvvet tesirleri hesaplanır.

Sistemi yatay ötelenmesi önlenmiş ve yatay ötelenmesi önlenmemiş olmak üzere iki ayrı durumda inceleyebilmek için iki yaklaşım bulunmaktadır. Bu yaklaşımlar;

- Düşey yüklerin yanal deformasyon oluşturmadığı
- Düşey yüklerin yanal deformasyon oluşturduğu

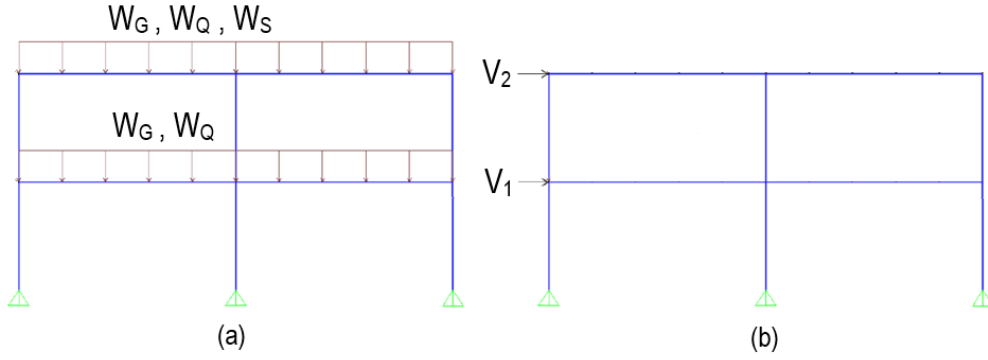
kabülü üzerinden çözüm sunmaktadır.

Düşey yüklerin yanal deformasyon oluşturmadığı yaklaşım:



Şekil 2.2. Çerçeve durumu(Akbaş, 2013)

Şekil 2.2'de verilen çerçevede yükleme durumu düşey yükler ve yatay yüklerden oluşmaktadır. Yaklaşık ikinci mertbe yöntemi düşey ve yatay yüklerin verildiği çerçeve sistemini her iki yük durumu için ayrı ayrı, hesap yapmayı ön görmektedir.



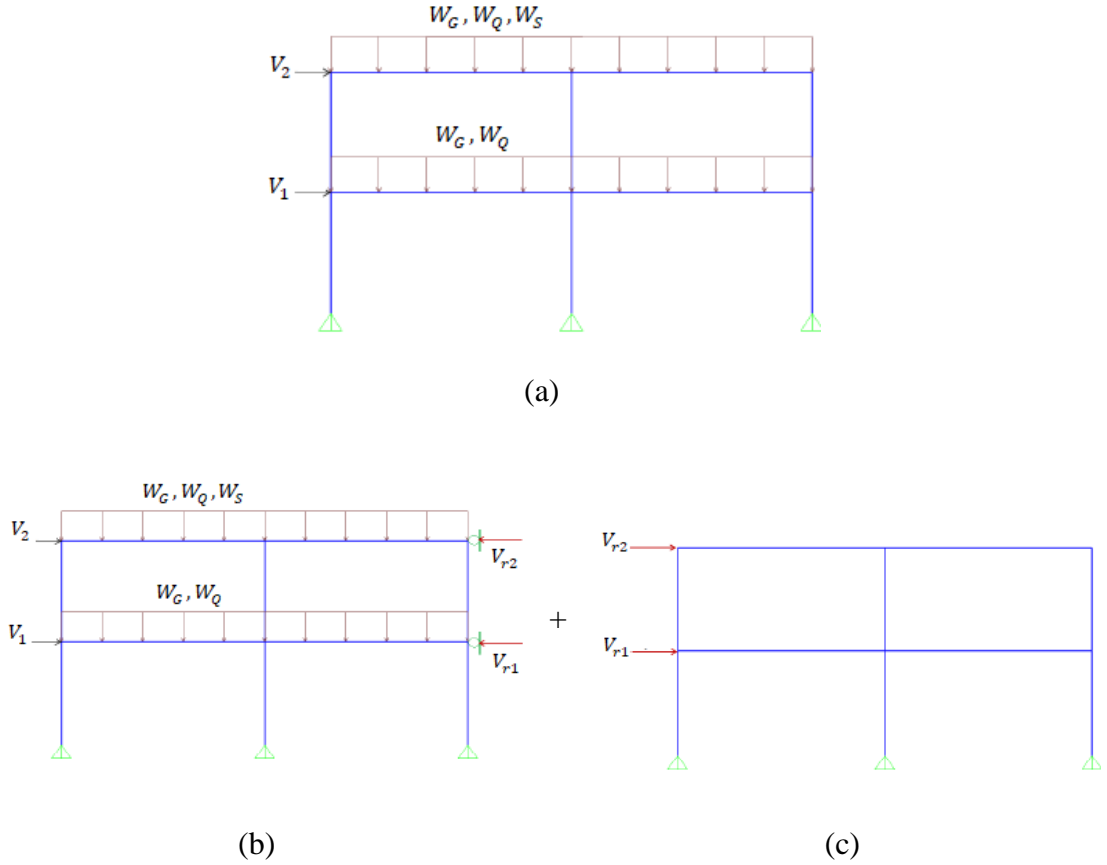
Şekil 2.3. Çerçeve ayırımı; a)Sadece düşey yükler etkisindeki çerçeve b)Sadece yanal yükler etkisindeki çerçeve(Akbaş, 2013)

Şekil 2.3(a)' da görüldüğü gibi çerçeve sistem yatay yüklerin olmadığı sadece düşey yüklerin bulunduğu bir sistem ve Şekil 2.3(b) de görüldüğü gibi çerçeve sistem düşey yüklerin olmadığı sadece yatay yüklerin bulunduğu bir sistem şeklinde ayrıştırılarak incelenmektedir.

Sadece düşey yüklerin bulunduğu çerçeve sistemde elemanlarda oluşan aksenal kuvvet ve eğilme momenti değerleri sırasıyla P_{nt} , M_{nt} olarak ifade edilmiştir. Sadece yatay yüklerin bulunduğu çerçeve sisteminde elemanlarda oluşan aksenal ve eğilme momenti değerleri sırasıyla P_{lt} , M_{lt} olarak ifade edilmiştir. Yaklaşık ikinci mertebe yöntemi; her iki yükleme durumunda çerçevede oluşacak P ve M etkilerini, B_1 ve B_2 katsayılarını kullanarak, doğrusal olmayan analiz ile elde edilecek değerlere yakınsamayı hedeflemiştir.

Düşey yüklerin yanal deformasyon oluşturduğu yaklaşım:

Düşey yüklerden yanal deformasyonun oluşması yaklaşımı Şekil 2.4'te gösterilmiştir. Bu yaklaşımda, çerçeve sisteminin kat ötelemelerini önlemek için kat hizasında fiktif mesnetler oluşturularak, bu mesnetlerde oluşacak yatay reaksiyon kuvvetleri belirlenmekte ve bu fiktif yatay mesnet reaksiyonları çerçevenin yüksüz haline yatay yük olarak yüklenerek çerçeve sistemde oluşacak P ve M değerleri hesaplanmaktadır.



Şekil 2.4. Çerçeve ayrımı gösterimi; a) tüm yükler etkisindeki çerçeve b)Tüm yükler altında mesnetler ile ötelenmesi engellenmiş çerçeve c)Mesnet reaksiyon yükleri etkisindeki çerçeve

Bir Çerçeve sisteminin Yaklaşık ikinci mertebeye analizi kullanılarak analiz edilmesi için kullanılan bu kabuller neticesinde yapılan hesaplamalar ile elde edilen P ve M değerleri Denklem 2.1 ve 2.2.'nin kullanılması ile çerçeve sisteminde oluşacak toplam P ve M değerlerinin hesaplanmış olur.

Denklemlerdeki B_1 katsayısı sadece düşey yüklerden oluşan moment değerinin katsayısıdır. Eksenel yük içeren yapı elemanlarında kullanılabilir. Genel anlamda bir yapı sisteminde kolonlar basınç elemanı olmakla beraber, yatay yükleri taşınması için sisteme dahil olan çapraz elemanları da basınç kuvveti taşımaktadır. Bu nedenle yanal ötelenmesi çaprazlarla önlenmiş çerçevelerde çapraz elemanı için de B_1 katsayısı dikkate alınabilir.

Taşıyıcı sistemde yatay yükleri karşılayan yapı elemanlarında (kolon, kiriş, diyagonal çapraz veya perde elemanı) ikinci mertebeye etkileri dikkate almak için B_2 katsayısı kullanılır. Yatay yükleri karşılamayan elemanlarda B_2 çarpanı kullanılmaz.

Çok katlı yapı sistemlerinde B_2 katsayısı katlar arasında önemli bir değişim göstermez ise tüm katlar için maksimum B_2 değerinin dikkate alınması uygun olacaktır. Böylece sistem genelinde x ve y doğrultularında meydana gelebilecek yatay ötelemelere bağlı olarak dikkate alınan B_2 katsayısı için her doğrultuda bir tane sabit değer kullanılmış olacaktır.

Kolonlarda B_1 ve B_2 değeri kullanılarak büyütülen moment değerleri, kolona düğüm noktasında moment aktaran birleşim ile bağlanan kiriş veya diğer yapı elemanlarındaki moment ile dengelenmesi gerekmektedir. B_2 katsayısı tüm yapı elemanları için kullanılabilirliği için problem oluşturmaz.

Her ne kadar B_1 katsayısı sadece basınç elemanlarına uygulanıyor olsa da, basınç elemanına bağlı elemanlardaki moment değerleri basınç elemanı için hesaplanan B_1 katsayısı ile büyütülerek o elemandaki ikinci mertbe moment değerleri elde edilir. Bu hesap yöntemine alternatif bir yöntem olarak; belirli bir düğüm noktasında B_1 ve B_2 katsayıları kullanılarak elde edilen moment değeri ile birinci merttebe moment değeri arasındaki fark, düğüm noktalarındaki elemanların rijitliğine bağlı olarak rijitlikleri oranında dağıtılabilir.

2.2.1. Uygulama sınırları

ÇYTHYE-2016 Yönetmeliği Bölüm 6.5.1 de yaklaşık ikinci mertbe yönteminin düşey yüklerin düşey çerçeveler, kolonlar ve perdeler tarafından taşındığı yapı sistemleri için kullanılabilir olduğunu belirtilmiştir. AISC 360-16'da ise yukarıdaki şarta ek olarak yaklaşık yöntem ile elde edilen eleman bazındaki şekil değiştirmelerden oluşan ikinci mertbe etki katsayısı B_1 in 1.2 den büyük olması halinde yaklaşık yöntemin kullanılmasının uygun olmadığı, ikici mertbe etkilerin (P- δ) doğrudan hesaplanabileceği doğrusal olmayan analiz ile belirlenmesinin daha gerçekçi olacağı ifade edilmiştir.

2.2.2. P- δ Etkisi için B_1 katsayısı

Basınç ve eğilme etkisindeki elemanların her bir doğrultusunda(x ve y) ortaya çıkacak P- δ etkisi için dikkate alınacak B_1 katsayısı aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$B_1 = \frac{C_m}{1 - \frac{\alpha P_r}{P_{el}}} \geq 1 \quad (2.3)$$

Denklem 2.3 içerisindeki ifadeler aşağıda açıklanmıştır.

α : YDKT ve GKT yöntemleri için yükleme durumlarına uygulanacak katsayıdır. (YDKT için $\alpha=1$, GKT için $\alpha=1.6$)

P_r : İlgili elemandaki aksenal kuvvet. Çerçeve sistemlerde $P_r=P_{nt}+P_{lt}$ olarak alınabilir.

C_m : Eşdeğer sabit moment değiştirme katsayısı

P_{el} : Eleman uç noktaları yanal yer değiştirme yapmadığı varsayımı altında, eğilme düzlemindeki burkulma yüküdür.

Eğilme düzlemindeki burkulma yükü, P_{el} Denklem 2.4 ile hesaplanır.

$$P_{el} = \frac{\pi^2 EI^*}{(K_1 L)^2} \quad (2.4)$$

E: Yapısal çelik elastisite modülü

I: Eleman enkesinin eğilme düzlemindeki atalet momenti

L: Eleman boyu

EI^* : Genel analiz yöntemi ile tasarımda, Bölüm 3.1.3.2.'ye göre hesaplanan azaltılmış rijitlik, Burkulma boyu ile tasarımda ise $EI^*=EI$ olarak alınacaktır.

K_1 : Elemanın uç noktalarının yanal yer değiştirme yapmadığı varsayımı altında, eğilme düzlemindeki burkulma boyu katsayısı. Daha küçük bir değer aldığı geçerli bir yaklaşımla kanıtlanmadığı sürece $K_1=1$ olarak alınacaktır.

2.2.2.1. C_m katsayısı

Eşdeğer sabit moment yayılışına dönüştürme katsayısı, basınç elemanlarında eleman uç noktaları arasında yatay yük olmayan ve eleman uç düğüm noktaları arasında görelî ötelenme farkının bulunması veya bulunmaması durumları ile ikinci mertebeli etkilerinin yaklaşık olarak hesaplarında değişkenlik gösterir. Bu ilişki yanal ötelenmesi önlenmiş ve önlenmemiş olarak ifade edilebilir.

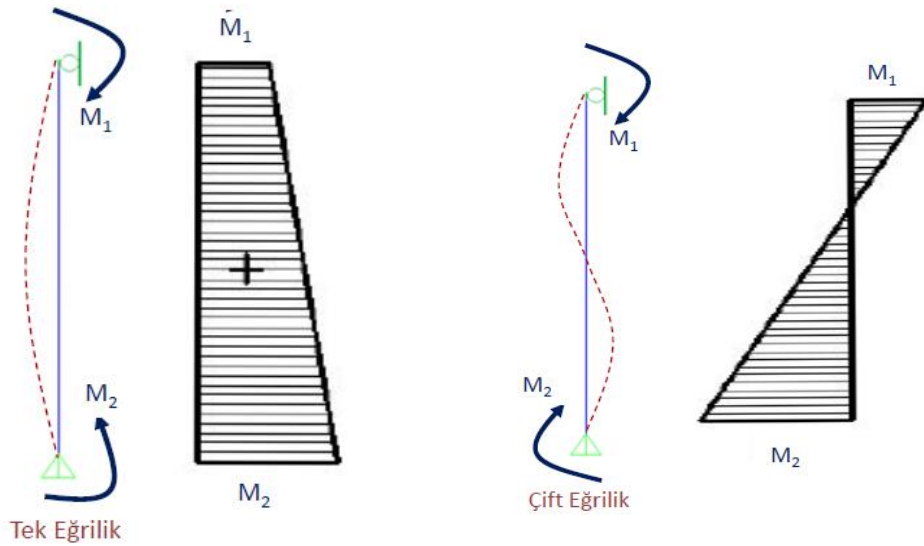
- a) Yanal ötelenmesi önlenmiş çerçevelerin, eğilme düzleminde mesnetler arasında yanal yüklerin etki etmediği elemanlarda;

$$C_m=0.6-0.4(M_1/M_2) \quad (2.5)$$

şeklinde hesaplanır.

M_1 ve M_2 göz önüne alınan eğilme düzleminde, elemanın birinci dereceden analiz ile elde edilen eleman uçlarındaki eğilme momentinden sırasıyla küçüğü ve büyüğüdür. Bu moment değerleri dikkate alınırken pozitif veya negatifliği ifade eden işaretleri dikkate alınmaz. Sadece birbirlerine oranlarının, çift eğrilikten oluşan moment değerleri pozitif, tek eğrilikten oluşan moment değeri negatif olarak alınacaktır. Tek eğrilikten ve çift eğrilikten oluşan moment oranlarının pozitif veya negatif alınmasının nedeni tek eğrilikten oluşan deformasyon değerinin çift eğrilikten oluşabilecek deformasyon değerinden çok daha fazla olabileceğinden kaynaklanmaktadır. Tablo 2.1’de bu durumla ilgili basit bir örnek ifade edilmiştir.

Tablo 2.1. Tek eğrilik ve çift eğrilik gösterimi



$$M_1=50\text{kNm}; M_2=80\text{kNm}$$

$$C_m=0.6-0.4(-M_1/M_2)$$

$$C_m=0.6-0.4(-50/80)$$

$$C_m=0.825$$

$$M_1=50\text{kNm}; M_2=80\text{kNm}$$

$$C_m=0.6-0.4(M_1/M_2)$$

$$C_m=0.6-0.4(50/80)$$

$$C_m=0.35$$

- b) Yanal ötelemesi önlenmemiş çerçevelerde, C_m değerine analitik bir yöntem ile karar verilebileceği gibi, güvenli tarafta kalıp $C_m=1$ alınması yönetmelikler tarafından önerilmektedir.

2.2.3. P-Δ etkisi için B₂ katsayısı

Sistemin her katında, her iki yanal yer değiştirme doğrultusunda uygulanacak B₂ katsayısı Denklem 2.6 ile hesaplanacaktır.

$$B_2 = \frac{1}{1 - \frac{\alpha P_{kat}}{P_{e,kat}}} \geq 1 \quad (2.6)$$

Denklem 2.6'daki ifadeler aşağıda açıklanmıştır.

α :1(YFKT) ; α :1.6 (GKT)

P_{kat} :YDKT veya GKT yük birleşimleri için, söz konusu katın tüm düşey taşıyıcı elemanlarına (yatay yük taşıyıcı sistemin dışında olan elemanlar da dahil) etkiyen toplam düşey yük.

$P_{e,kat}$: Göz önüne alınan yanal yerdeğiştirme doğrultusunda, söz konusu katın tüm düşey taşıyıcı elemanlarına(yatay yük taşıyıcı sistemin dışında olan elemanlar da dahil) etkiyen toplam düşey yük. Burkulma analizi veya Denklem 2.7 ile hesaplanacaktır.

$$P_{e,kat} = R_M \frac{HL}{\Delta_H} \quad (2.7)$$

Buradaki terimler aşağıda açıklanmıştır.

$$R_M = 1 - 0.15(P_{mf}/P_{kat}) \quad (2.8)$$

R_M : P-δ etkilerinin P-Δ üzerindeki etkisini göz önüne alan katsayı(Moment aktaran çerçevelerde bu katsayı en düşük 0.85 alınabilir).

L: Kat yüksekliği

P_{mf} : Göz önüne alınan doğrultuda moment aktaran çerçeve bulunması halinde, bu çerçevelerin kat kolonlarına etkiyen toplam düşey yük(çaprazlı veya perdeli çerçevelerde sıfır olarak alınacaktır).

P_{kat} : YDKT veya GKT yük birleşimleri için, söz konusu katın tüm düşey taşıyıcı elemanlarına (yatay yük taşıyıcı sistemin dışında olan elemanlar da dahil) etkiyen toplam düşey yük.

H:Göz önüne alınan doğrultuda, Δ_H görel kat ötelemesini hesaplamak için kullanılan yatay yüklerden oluşan kat kesme kuvveti.

Δ_H terimi ÇYTHYE-2016 da göz önüne alınan doğrultuda, seçilen yatay yükler altında, sistem rijitliği kullanılarak hesaplanan birinci merteye göreli kat ötelemesi olarak tanımlanmakta ve Δ_H hesabında sistem rijitliğinin doğrudan dikkate alınacağını belirletmektedir. AISC-360-16'da ise GA yöntemi kullanıldığı zaman Δ_H hesabında rijitliğin azaltılarak kullanılması gerektiğini söylemektedir. Yapılan tez çalışması kapsamında AISC 360-16'da ifade edilen B_2 hesabı kullanılacaktır.

2.3. Tasarım İçin Yöntem, Kabul ve İhmaller

2.3.1. Tasarım yöntemi

ÇYTHYE-2016 Bölüm 6 stabilite tasarımı ile açıklanan ikinci merteye teorisi, malzeme bakımından doğrusal elastik olarak ele alınmıştır.

2.3.2. YDKT ve GKT yöntemleri

İkinci merteye etkileri geometri değişimi bakımından doğrusal olmayan analiz ile elde edileceğinden sistemin dayanım sınır durumu için artırılmış yüklerin kullanılması gerekmektedir. Bu nedenle stabilite tasarımı için artırılmış yüklerin kullanıldığı YDKT yönteminin kullanılması uygundur. GKT yönteminde güvenlik katsayıları ile tasarım yapıldığından, yöntemin aynen kullanılması önerilmemektedir. GKT yöntemi kullanılması durumu için ÇYTHYE de önerilen yöntem GKT yük kombinasyonları yüklerinin 1.6 katsayısı ile artırılması önerilmektedir.

AISC-360-16'da GKT yöntemi kullanımı için farklı bir yaklaşım daha önerilmiştir. Bu yaklaşımda yükleri arttırmak yerine tüm rijitlikleri 1.6 katsayısı ile azaltmakla aynı sonuca varılacağı ifade edilmiştir.

2.3.3. Geometri değişimi bakımından ikinci merteye analizi için ihmal

İkinci merteye analizi, elemanlardaki (P- δ) ve sistem genelindeki (P- Δ) ikinci merteye etkileri kapsamaktadır. Ancak,

1. Düşey yüklerin düşey kolonlar ve perdeler tarafından taşınması
2. Göz önüne alınan burkulma doğrultusunda moment aktaran çerçeve kolonlarının taşıdığı düşey yüklerin, toplam düşey yüklere oranının 1/3'ü aşmaması
3. YDKT yük birleşimlerinden veya GKT yük birleşimlerinin 1.6 katına eşit bir yüklemeye dolaylı olarak oluşan ve Genel analiz yöntemi veya etkin boy yöntemi kullanılarak yapılan stabilite tasarımında $B_2 \leq 1.7$ olması

koşullarının birlikte sağlanması durumunda P- δ etkileri terk edilebilir. Ancak eksenel basınç ve eğilme etkisindeki tüm tekil elemanların değerlendirilmesinde P- δ etkileri hesaba katılacaktır.

3. YÖNTEMLER

Stabilite tasarımı yapılan yapı sistemlerinin eleman bazındaki ve sistem genelindeki hesaplarında, birleşim detaylarında ve stabilite kontrolleri için, ÇYTHYE-2016 Bölüm 7 -Bölüm 14 dahil olmak üzere aralıktaki tüm bölümlerde yer alan kurallar dikkate alınmaktadır. ÇYTHYE-2016 yönetmeliği Bölüm 6.3 ve 6.4'te genel analiz ve burkulma boyu(etkin uzunluk) yöntemleri açıklanmaktadır.

3.1. Genel Analiz Yöntemi

Genel analiz(GA) yöntemi 1999 yılından itibaren AISC-SSRC komitesi tarafından çalışılmaya başlanmış ve AISC-360-05 ile yönetmelik içerisinde ek bölümünde yerini almış bir yöntemdir. Amerikan yönetmeliği uygulama kılavuzunda GA yönteminin gelecekte AISC yönetmelikleri içerisinde tercih edilen yöntem olacağı belirtilmiştir. GA yöntemi ÇYTHYE-2016-Türkiye çelik yönetmeliği içerisinde de yerini almıştır.

Günümüzdeki teknolojik gelişmeler, çelik yapılarda kullanılan yöntem ve hesaplarda değişiklikler ve kolaylıklar sunulmasına büyük katkı sağlamıştır. Bilgisayarların yaygın olarak kullanıldığı bu dönemde kod yazarları, çelik yapıların stabilite tasarımı için mevcut yaklaşımları genişletmeye ve geliştirmeye çalışmışlardır. Teknolojik gelişmeler neticesinde ikinci dereceden analiz kolaylaşmış ve ikinci mertebe etkileri hesap sonuçlarına daha kolay ulaşılabilir hale gelmiştir.

3.1.1. Uygulama sınırı

GA yönteminin uygulama sınırı bulunmamaktadır. Moment çerçevesi, çaprazlı çerçeve, perdeli çerçeve, eğik kolonlu çerçeve ve diğer yapılar için çelik tasarımında kullanılabilir.

3.1.2. Tasarım dayanım hesabı

GA yönteminde; elemanların, bağlantıların, ve yapının bütünü stabilite tasarım dayanım hesabı için ÇYTHYE-2016 Bölüm 7-Bölüm 14 dahil olmak üzere aralıktaki tüm bölümlerde yer alan kurallar kabul edilmektedir.

Eleman burkulma boyu katsayısı geçerli bir yaklaşımla daha küçük bir değer alınması kanıtlanmadığı sürece $K=1$ alınmaktadır. Elemanların burkulma boylarını küçültmek için tasarlanan stabilite bağlantıları ÇYTHYE Bölüm 16 da verilen kurallar çerçevesinde tasarlanmaktadır.

3.1.3. Gerekli dayanımın hesabı

Gerekli dayanım hesaplanırken geometrik ön kusurlar, dayanım ve rijitliklerdeki belirsizlikler ve İkinci mertebe etkiler dikkate alınmalıdır.

3.1.3.1. Geometrik ön kusurların dikkate alınması

Mevcut tez çalışması Bölüm 1.2 de anlatıldığı üzere GA yönteminde geometrik ön kusur doğrudan modelleneyeceği gibi fiktif yük olarak ta ele alınabilmektedir. Fiktif yük Denklem 1.1 ile hesaplanmaktadır.

Fiktif yükler her kat düzeyinde sisteme etkitilecektir. Bu yükler azaltılmış rijitlikler kullanılarak hesaplanan yer değiştirmelerin birinci mertebe yer değiştirmelere oranı, $B_2 \leq 1.7$ değerine eşit veya küçük olması halinde fiktif yükler sadece düşey yükleri içeren yük kombinasyonlarında hesaba katılması yeterlidir.

Eğer $B_2 > 1.7$ değerinden büyükse tüm kombinasyonlarda Düşey ve yatay yükleri içeren fiktif yüklerin hesaba katılması gerekmektedir. YDKT kombinasyonlarının fiktif yüklerle kullanımı Tablo 3.1 ile gösterilmiştir.

B_2 terimi ÇYTHYE-2016'da göz önüne alınan doğrultuda, azaltılmış rijitlikler kullanılarak hesaplanan yer değiştirmelerin birinci mertebe yer değiştirmelere oranı olarak tanımlanmakta ve birinci mertebe analizde azaltılmış rijitlikler yerine sistem rijitliği dikkate alınacağı belirtilmektedir. AISC 360-16'da ise GA yöntemi kullanıldığında; azaltılmış rijitlikler kullanılarak hesaplanan yer değiştirmelerin, azaltılmış rijitlikler kullanılarak hesaplanan birinci mertebe yer değiştirmelere oranı olarak ifade edilmiştir. Yapılan tez çalışması kapsamında AISC 360-16'da ifade edilen B_2 hesabı kullanılacaktır.

Tablo 3.1. YDKT kombinasyonları

$B_2 \leq 1.7$ (YDKT)	$B_2 > 1.7$ (YDKT)
1.4(G+NG)	1.4(G+NG)
1.2(G+NG)+1.6(S+NS)	1.2(G+NG)+1.6(S+NS)
1.2(G+NG)+1.6(Q+NQ)+0.5(S+NS)	1.2(G+NG)+1.6(Q+NQ)+0.5(S+NS)
1.2(G)+1.6(S)+0.8W	1.2(G+NG)+1.6(S+NS)+0.8W
1.2(G)+1(Q)+0.5(S)+1.6(W)	1.2(G+NG)+1(Q+NQ)+0.5(S+NS)+1.6(W)
1.2(G)+1(Q)+0.2(S)+1(E)	1.2(G+NG)+1(Q+NQ)+0.2(S+NS)+1(E)
0.9(G)+1.6(W)	0.9(G+NG)+1.6(W)
0.9(G)+(E)	0.9(G+NG)+(E)

Tablodaki ifadeler aşağıda açıklanmıştır.

G: Sabit yük

NG: Sabit yükün en az 0.002 katı kadar yatay fiktif yük

Q: Hareketli yük

NQ: Hareketli yükün 0.002 katı kadar yatay fiktif yük

S: Kar yükü

NS: Kar yükün en az 0.002 katı kadar yatay fiktif yük

W: Rüzgar yükü

E: Deprem yükü

3.1.3.2. Dayanım ve rijitliklerdeki belirsizlikler

Elemandaki artık gerilmelerin neden olduğu bölgesel akmalar ve dayanım sınır durumlarını aşma, yapı stabilitesini bozucu etkileri oluşturmakta ve yapı rijitliklerinde azalmalara neden olmaktadır. GA yöntemi bu durumları rijitlik azaltması ile göz önüne almaktadır. GA yönteminde elemanların rijitliklerine karar vermek için iki rijitlik azaltması durumu uygulanmaktadır.

- 1. Durum; $0.8EA$
- 2. Durum; $0.8\tau_b EI$

Rijitlik azaltmalarının dahi iyi anlaşılabilir olması için ÇYTHYE Bölüm 8.2 ile ifade edilen tasarım basınç kuvvet dayanımını inceleyelim. Tasarım basınç kuvveti

dayanımı, ϕP_n (YDKT) veya güvenli basınç kuvveti dayanımı P_n/Ω (GKT) tüm basınç elemanlarında,

$$\phi=0.9 \text{ (YDKT)} \quad \Omega=1.67 \text{ (GKT)}$$

olmak üzere, ÇYTHYE-2016 kurallara uygun olarak hesaplanmaktadır.

Narin olmayan enkesit parçalarına sahip elemanların aksenal basınç kuvveti altındaki karakteristik aksenal basınç kuvveti dayanımı, P_n Denklem 3.1 ile hesaplanmaktadır.

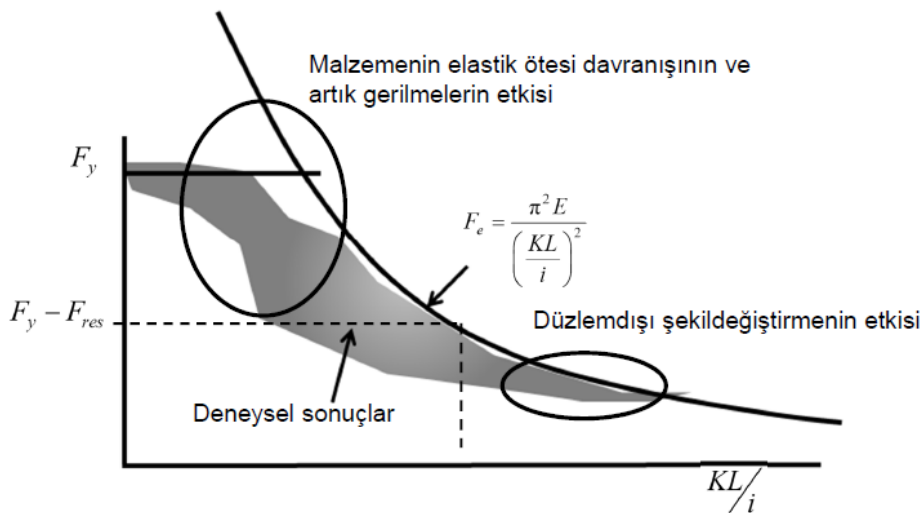
$$P_n = F_{cr} A_g \quad (3.1)$$

Kritik burkulma gerilmesi F_{cr} Denklem 3.2 veya 3.3 ile elde edilir.

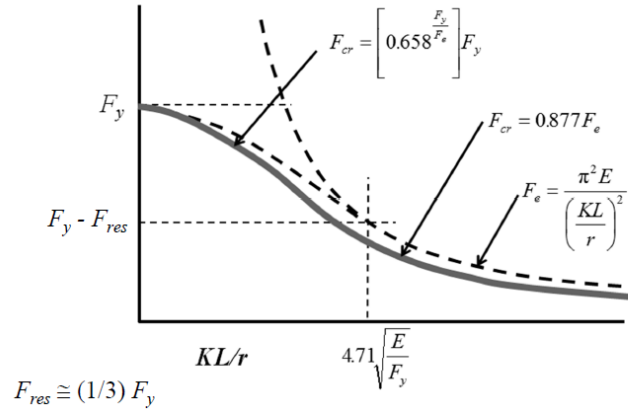
$$\frac{L_c}{i} \leq 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad \text{için} \quad F_{cr} = \left[0.658 \frac{F_y}{F_e} \right] F_y \quad (3.2)$$

$$\frac{L_c}{i} > 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad \text{için} \quad F_{cr} = 0.877 F_y \quad (3.3)$$

Buradaki sınır durumlar incelendiğinde çerçeveyi oluşturan elemanın basınç etkisinde narin olup olmadığı kontrolü sağlanır. Narinlik durumu $(4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}})$ kolon elemanının basınç altında, sınır durumunu oluşturacak burkulma gerilmesinin cebirsel ifadesini belirlemek için gereklidir. Narinlik durumu elemanın basınç altında elastik bölgede veya elastik olmayan bölgede dayanım sınır durumuna ulaşacağını belirler. Bu durumlar Şekil 3.1 ve Şekil 3.2 ile gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Kritik burkulma gerilmesinde etkili olan durumlar (İMO, ÇYTHYE, S. Notları,2016)



Şekil 3.2. Kritik burkulma gerilmesi (İMO, ÇYTHYE, S. Notları,2016)

Yukarıdaki ifadeler aşağıda açıklanmıştır.

A_g : Kayıpsız enkesit alanı

F_e : Elastik burkulma gerilmesi

F_y :Yapısal çelik karakteristlik akma gerilmesi

F_{cr} :Kritik burkulma gerilmesi

L_c :Burlulma boyu($L_c=KL$)

E:Elastisite Modülü(200Gpa)

I:Atalet momenti

1. Durum: Tüm yapı elemanlarının eğilme, kayma ve eksenel rijitlikleri 0.8 katsayısı ile çarpılarak azaltılacaktır.

$$(EA^*=0.8EA) \quad (3.4)$$

Buradaki rijitlik azaltması GA yönteminde stabil kalabilme limit durumunun elastik olarak kontrol edildiği durumu ifade eder. Denklem 3.3'teki narin elemanın kritik burkulma gerilmesi ile karakteristlik eksenel basınç kuvveti dayanımı incelendiğinde Denklem 3.5 elde edilir.

$$P_n = \phi F_{cr} A_g (0.9 * 0.877 A_g = 0.79 A_g) \quad (3.5)$$

Çerçevelerin narin elemanlara sahip olması durumunda rijitliğin 0.8 katsayısı ile çarpımı, tasarım dayanımının elastik stabilite limitinin 0.79 çarpılması ile eşdeğer olduğu ifade edilmektedir.

2. Durum: Eğilme rijitlikleri yapısal stabilite üzerinde etkili olan tüm elemanlarda, basınç kuvveti düzeyine bağlı olarak, eğilme rijitlikleri ayrıca τ_b katsayısı ile çarpılacaktır. Bu durumda eğilme rijitliği için oluşan rijitlik azalma katsayısı Denklem 3.6 şeklini almış olur.

$$EI^*=0.8\tau_bEI \quad (3.6)$$

Denklem 3.6 ile ifade edilen rijitlik azaltması, çerçevelerin narin olmayan elemanlara sahip olması, limit durumlarının elastik olmayan bölgede olması durumunda ve eksenel yük kapasiteleri $\alpha P_r/P_{ns}$ oranına bağlı olarak, eleman eğilme rijitliği $0.8 \tau_b$ katsayısı ile azaltılacaktır. $0.8 \tau_b$ katsayısı yüksek eksenel kuvvete maruz elemanın basınç altında elastik olmayan rijitlik kaybını hesaba katan eğilme rijitliğini ifade eder.

τ_b katsayısı Denklem 3.7 ve 3.8 ile belirlenir.

$$\alpha P_r/P_{ns} \leq 0.5 \quad \text{için} \quad \tau_b = 1 \quad (3.7)$$

$$\alpha P_r/P_{ns} > 0.5 \quad \text{için} \quad \tau_b = 4(\alpha P_r/P_{ns})[1 - (\alpha P_r/P_{ns})] \quad (3.8)$$

α : Katsayı

YDKT için $\alpha=1.0$

GKT için $\alpha=1.6$

P_r :YDKT veya GKT yük birleşimleri altında hesaplanan gerekli eksenel basınç kuvveti dayanımı.

P_{ns} :Eleman enkesit basınç kuvveti dayanımı

Narin olmayan elemanlar için $P=F_y A_g$

Narin elemanlar için $P=F_y A_e$

Düşey yüklerin düşey çerçeve, kolon ve perdeler tarafından taşındığı yapı sistemlerinde, τ_b nin 1 den küçük olduğu durumlarda eğilme rijitliğini τ_b ile çarpılarak azaltılmak yerine; geometrik ön kusur yüklerine $0.001\alpha Y_l$ ek fiktif yük uygulanarak tüm düşey ve yatay yük birleşimlerinde hesaba katılmak üzere yük artırımı yapılarak $\tau_b = 1$ alınabilir.

Bu durumda $0.002\alpha Y_i$ ifadesi ile hesaplanan geometrik ön kusurlar, $0.001\alpha Y_i$ ek fiktif yük ile birlikte; Tablo 3.1’de verilen $B_2 > 1.7$ durumu için geçerli olan YDKT kombinasyonlarında kullanılacaktır.

GA yöntemi ile yapılan tasarımlarda, yapı stabilitesine katkı sağlaması için yapı çeliğinden farklı bir malzeme kullanılması durumunda, bu elemanlar için daha büyük rijitlik azaltması yapılmalıdır.

Azaltılmış rijitlikler dayanım ve stabilite durumları için kullanılır. Ötelenme, dönme, titreşim ve yapı periyodu gibi kıstasların belirlenmesinde rijitlik azaltması kullanılmaz.

3.1.3.3. İkinci mertebe etkilerin dikkate alınması

GA yönteminde ikinci mertebe etkilerin doğrusal olmayan analiz ile belirlenmesi önerilir. Ancak yaklaşık ikinci mertebe analiz ile ikinci mertebe etkilerin belirlenmesi alternatif bir yöntem olarak sunulmuştur.

GA yönteminin yaklaşık ikinci mertebe analizi ile yapılması durumunda, ikinci mertebe etkileri içeren moment ve aksenal kuvvet değerleri sırasıyla 2.1 ve 2.2 denklemleri ile hesaplanacaktır. P- δ etkisini hesaba katan B_1 katsayısı hesabı Denklem 2.3 ile yapılacaktır. Denklem 2.3’teki kritik burkulma dayanımı ise Denklem 2.4 ile hesaplanacaktır. Denklem 2.4 ifadesindeki K_1 değeri elemanın uç noktalarının yanal yer değiştirme yapmadığı varsayımı altındaki burkulma boyu katsayısını ifade eder. Daha küçük bir değer alınabileceği analiz ile kanıtlanmadığı sürece burkulma boyu katsayısı $K_1 = 1$ olarak alınacaktır. Denklem 2.4’deki EI^* ifadesi GA yöntemiyle 3.1.3.2 bölümüyle açıklanan dayanım ve rijitliklerdeki belirsizlikleri göz önüne alan azaltılmış rijitliği ifade eder. Azaltılmış rijitlik ise Denklem 3.4 veya 3.6 ile dikkate alınacaktır. P- Δ etkisini içeren B_2 katsayısı hesabı Denklem 2.6 ile hesaplanacaktır. Bu katsayı hesabında kullanılacak olan birinci mertebe kat öteleme, Δ_H elemanların azaltılmış rijitlikleri Denklem 3.4 veya 3.6 ile dikkate alınarak bulunacaktır.

3.2. Burkulma Boyu (Etkin Uzunluk) Yöntemi

Burkulma boyu(BB) yöntemi ilk olarak AISC ile 1961 yılında tanıtılan ve yarım yüzyılı aşkın süredir kullanılmaya devam eden çelik tasarım yöntemlerindedir. GA

yöntemine alternatif olarak BB yöntemi, sınır durumlar içerisinde, burkulma boyu katsayısı K kullanılarak uygulanabilir.

3.2.1. Uygulama sınırı

Aşağıdaki sınırlar içerisinde BB yöntemi GA yöntemi yerine kullanılabilir.

- a) Düşey yüklerin düşey çerçeveler, çaprazlı çerçeveler ve perdeli çerçeveler tarafından taşındığı yapı sistemlerinde uygulanabilir.
- b) YDKT yük kombinasyonları veya GKT kombinasyonlarının 1.6 kat arttırılmış hali için hesaplanan ikinci merteye göreli kat ötelemelerinin birinci merteye kat ötelemelerine oranı " $B_2 \leq 1.5$ " ise BB yöntemi kullanılıp uygulanabilir. BB yöntemi yaklaşık ikinci merteye analizi ile, B_2 katsayısının belirtilen sınır değerden küçük olup olmadığı kontrol edilerek yöntemin uygulanıp uygulanamayacağı belirlenebilir.

3.2.2. Gerekli dayanım hesabı

BB yöntemi ile gerekli dayanım hesabı, geometrik ön kusurlar ve ikinci merteye etkileri gerekli şekillerde dikkate alınarak hesaplanacaktır. GA yönteminde yapılan rijitlik azaltması BB yönteminde yapılmayacaktır. Rijitlik azaltması yerine burkulma boyu katsayısı, K ile hesap yapılacaktır.

3.2.2.1. Geometrik ön kusurların dikkate alınması

Burkulma boyu yönteminde, Bölüm 1.2'de anlatıldığı gibi, Geometrik ön kusurlar doğrudan modellenilebileceği gibi fiktif yük olarak ta ele alınabilir. Fiktif yük olarak ele alındığında, YDKT ve GKT yöntemleri için oluşturulmuş kombinasyonlardan sadece düşey yüklerin dikkate alındığı kombinasyonlarda kullanılacaktır. Deprem, rüzgar vb. gibi yatay yüklerin olduğu kombinasyonlarda fiktif yük kullanılmayacaktır. Fiktif yük Denklem 1.1 ile hesaplanacaktır.

ÇYTYHE gereği etkin boy yöntemi kullanılarak hesaplanan ikinci merteye yer değiştirmelerin birinci merteye yer değiştirmelere oranını veren B_2 katsayısının 1.7 değerine eşit veya küçük olması durumunda fiktif yüklerin sadece düşey yükleri içeren kombinasyonlarında kullanılması yeterlidir. Etkin boy yöntemi uygulanabilirlik şartı gereği $B_2 \leq 1.5$ olduğundan yatay yükleri içeren kombinasyonlarda fiktif yük kullanımına gerek yoktur.

3.2.2.2. Dayanım ve rijitliklerdeki belirsizliklerin dikkate alınması

Dayanım ve rijitliklerdeki belirsizliklerin dikkate alınması konusunda GA yönteminde yapılan rijitlik azaltması yerine; BB yönteminde burkulma boyu katsayısı K kullanılarak, gerekli dayanım ve rijitliğin burkulma boyu katsayısının $K \geq 1$ durumu ile sağlandığı varsayılmaktadır.

3.2.3. İkinci mertebeye etkileri

BB yönteminde ikinci mertebeye etkilerin doğrusal olmayan analiz ile belirlenmesi önerilir. Ancak yaklaşık ikinci mertebeye analiz ile ikinci mertebeye etkilerin belirlenmesi alternatif bir yöntem olarak sunulmuştur.

BB yönteminin yaklaşık ikinci mertebeye analiz ile yapılması durumunda ikinci mertebeye etkileri içeren moment ve eksenel kuvvet değerleri sırasıyla Denklem 2.1 ve 2.2 ile hesaplanacaktır. P- δ etkisini hesaba katan B_1 katsayısı hesabı Denklem 2.3 ile yapılacaktır. Denklem 2.3'teki kritik burkulma dayanımı ise Denklem 2.4 ile hesaplanacaktır. Denklem 2.4 ifadesindeki EI^* değeri azaltılmamış rijitlik (EA ve EI) olarak alınacaktır. K_1 ifadesi elemanın uç noktalarının yanal yer değiştirme yapmadığı varsayımı altındaki burkulma boyu katsayısını ifade eder. K_1 katsayısının 1 den daha küçük bir değer olduğu, geçerli bir yaklaşımla kanıtlanmadığı sürece $K_1=1$ olarak alınacaktır. Elemanın bir uç noktasının yanal yer değiştirme yapabildiği durumda, yani $K_1 > 1$ olması halinde de bu kabul geçerlidir.

P- Δ etkisini içeren B_2 katsayısı hesabı denklem 2.6 ile hesaplanacaktır. B_2 katsayısı hesabında kullanılacak olan birinci mertebeye kat ötelemesi Δ_H , elemanların burkulma boyu katsayıları K değerleri dikkate alınarak bulunacaktır.

3.2.4. Tasarım dayanım hesabı

GA analiz yöntemine alternatif olarak sunulan BB yöntemi ile tasarım yapılması durumunda, BB yönteminde; elemanların, bağlantıların, ve yapının bütünüdürün stabilite tasarım dayanım hesabı için, ÇYTHYE-2016 Bölüm 7-Bölüm 14 dahil olmak üzere aralıktaki tüm bölümlerde yer alan kurallar kabul edilmektedir.

3.2.5. Burkulma boyu katsayısı(K)

Burkulma boyu katsayısı, K ile yapılan tasarımlarda mevcut dayanımı hesaplamak için eleman burkulma boyu (etkin uzunluğu) dikkate alınarak hesap yapılır. $K > 1$ olması durumu için eleman etkin uzunluğu olarak efektif uzunluğun kullanılmasıyla,

plastisitenin eleman kesiti ve boyunca yayılmasının hesaba katıldığı varsayılır. Bu sebeple analizde rijitlik azaltmasına gerek yoktur.

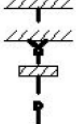
Etkin uzunluk $L_c=KL$, elastik veya elastik olmayan kolon burkulması için; eşdeğer kolon burkulma gerilmesi $F_e=\pi^2 E/(L_c/r)^2$, eksenel basınç dayanımı P_c , geometrik ön kusurlar ve gerilme dağılımının burkulma davranışı üzerine etkilerini ampirik bir sütün eğrisi aracılığıyla hesaba katmak için kullanılır.

Enkesitin taşıyabileceği eksenel basınç dayanımı P_n , eğilme dayanımı M_n ve ikinci derece etkileri ile birleştiğinde kiriş-kolon etkileşim denklemleriyle gerçek taşıma kapasitesi P_r ve M_r bulunmuş olur.

Burkulma boyu katsayısı K hesabı için literatürde birçok yöntem bulunmaktadır.(Kavanagh,1962; Johnston, 1976; LeMessurier,1977; ASCE, 1997; White ve Hajjar, 1997) Bunlar Tablo3.2’de gösterildiği gibi tek kolonların basit mesnet şartlarının idealize edilmiş hallerinden, farklı yükleme durumları altındaki Çerçeveler, plaklar vd. yapı elemanlarındaki burkulma boyu analizlerine yöneldikçe karmaşıklaşır. Düzenli çerçeve istem yapılarında yapı elemanlarının K burkulma boyu katsayısı kolayca tahmin edilebilir ya da hesaplanabilir. Ancak düzenli bir çerçeve sisteme sahip olmayan yapı türlerinde K katsayısı tespiti karmaşıklaşır ve hesaplar bazı kabuller ve idealleştirmeler ile yapılabilmektedir.

Mesnet şartlarına ve basit idealleştirmelere dayalı Tablo 3.2’ de (a), (b) ve (d) ile gösterilen elemanlar yanal ötelenmesi çeşitli yöntemlerle önlenmiş elemanları, (c), (e), (f) ile gösterilen elemanlar yanal ötelenmesi önlenmemiş elemanları belirtmektedir. Mesnetlerde belirtilen şartlar tam anlamıyla gerçekleşmeyeceğinden tavsiye edilen burkulma boyları teorik boylardan büyük olarak belirtilmiştir. Tek katlı tek açıklıklı basit bir yapı sistemi için tanımlanan bu durumlar da K katsayısı kolaylıkla belirlenebilir. Farklı durumlarda kesin K katsayısını belirlemek için kabul edilen yöntemler kullanılmalıdır.

Tablo 3.2. Burkulma boyu katsayısı, K için yaklaşık değerler(Durmaz, 2015)

Kesikli çizgilerle basınç çubuğunun burkulma şekli gösterilmiştir.	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
	0.5	0.7	1.0	1.0	2.0	2.0
	0.65	0.8	1.2	1.0	2.1	2.0
Düğüm Noktası Koşulları						

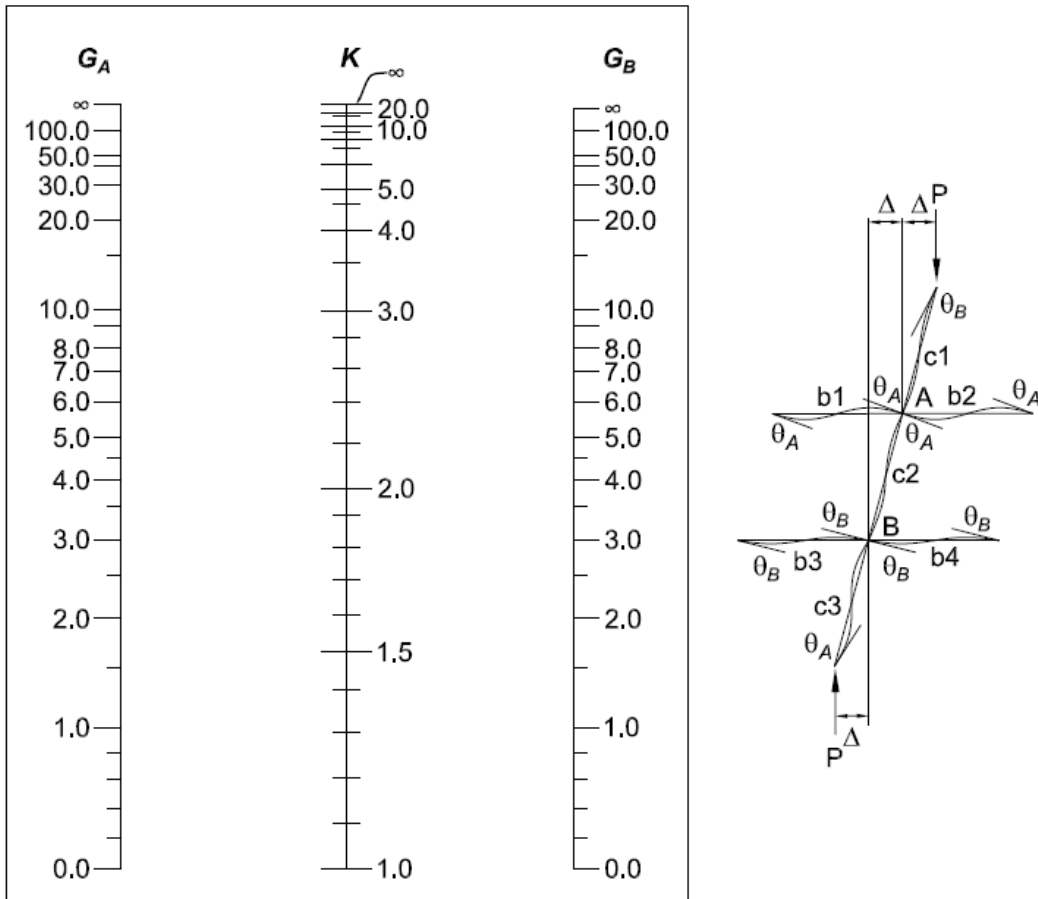
Burkulma boyu katsayısı K yı belirlemek için en yaygın olarak kullanılan yöntem hizalama nomogramları ve denklemleridir.(Kavanagh, 1962) Bu nomogramlar gerçek yapılarda tamamı nadiren bulunan idealleştirilmiş koşulların varsayımına dayanmaktadır. Bu varsayımlar:

1. Davranış tamamen elastiktir.
2. Tüm elemanlar aynı kesite sahiptir.
3. Tüm birleşimler rijittir.
4. Yanal hareketi önlenmiş çerçevelerdeki(çaprazlı çerçeve) kolonlar için, oluşan burkulma tek eğriliklidir.
5. Yanal hareketi önlenmemiş çerçevedeki(moment çerçevesi) kolonlar için, oluşan burkulma çift eğriliklidir.
6. Tüm kolonların rijitlik parametresi $L\sqrt{P/EI}$ birbirine eşittir.
7. Düğüm noktasındaki mesnetlenme şartı, düğüm noktasını alt ve üstündeki kolonlara kolonların EI/L değerleri oranına(rödarları) göre dağıtılır.
8. Tüm kolonlar aynı anda burkulur.
9. Kirişlerde dikkate alınacak bir düzeyde aksenal kuvvet yoktur.
10. Kayma deformasyonları ihmal edilmiştir.

Hizalama nomogramları(Kavanagh, 1962) yanal yer değiştirmesi önlenmiş ve önlenmemiş olarak ikiye ayrılır.

3.2.5.1. Yanal yer değiştirmesi önlenmemiş çerçevesler

Yanal yer değiştirmesi önlenmemiş çerçeveslerin stabilitesi, rijit bağlantılı kirişler ve kolonların eğilme rijitliğine bağlıdır. Elemanların boyutlarına ve sistem rijitliğine göre kayma şekil değiştirmelerinden kaynaklanan rijitlik azaltması göz önüne alınması gerekebilir. Bu rijitlik azaltması eleman boyu L yerine, etkin boy KL kullanılmasıyla sağlanır. Bu nedenle yanal yer değiştirmesi önlenmemiş sistemlerde K katsayısı 1 den büyüktür.



şekil 3.3. Yanal yerdeğiştirmesi önlenmemiş sistemlerde burkulma boyu katsayısı, K Nomogramı

Nomogramlarda ve nomogramları ifade eden nomogram denklemlerinde kullanılan G_a ve G_b büyüklükleri kolon üst ve kolon alt uçlarındaki düğüm noktalarının eğilme rijitliklerini ifade etmektedir. Bu düğüm noktalarında birleşen kolon ve kiriş

elemanlarının eğilme rijitlikleri toplamalarının oranı olarak Denklem 3.9 ile hesaplanır.

$$G = \frac{\Sigma(E_c I_c / L_c)}{\Sigma(E_g I_g / L_g)} \quad (3.9)$$

Buradaki terimler aşağıda açıklanmıştır.

$E_c I_c$: Kolon enkesiti eğilme rijitliği

L_c : Kolon boyu

$E_g I_g$: Kiriş enkesiti eğilme rijitliği

L_g : Kiriş boyu

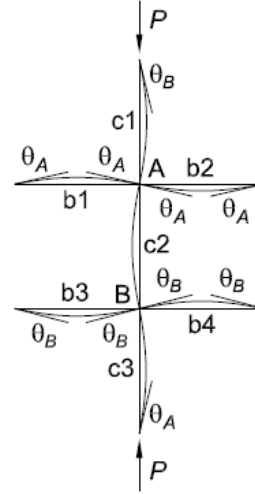
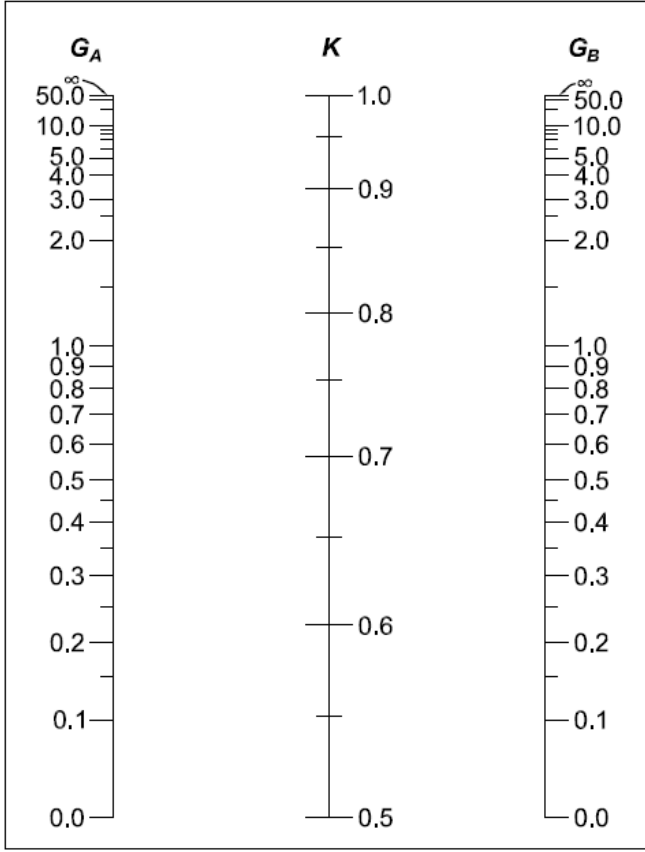
Σ sembolü burkulma boyunun hesaplanacağı düzlemde, incelenen düğüm noktasındaki rijit bağlanmış kolonların veya kirişlerin toplamını ifade eder. Nomogramlardaki A ve B indislerinin üst veya alt uç olması, nomogramların simetrik olmasından dolayı K katsayısında fark oluşturmaz.

Yanal yer değiştirmesi önlenmemiş moment aktaran çerçeveler ve benzeri sistemlerde burkulma boyu katsayısı K, kolonun üst ve alt uçlarında Denklem 3.9 ile belirlenen G_A ve G_B büyüklüklerine bağlı olarak Denklem 3.10 ile hesaplanabilir veya Şekil 3.3 ile gösterilen nomogram kullanılarak belirlenebilir.

$$K = \sqrt{\frac{G_A(1.6G_B+4.0)+(4G_B+7.5)}{G_A+G_B+7.5}} \quad (3.10)$$

3.2.5.2. Yanal yer değiştirmesi önlenmiş çerçeveler

Yanal Yer değiştirmesi önlenmiş çerçevelerin stabilitesi, rijit bağlantılı kirişler ve kolonların eğilme rijitliğine yüksek oranda bağlı değildir. Sistem stabilitesi perde veya çaprazlar tarafından sağlandığından, yapı stabilitesinden kaynaklı olarak elemanların eğilme rijitliklerinde büyük bir etki oluşturmaz. Ancak elemanların burkulma boyları elemanın dayanım sınırlarını da belirlediğinden daha küçük bir değer kullanılması geçerli bir yaklaşımla veya analiz ile kanıtlanmadığı sürece eleman burkulma boyları $K=1$ olarak alınacaktır. K katsayısının geçerli bir yaklaşımla daha küçük bir değer alınabileceği kanıtlandığında Şekil 3.4'de sunulan nomogram kullanılabilir. Bu sistemlerde yapı stabilitesini sağlayan bağlantılar ÇYTHYE Bölüm 16 ile sağlanacaktır.



Şekil 3.4. Yanal yer değiştirmesi önlenmiş sistemlerde burkulma boyu katsayısı, K nomogramı

Nomogramlarda ve nomogramları ifade eden nomogram denklemlerinde kullanılacak olan G_A ve G_B büyüklükleri 3.2.3.2 de anlatıldığı gibi hesaplanır.

Yanal yer değiştirmesi önlenmiş çerçeveler ve benzeri sistemlerde burkulma boyu katsayısı, K kolonun üst ve alt uçlarında denklem 3.9 ile belirlenen G_A ve G_B büyüklüklerine bağlı olarak denklem 3.11 ile hesaplanabilir veya Şekil 3.4 ile gösterilen nomogram kullanılarak belirlenebilir.

$$K = \frac{3G_A G_B + 1.4(G_A + G_B) + 0.64}{3G_A G_B + 2.0(G_A + G_B) + 1.28} \quad (3.11)$$

G_a ve G_b değerlerinin denklemle hesabında, aynı düğüm noktasında farklı malzemeden yapılmış yapı elemanlarının birleşiminin olabileceği göz önüne alınarak, denklemlerde elastisite modülü E de kullanılmıştır.

3.2.5.3. Burkulma boyu katsayısı(K) hesabı için yapılan düzenlemeler

Hizalama nomogramları ve denklemlerinde(Kavanagh, 1962) yapılan kabuller ve idealleştirme koşullarının gerçek yapı sistemlerine uygulanabilmesi için bazı düzenlemeler yapılması gerekmektedir.

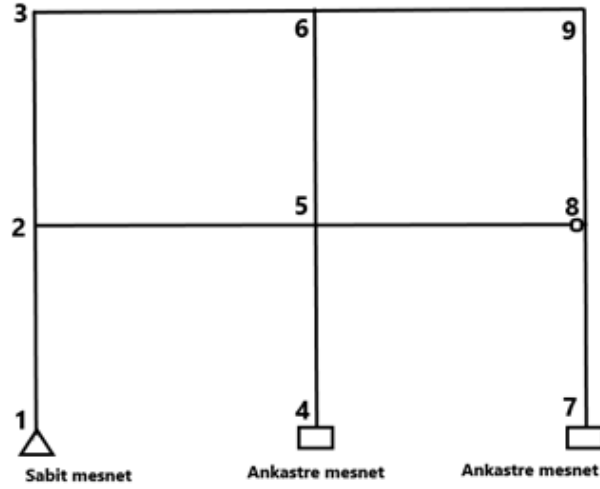
G_A ve G_B büyüklüklerinin hesabında, kolonların ve kirişlerin sınır koşullarına bağlı olarak, yapılan düzenlemeler:

- a) Temellere rijit olarak bağlanmayan kolonlarda, gerçek bir mafsalı bağlantı olmadığı sürece, pratik uygulamalar bakımından $G=10$ olarak alınabilir. Kolonun temele bağlantısının rijit olması halinde, temel dönmesinin sıfıra eşit olduğu kanıtlanmadığı sürece, $G=1$ olarak alınabilir.
- b) Yanal yer değiştirmenin önlendiği çerçeve kirişlerinde, kiriş $E_g I_g / L_g$ eğilme rijitliği katsayı ile çarpılarak büyütülür. Kirişin diğer ucu ankastre olarak mesnetlenmesi halinde katsayının değeri 2, diğer ucunun mafsalı olarak mesnetlenmesi halinde ise 1.5 olarak alınır.
- c) Yanal yer değiştirmesinin önlenmediği çerçeve kirişlerinde, kiriş $E_g I_g / L_g$ eğilme rijitliği katsayı ile çarpılarak azaltılır. Kirişin diğer ucu ankastre olarak mesnetlenmesi halinde katsayı değeri 2/3, diğer ucunun mafsalı olarak mesnetlenmesi halinde ise 0.5 olarak alınır.
- d) Nomogramlardaki önemli varsayımlardan biri birleşimlerin rijit olduğu kabulüdür. İncelenen düğüm noktasındaki Kirişin kolona birleşimi moment aktaran birleşim değilse, kolon uç noktası rijitliği hesaplanırken kiriş rijitliği dikkate alınmaz.

Moment aktaran birleşimli çerçevede K değerlerinin hesaplanması bir örnek üzerinden aşağıda sunulmuştur;

Şekil 3.5'te gösterilen moment aktaran çerçevede 1-2 ve 4-5 kolonlarının burkulma boyu katsayıları K, Tablo 3.3' te hesaplanmıştır. Tüm kirişlerin atalet momentlerinin kolon atalet momentlerinin iki katı olduğu, tüm kolon ve kirişlerin uzunluklarının L kadar olduğu, 1 numaralı düğüm noktasını dönmesinin serbest bırakılıp yatay ötelemesinin tutulu olduğu, 4 ve 7 numaralı düğüm noktalarında kolonların alt uçlarının ankastre bağlı olduğu, 8 numaralı düğüm noktasında kirişin kolon ile bağlantısının moment aktarmayan birleşim olduğu bir çerçeve sistem dikkate

alınarak, 1-2 ve 4-5 kolonlarının burkulma boyu katsayıları K'nın hesabı anlatılmıştır.



Şekil 3.5. Model çerçeve detayı

Tablo 3.3. Çerçeve K hesabı

1-2 Kolonu	4-5 Kolonu
G_A :2 ve G_B :1 numaralı düğüm noktalarını ifade eder.	G_A :5 ve G_B :4 numaralı düğüm noktalarını ifade eder.
$G_A = \frac{\sum(E_c I_c / L_c)}{\sum(E_g I_g / L_g)} = \frac{EI/L + EI/L}{(2/3)2EI/L}$ $= \frac{2EI/L}{4EI/3L} = 1.5$	$G_A = \frac{\sum(E_c I_c / L_c)}{\sum(E_g I_g / L_g)} = \frac{EI/L + EI/L}{\left(\frac{2}{3}\right)\frac{2EI}{L} + 0.5\left(\frac{2EI}{L}\right)}$ $= \frac{2EI/L}{\frac{7EI}{3L}} = 0.85$
$G_B = 10$ olarak alınır.	$G_B = 1$ olarak alınır.
$K_{12} = \sqrt{\frac{G_A(1.6G_B + 4.0) + (4G_B + 7.5)}{G_A + G_B + 7.5}}$	$K_{45} = \sqrt{\frac{G_A(1.6G_B + 4.0) + (4G_B + 7.5)}{G_A + G_B + 7.5}}$
$K_{12} = \sqrt{\frac{1.5(1.6*10 + 4.0) + (4*10 + 7.5)}{1.5 + 10 + 7.5}}$	$K_{45} = \sqrt{\frac{0.67(1.6*1 + 4.0) + (4*1 + 7.5)}{0.67 + 1 + 7.5}}$
$K_{12} = 2.02$	$K_{45} = 1.32$

3.2.5.4. Diğer düzenlemeler

ÇYTHYE de K burkulma boyu katsayısı hesap kabulleri ve açıklamalarına ilave olarak AISC-360-16 yönetmeliğinde sunulan, aşağıdaki düzenlemeler de yapılabilir.

Kirişlerde düzenlenmiş kiriş boyu, L'_g kullanımı

Yanal ötelemesi önlenmiş sistemlerinde, farklı uç koşullarına sahip kirişlerin gerçek kiriş boyları yerine düzenlenmiş kiriş boyu L'_g değeri kullanılmalıdır. düzenlenmiş kiriş boyu L'_g değeri denklem 3.12 ile hesaplanabilir;

$$L'_g = L_g \left(2 - \frac{M_F}{M_N} \right) \quad (3.12)$$

AISC-360-16 yönetmeliğinde dikkate alınan bu denklemde;

M_F :Dikkate alınan düğüm noktasından uzakta bulunan uçtaki moment değeri

M_N :Dikkate alınan düğüm noktasındaki moment değeri

olarak tanımlanmaktadır.

M_F ve M_N değerleri birinci mertebe analiz ile elde edilir. Kiriş tek eğrilikli ise M_F/M_N oranı pozitif, çift eğrilikli ise M_F/M_N oranı negatif olarak alınarak hesaba dahil edilir. Eğer $M_F/M_N > 2$ ise sonuç negatif çıkacağından ve L'_g değeri negatif değer olması durumunda, G değerini de negatif yapacağından K değeri nomogramlardan hesaplanamaz. Bunun için nomogram denklemleri Denklem (3.10) ve (3.11) kullanılarak çözüme gidilmelidir.

Kolonların elastik olmaması durumu

Yanal yer değiştirmesi önlenmiş ve önlenmemiş sistemler için, G_A ve G_B hesabında, kullanılan Denklem 3.9'daki tüm kolon rijilik $E_c I_c$ değerleri τ_b katsayısı ile çarpılarak " $\tau_b(E_c I_c)$ " değeri olarak alınır.

Pandül Kolonlar

Pandül kolonlar düğüm noktasında moment aktarımı bulunmayan sadece aksel yük taşıyan basınç elemanlarıdır. Bu tür basınç elemanlarının tasarımı için K katsayısı 1 alınabilir. Ancak bu kolonlara gelen düşey yüklerin, P- Δ etkilerinde ve sistemin yatayda stabilitesini sağlayan yatay yük taşıyıcı sisteminde göz önüne alınması gerekir.

Yapı sisteminde her bir kolon moment çerçevesinin bir parçasıysa ve her kolon kendi aksel yükünü taşıyacak şekilde tasarlanmışsa, kolonun yanal rijitliğe veya kat burkulma yüküne katkısı, taşıdığı aksel yük P ve P- Δ etkilerinden oluşacak moment ile dayanım sınır durumuna gelecektir. Bu durum tüm kolonlarda aynı anda

oluşacak ve kattaki tüm kolonlar aynı anda burkulacaktır. Bu idealize edilmiş koşulda, kattaki kolonlar arasında etkileşim yoktur. Kolonun kararsızlığı ve çerçeve kararsızlığı aynı anda meydana geldiği kabul edilir. Ancak tipik çerçeve etkileşimde bu idealleştirme yapılamaz ve gerçek çerçeve davranışında sistem etkileri yeniden dağılım yapar. Bu dağılım yatay kirişler veya diyaframlar tarafından sağlanır.

Yapının eğilme rijitliğine çok az katkısı olan veya hiç bir katkısı olmayan kolonlara pandül kolon denir. Pandül kolonlar $K=1$ olarak tasarlanabilir. Pandül kolonlara etki eden aksenal kuvvetler taşıyıcı sistemin deplasmanına etki edeceği için $P-\Delta$ etkilerinin hesabında dikkate alınmalıdırlar. Pandül kolonlardan gelecek etkiler taşıyıcı sistemin diğer kolonlarına yeniden dağıtılarak, K ve F_{cr} değerlerinin belirlenmesinde göz önüne alınırlar. Bu tür yapılarda yanal kat stabilite katsayısı K_2 hesaba katılır.

3.2.6. Kat stabilitesi için K katsayısı

AISC yönetmeliklerinde kat stabilitesini değerlendirmek için iki yaklaşım sunulmuştur;

- Kat Rijitliği yaklaşımı(LeMessurier, 1976, 197)
- Kat Burkulması yaklaşımı(Yura, 1971).

Yanal kat burkulmasının gerçekleşebileceği yapı sistemlerinde kolonun burkulma boyu katsayısı K_2 olarak ifade edilir. K_2 değeri denklem 3.13 ve 3.16 ile elde edilebilir. Kat rijitliği yaklaşımında hesaplanan K_2 , K yerine doğrudan kullanılabilir. Ancak kat burkulması yaklaşımında yapılan hesapla bulunan K_2 değerinin, K yerine kullanılması uygun değildir. Ayrıca kat burkulması yaklaşımıyla hesaplanan K_2 değeri ile belirlenen P_c değeri, yanal yer değiştirmesi önlenmiş sistemin burkulmasına dayanarak belirlenen P_c değerinden büyük olamaz.

3.2.6.1. Kat rijitliği yaklaşımı

Kat rijitliği yaklaşımı için, her bir kolon için ayrı olarak hesaplanacak olan K_2 3.13 denkleminde hesaplanır.

$$K_2 = \sqrt{\frac{P_{kat}}{R_M P_r} \left(\frac{\pi^2 EI}{L^2} \right) \left(\frac{\Delta_H}{\Sigma HL} \right)} \geq \sqrt{\frac{\pi^2 EI}{L^2} \left(\frac{\Delta_H}{1.7 HL} \right)} \quad (3.13)$$

P-δ etkilerinin kolonların burkulma katsayılarına etkisini hesaba katmak için R_M katsayısı kullanılır. R_M katsayısı, B_2 arttırma katsayısı hesabında açıklandığı üzere Denklem 2.8 ile hesaplanır. Denklem 2.8 denklem 3.14 olarak tekrar sunulmuştur

$$R_M = 1 - 0.15(P_{mf}/P_{kat}) \quad (3.14)$$

Taşıyıcı çerçeve sisteminde yanal rijitliğe katkısı az olan kolonlarda, K_2 eşitsizliğinin sol tarafı 1'den küçük bir değer alabilir ancak eşitsizliğin sağ tarafı 1 den küçük bir değer almaz. Buradaki eşitsizliğin sol tarafı yanal kat burkulması olması durumunu, sağ tarafı ise yanal kat burkulmasının olmadığı, eleman bazında burkulmaların gerçekleştiği durumu dikkate almaktadır. H yanal kuvvetlerden oluşan kolonun kesme kuvvetini ve Δ_H ise bu kuvvetten oluşan deplasmanı ifade eder. H kuvveti yanal yüklerin bulunduğu birinci mertbe analizi ile bulunur. Denklem 3.13 ve 3.15 deki P_{kat} kattaki tüm kolonlar üzerinde bulunan düşey yükü (pandül kolonlar dahil), P_r sadece hesap yapılan kolon üzerindeki düşey yükü ifade etmektedir. Kolon burkulma yükü P_{e2} denklem 3.15 ile hesaplanır.

$$P_{e2} = \left(\frac{HL}{\Delta_H}\right) \frac{P_r}{P_{kat}} R_M \leq 1.7H_{col}L/\Delta_H \quad (3.15)$$

Denklem 3.15 eşitsizliği ile hesaplanan değer, π^2EI/L^2 ifadesinden büyük olabilir ancak eşitsizliği sağ tarafından büyük olamaz.

3.2.6.2. Kat burkulması yaklaşımı

Kat burkulması yaklaşımında, her bir kolon için ayrı olarak hesaplanacak olan K_2 katsayısı denklem 3.16 ile hesaplanır.

$$K_2 = \sqrt{\frac{\frac{\pi^2EI}{L^2}}{\frac{P_r}{\sum \frac{\pi^2EI}{(K_{n2}L)^2}}} \geq \sqrt{\frac{5}{8}} K_{n2} \quad (3.16)$$

Burada K_{n2} değeri; yanal yerdeğiştirmesi önlenmemiş çerçeve sistem nomogramı (Şekil 3.3) ile veya denklem 3.10 ile belirlenir. K_{n2} değeri 1.0'dan küçük olabilir. Denklem 3.16 nın sağ tarafındaki değer her zaman sol taraftaki değere kıyasla minimum değerdir. Kolon burkulma yükü P_{e2} , denklem 3.17 ile bulunur.

$$P_{e2} = \left(\frac{P_r}{P_{kat}}\right) \sum \frac{\pi^2EI}{(K_{n2}L)^2} \leq 1.6 \frac{\pi^2EI}{(K_{n2}L)^2} \quad (3.17)$$

3.16 ve 3.17 denklemlerindeki P_{kat} kattaki tüm kolonlar üzerinde bulunan düşey yükü (pandül kolonlar dahil), P_r sadece hesap yapılan kolon üzerindeki düşey yük

olarak dikkate alınması gereklidir. Denklem 3.17 ile hesaplanan değer, $\pi^2 EI/L^2$ ifadesinden büyük olabilir ancak denklemin sağ tarafından büyük olamaz.

3.3. Genel Analiz ve Burkulma Boyu Yöntemleri Özet Tabloları

Stabilite analiz yöntemleri olarak adlandırılan ve yukarıdaki bölümlerde detaylı olarak açıklanan;

- Doğrusal Olmayan Analiz İle Genel Analiz
- Yaklaşık İkinci Mertebe Analizi İle Genel Analiz
- Doğrusal Olmayan Analiz İle Burkulma Boyu
- Yaklaşık İkinci Mertebe Analizi İle Burkulma Boyu

yöntemleridir.

Bu yöntemler aşağıda sırasıyla Tablo 3.4, Tablo 3.5 ve Tablo 3.6’da özetlenerek sunulmuştur.

Tablo 3.4. Doğrusal olmayan analiz ile Genel Analiz yöntemi

Genel Analiz Yöntemi		
Analiz Türü	Doğrusal olmayan analiz(Nonlinear)	Doğrusal olmayan analiz(Nonlinear)
Rijitlik	Sabit rijitlik azaltma katsayısı 0.8EA-0.8EI	Değişken rijitlik azaltma katsayısı 0.8EA-0.8 τ_b EI
Uygulama sınırı	Sınırsız	Sınırsız
Rijitlik dikkate alınması	$\alpha P_r/P_{ns} \leq 0.5$ durumu $\tau_b = 1$ veya Tüm kombinasyonlarda $0.003\alpha Y_i$ fiktif yük uygulanması	$\alpha P_r/P_{ns} \geq 0.5$ durumu için $\tau_b = 4(\alpha P_r/P_{ns})[1 - ((\alpha P_r/P_{ns}))]$
Yöntem Esasları	B_1 ve B_2 katsayı olarak kullanılmıyor. K=1 alınır. $\alpha P_r/P_{ns} \leq 0.5$ durumu için: $B_2 \leq 1.7$ ise fiktif yükler sadece düşey yüklerde kullanılacak aksi halde tüm kombinasyonlarda kullanılacak.	B_1 ve B_2 katsayı olarak kullanılmıyor. K=1 alınır. $B_2 \leq 1.7$ ise fiktif yükler sadece düşey yüklerde kullanılacak aksi halde tüm kombinasyonlarda kullanılacak.

Tablo 3.5. Yaklaşık ikinci merteye analizi ile Genel Analiz Yöntemi

Genel Analiz Yöntemi		
Analiz Türü	Yaklaşık ikinci merteye analiz	Yaklaşık ikinci merteye analiz
Rijitlik	Sabit rijitlik azaltma katsayısı 0.8EA-0.8EI	Değişken rijitlik azaltma katsayısı 0.8EA-0.8 τ_b EI
Uygulama sınırı	Düşey yüklerin düşey çerçeveler, kolonlar ve perdeler tarafından taşındığı yapılar.	Düşey yüklerin düşey çerçeveler, kolonlar ve perdeler tarafından taşındığı yapılar.
Rijitliğin dikkate alınması	$\alpha P_r/P_{ns} \leq 0.5$ durumu $\tau_b = 1$ veya Tüm kombinasyonlarda $0.003\alpha Y_i$ fiktif yük uygulanması	$\alpha P_r/P_{ns} \geq 0.5$ durumu için $\tau_b = 4(\alpha P_r/P_{ns})[1 - ((\alpha P_r/P_{ns}))]$
Yöntem Esasları	B_1 katsayısı 2.3 denkleminde, B_2 katsayısı 2.6 denkleminde hesaplanır. B_1 ve B_2 katsayı hesabında azaltılmış rijitlik kullanılarak, $K=1$ alınarak hesaplanır. Birinci merteye analizinden elde edilen değerler 2.1 ve 2.2 denklemlerinde yerine yazılarak ikinci merteye etkileri bulunur. $\alpha P_r/P_{ns} \leq 0.5$ durumu için: $B_2 \leq 1.7$ ise fiktif yükler sadece düşey yüklerde kullanılacak aksi halde tüm kombinasyonlarda kullanılacak.	B_1 katsayısı 2.3 denkleminde, B_2 katsayısı 2.6 denkleminde hesaplanır. B_1 ve B_2 katsayı hesabında azaltılmış rijitlik kullanılarak, $K=1$ alınarak hesaplanır. Birinci merteye analizinden elde edilen değerler 2.1 ve 2.2 denklemlerinde yerine yazılarak ikinci merteye etkileri bulunur. $B_2 \leq 1.7$ ise fiktif yükler sadece düşey yüklerde kullanılacak aksi halde tüm kombinasyonlarda kullanılacak.

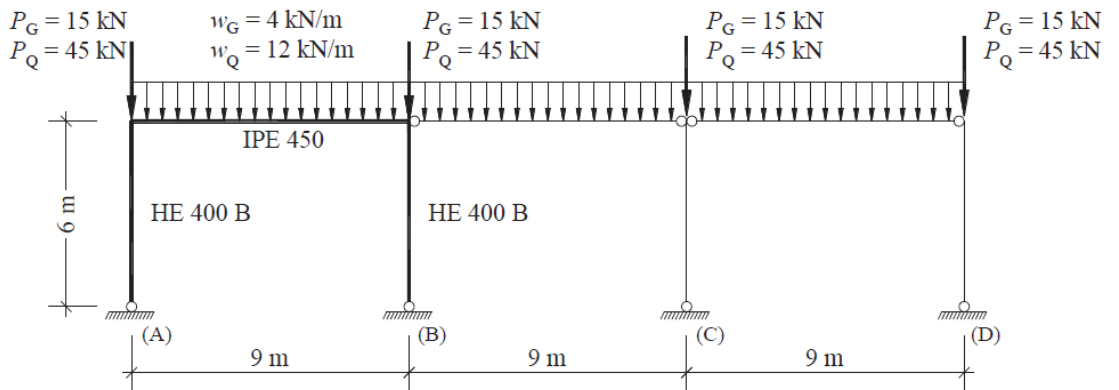
Tablo 3.6. Doğrusal olmayan analiz ve yaklaşık ikinci merteye analizi ile Burkulma Boyu yöntemi

Burkulma Boyu Yöntemi		
Analiz Türü	Doğrusal olmayan analiz(Nonlinear)	Yaklaşık ikinci merteye analizi
Uygulama sınırı	1)Düşey yüklerin düşey çerçeveler, kolonlar ve perdeler tarafından taşındığı yapılar. 2) $B_2 \leq 1.5$	1)Düşey yüklerin düşey çerçeveler, kolonlar ve perdeler tarafından taşındığı yapılar. 2) $B_2 \leq 1.5$
Geometrik ön kusurların dikkate alınması	$N_i = 0.002\alpha Y_i$ fiktif yükleri sadece düşey yükleri içeren kombinasyonlarda kullanılacak.(Tablo3.1)	$N_i = 0.002\alpha Y_i$ fiktif yükleri sadece düşey yükleri içeren kombinasyonlarda kullanılacak.(Tablo 3.1)
Rijitliğin dikkate alınması	GA yönteminde uygulanan rijitlik azaltması yerine burkulma boyu katsayısı kullanılarak dayanımların azaltılması ile göz önüne alındığı varsayılır.	GA yönteminde uygulanan rijitlik azaltması yerine burkulma boyu katsayısı kullanılarak dayanımların azaltılması ile göz önüne alındığı varsayılır.
Yöntem Esasları	B_1 ve B_2 katsayı olarak kullanılmıyor. $K \geq 1$ alınarak analiz yapılır.	B_1 katsayısı 2.3 denkleminde, B_2 katsayısı 2.6 denkleminde hesaplanır. B_1 ve B_2 katsayı hesabında azaltılmamış rijitlik kullanılarak, $K \geq 1$ alınarak hesaplanır. Birinci merteye analizinden elde edilen değerler 2.1 ve 2.2 denklemlerinde yerine yazılarak ikinci merteye etkileri bulunur.

3.4. Çerçeve Örneği

Bu bölümde ÇYTHYE-2016 yönetmeliğinde Stabilitate analiz yöntemleri olarak verilen ve bölüm 3.3 başlığı altında özetle sunulan tüm stabilite analiz yöntemlerinin uygulaması bir çerçeve sistem üzerinde anlatılmıştır. Örnek olarak ÇYTHYE-2016 yönetmeliği uygulama kılavuzunda stabilite tasarımı anlatımında kullanılan çerçeve sistem dikkate alınmıştır. X-Z düzleminde geometrisi ve servis yükleri aşağıda verilen çerçeve sistemin Burkulma Boyu ve Genel Analiz yöntemlerine göre gerekli dayanımlarının belirlenmesi yapılacaktır. Çerçeve elemanları düzlemde kuvvetli eksenleri etrafında çalıştırılmıştır. A ve B akslarındaki kolonları birbirine bağlayan kirişin ankastre, diğer kirişler mafsallı olarak bağlanmıştır. Tüm kolonlar sabit mesnet olarak temele mesnetlenmiştir. Aks isimleri kolon isimleri olarak ifade edilecektir. Öncelikle YDKT ve GKT yüklemelerine göre birinci mertbe analiz yapılacaktır. Sonrasında her iki stabilite analiz yöntemi için(GA ve BB) yaklaşık ikinci mertbe analiz yapılarak sonuçlar bulunacak ve doğrusal olmayan analiz sonuçlarıyla karşılaştırılacaktır. Analizlerde çerçeve öz ağırlığı ihmal edilmiştir. Çerçeve sistemin oluşturulduğu çeliğin akma gerilmesi $F_y = 275 \text{ N/mm}^2$ olarak kabul edilmiştir.

Her iki yöntem için hesap yapılabilmesi için, BB yönteminde yatay yüklerin bulunduğu kombinasyonlarda fiktif yük hesaba katılmadığından ve fiktif yüklerin dikkate alınabileceği elverişsiz yükleme durumlarını oluşturacak kombinasyonlarına göre hesap yapılacaktır. (YDKT:1.2G+1.6Q ve GKT: G+Q)



Şekil 3.6. Çerçeve sistemi ve yük durumları gösterimi

3.4.1. Burkulma boyu yöntemiyle tasarımın yapılması

Burkulma Boyu yöntemine göre sınır durumların incelenmesi:

a) BB yönteminin ilk sınır şartı olan “düşey yükler düşey çerçeveler tarafından taşınmalı” şartını sağlar.

b) $B_2 \leq 1.5$ olduğu varsayılmıştır ve hesap sonunda kontrol edilecektir.

Çerçeve elemanlarının kesit özellikleri Tablo 3.7’de verilmiştir.

Tablo 3.7. Çerçeve elemanları kesit özellikleri

Kesit Özellikleri	HE400B(Kolon)	IPE450(Kiriş)
A_g :Kayıpsız enkesit alanı mm^2	19800	9880
h:etkin kesit yüksekliği mm	298	378.8
b_f :Başlık genişliği mm	300	300
t_w :Gövde kanlığı mm	13.5	9.4
t_f :Başlık kalınlığı mm	24	14.6
i_x :atalet yarıçapı mm	170.8	184.8
i_y :atalet yarıçapı mm	74	41.2
I_x :Atalet momenti mm^4	$57680(10^4)$	$33740(10^4)$
I_y :Atalet momenti mm^4	$10820(10^4)$	$1676(10^4)$
W_{px} :Plastik mukavemet momenti mm^3	$3231(10^3)$	$1702(10^3)$
W_{ex} :Elastik mukavemet momenti mm^3	$2884(10^3)$	$1500(10^3)$
J: Burulma sabiti mm^4	$355(10^4)$	$66.87(10^4)$
C_w : Çarpılma sabiti mm^6	$3817152(10^6)$	$791005(10^6)$

K katsayısı, çerçeve sistemin yatay ötelemesi tutulu olmadığı için, Şekil 3.3. nomogramı kullanılarak ve bölüm 3.2.4.3’deki varsayımlar dikkate alınarak hesaplanacaktır. Hesap detayları Tablo 3.8’de sunulmuştur.

Tablo 3.8. Çerçeve örneği K katsayısı hesabı

A Kolonu	B Kolonu
G_A :Kolon üst, G_B :Kolon alt düğüm noktalarını ifade eder.	G_A :Kolon üst, G_B :Kolon alt düğüm noktalarını ifade eder.
$G_A = \frac{\sum(E_c I_c / L_c)}{\sum(E_g I_g / L_g)}$	$G_A = \frac{\sum(E_c I_c / L_c)}{\sum(E_g I_g / L_g)}$
E sabit olarak alınacaktır. Kiriş rijitliği 2/3(0.67) ile azaltılacaktır.	E sabit olarak alınacaktır. Kiriş rijitliği 2/3(0.67) ile azaltılacaktır.
$G_A = \frac{57680 \cdot 10^4 / 6000}{0.67 \cdot 33740 \cdot 10^4 / 9000} = 3.85$	$G_A = \frac{57680 \cdot 10^4 / 6000}{0.67 \cdot 33740 \cdot 10^4 / 9000} = 3.85$
$G_B = 10$ olarak alınır.	$G_B = 10$ olarak alınır.
$K_A = \sqrt{\frac{G_A(1.6G_B + 4.0) + (4G_B + 7.5)}{G_A + G_B + 7.5}}$	$K_B = \sqrt{\frac{G_A(1.6G_B + 4.0) + (4G_B + 7.5)}{G_A + G_B + 7.5}}$
$= \sqrt{\frac{3.85(1.6 \cdot 10 + 4.0) + (4 \cdot 10 + 7.5)}{3.85 + 10 + 7.5}}$	$= \sqrt{\frac{3.85(1.6 \cdot 10 + 4.0) + (4 \cdot 10 + 7.5)}{3.85 + 10 + 7.5}}$
$K_A = 2.41$	$K_B = 2.41$

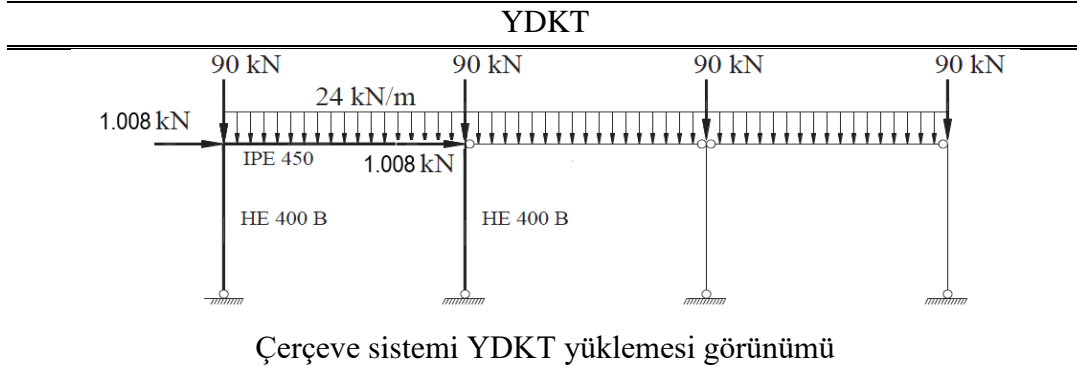
GKT ve YDKT yükleme durumlarından elemanlara gelen yük değerlerinin hesabı ve stabilite tasarımları yapılacaktır. Stabilite tasarımında geometrik ön kusurların dikkate alınmasında fiktif yük prensibi uygulanacaktır. BB yöntemi ile stabilite tasarımı yapıldığı durumlarda geometrik ön kusurların fiktif yük olarak dikkate alınması durumunda yatay yüklerin bulunmadığı kombinasyonlar dikkate alınmaktadır. Bu nedenle YDKT ve GKT yükleme durumları (kombinasyonlar) için elverişsiz durumu düşey yükler oluşturacaktır. YDKT ve GKT yük durumlarından elemanlara gelen yükler ve fiktif yük hesabı Tablo 3.9’da gösterilmiştir.

Tablo 3.9. YDKT ve GKT yükleme durumları için elemanlara gelen yüklerin belirlenmesi

YDKT	GKT
$w_u = 1.2w_g + 1.6w_q$ $=1.2(4)+1.6(12)=24\text{kN/m}$	$w_a=w_g + w_q$ $=4+12=16\text{kN/m}$
$P_u = 1.2P_g + 1.6P_q$ $=1.2(15)+1.6(45)=90\text{kN}$	$P_a = P_g + P_q$ $=15+45=60\text{kN}$
<p>Bu yükler, sistem analizinde kullanılmak üzere, YDKT için $\alpha =1$ katsayısı ile, GKT yüklemesi için $\alpha =1.6$ katsayısı ile çarpılacaktır.</p>	
$\alpha=1$ $w_u=1(24)=24\text{kN/m}$ $P_u=1(90)=90\text{ kN}$	$\alpha=1.6$ $w_a=1.6(16)=25.6\text{kN/m}$ $P_a = 1.6(60) = 96\text{kN}$
<p>Geometrik önkusurların stabiliteye etkileri fiktif kuvvetler kullanılarak hesaba katılacaktır.</p> $N_i=0.002\alpha Y_i$ <p>Sistemin düğüm noktalarının konumundaki geometrik ön kusurları temsil eden yatay fiktif yükler, YDKT ve GKT yük birleşimleri için ayrı ayrı olmak üzere, hesaplanacaktır.</p>	
$\alpha=1$ $Y_i = 24(3)(9) + 90(4) = 1008\text{kN}$ $N_i = 0.002(1)(1008) = 2.016$	$\alpha=1.6$ $Y_i = 16(3)(9) + 60(4) = 672\text{kN}$ $N_i = 0.002(1.6)(672) = 2.150\text{kN}$
<p>Bulunan fiktif yük değerlerini yatayda taşıyıcı olan A ve B kolonları taşıyacaktır. A ve B kolon rijitlikleri eşdeğer olduğundan fiktif yükler ikiye bölünerek elemanlara yüklenebilir.</p>	

YDKT yüklemesinden oluşan birinci merteye analiz sonuçları Tablo 3.10'da gösterilmiştir.

Tablo 3.10. Birinci merteye YDKT yüklemesi analiz sonuçları

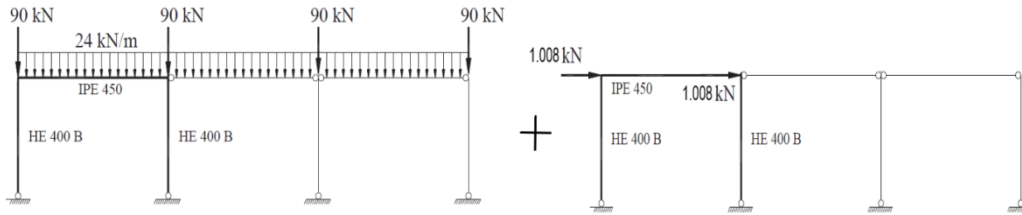


Yatay taşıyıcı çerçeve sistemi oluşturan kolon elemanları A ve B kolonlarıdır. Bu nedenle stabilite tasarımında A ve B elemanları incelenecektir. Elemanların moment değerlerindeki işaretler, pozitif veya negatif moment oluştuğunu, aksel kuvvetlerdeki işaretler negatif(-) basıncı(B); pozitif(+) işaret çekmeyi(Ç) ifade eder.

Birinci merteye analiz sonuçları

	A Kolonu	B Kolonu
Üst uç moment(kNm)	121.82	-133.92
Alt uç moment(kNm)	0	0
Eksenel Kuvvet(kN)	-196.66(B)	-307.34(B)
Kesme(kN)	-20.3	22.32
Üst uç deplasman(mm)	1.556	1.467

Yaklaşık ikinci merteye analiz yöntemi ile tasarımda çerçeve sistemi düşey yükler altında yer değiştirme yapmadığı varsayımı ile iki yükleme durumuna ayrılacaktır. Sadece düşey yüklerin etkidiği ve sadece yatay yüklerin etkidiği sistem olmak üzere;



YDKT yüklemesi çerçeve sistemi ayırımı

Düşey ve yatay yüklemelerden SAP2000 programıyla elde edilen birinci merteye analiz sonuçları(YDKT)

Sadece düşey yüklerden oluşan sonuçlar	Sadece fiktif yüklerden oluşan sonuçlar
A Kolunu Moment: 127.87kNm(üst uç)	A Kolunu Moment: -6.05kNm(üst uç)
B Kolunu Moment: -127.87kNm(üst uç)	B Kolunu Moment: -6.05kNm(üst uç)
A Kolunu aksel: -198kN(B)	A Kolunu aksel: 1.34kN(Ç)
B Kolunu aksel: -306kN(B)	B Kolunu aksel: -1.34kN(B)

3.4.1.1. YDKT yüklemesi durumunda yaklaşık ikinci mertebe etkilerin belirlenmesi

Yaklaşık ikinci mertebe etkilerin belirlenebilmesi için;

$$M_r = B_1 M_{nt} + B_2 M_{lt} \text{ ve } P_r = P_{nt} + B_2 P_{lt}$$

denklemlerindeki B_1 ve B_2 katsayılarını belirlenmesi gerekir. YDKT yüklemesi için katsayıların hesabı Tablo 3.11 de gösterilmiştir.

Tablo 3.11. YDKT yüklemesi B katsayıları hesabı

B_1	B_2
$B_1 = \frac{C_m}{1 - \frac{\alpha P_r}{P_{el}}} \geq 1$	$B_2 = \frac{1}{1 - \frac{\alpha P_{kat}}{P_{e,kat}}} \geq 1$
<p>Sistemin yatayda yer değiştirmedeği durum(sadece düşey yüklerden oluşan etkiler) incelendiğinden C_m katsayısı aşağıdaki gibi hesaplanır.</p> $C_m = 0.6 - 0.4(M_1 / M_2)$ $C_m = 0.6 - 0.4(0/121.82) = 0.6$ olarak bulunur ancak eğilme düzleminde mesnetler arasında yanal yüklerin etkideği elemanlarda $C_m = 1$ alınması önerilmektedir. Güvenli bölgede kalınarak $C_m = 1$ alınabilir. $P_e = \frac{\pi^2 EI}{(K_1 L)^2} = \frac{\pi^2 200000(57680)(10^4)}{(1(6000))^2}$ $P_e = 31626.6 \text{ kN}$ <p>P_e: Eleman uç noktalarının yanal yerdeğiştirme yapmadığı varsayımı altında hesaplanan düzlemdeki elastik burkulma burkulma yükü olduğundan K_1 katsayısı Şekil 3.4 ile gösterilen nomogramdan hesaplanmalı ancak yönetmelik gereği burkulma analizi ile kanıtlanmadıkça $K < 1$ alınması uygun değildir. Bu nedenle $K_1 = 1$ alınacaktır.</p> <p>B kolonu için:</p> $P_r = P_{nt} + P_{lt} = (-306) + (-1.34) = -307.34 \text{ kN}$ $B_1 = \frac{1}{1 - \frac{307.34}{31626.6}} = 1.010 > 1$ <p>A Kolonu için:</p> $P_r = P_{nt} + P_{lt} = (-198) + (1.34) = -196.66 \text{ kN}$ $B_1 = \frac{1}{1 - \frac{196.66}{31626.6}} = 1.006 > 1$	<p>P_{kat}, P_{mf}: Gelen düşey yükleri ifade ettiğinden sadece düşey yüklerin olduğu yüklemekten alınmıştır. (Düşey ve yatay yüklerin bulunduğu sistemden alınsa da R_M sonucu değişmez.)</p> <p>Δ_H: Düşey ve yatay yüklerin bulunduğu yüklemekten alınmıştır. Deplasmanı en büyük olan, A kolonu deplasmanı kullanılmıştır. Tüm sistem için aynı B_2 katsayısı kullanılacaktır.</p> $P_{kat} = 1008 \text{ kN}$ $R_M = 1 - 0.15(P_{mf}/P_{kat})$ $R_M = 1 - 0.15\left(\frac{198 + 306}{1008}\right)$ $R_M = 0.925$ $P_{e,kat} = R_M \frac{HL}{\Delta_H}$ $P_{e,kat} = 0.925 \frac{2.016(6000)}{1.556}$ $P_{e,kat} = 7190.7 \text{ kN}$ $B_2 = \frac{1}{1 - \frac{1008}{7190.7}} = 1.163$ <p>$B_2 = 1.163 < 1.5$ olduğundan burkulma boyu yöntemi uygulanabilir.</p>

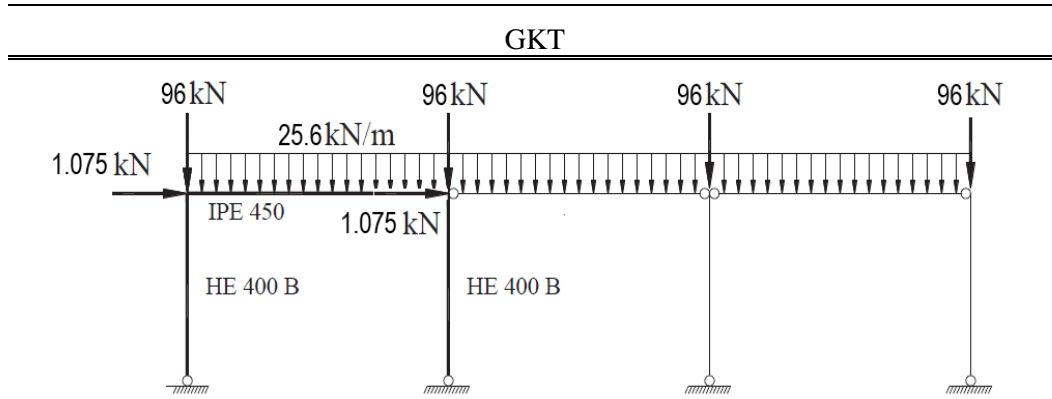
İkinci mertebe etkilerini de içeren iç kuvvetlerin hesabı Tablo 3.12 ile gösterilmiştir.

Tablo 3.12. YDKT yüklemesi ikinci mertebe değerlerinin belirlenmesi

$M_{rA}=B_1M_{nt} + B_2M_{lt}$	$P_{rA}=P_{nt} + B_2P_{lt}$
$M_{rA}=1.006(127.87)+1.163(-6.05)$	$P_{rA}=-198+1.163(-1.34)$
$M_{rA}=121.6\text{kNm}$	$P_{rA}=-196.44\text{kN}$
$M_{rB}=B_1M_{nt} + B_2M_{lt}$	$P_{rB}=P_{nt} + B_2P_{lt}$
$M_{rB}=1.01(-127.87)+1.163(-6.05)$	$P_{rB}=-306+1.163(-1.34)$
$M_{rB}=-136.18\text{kNm}$	$P_{rB}=-307.56\text{kN}$

GKT yüklemesinden oluşan birinci mertebe analiz sonuçları Tablo 3.13'te gösterilmiştir.

Tablo 3.13. Birinci mertebe GKT yüklemesi analiz sonuçları



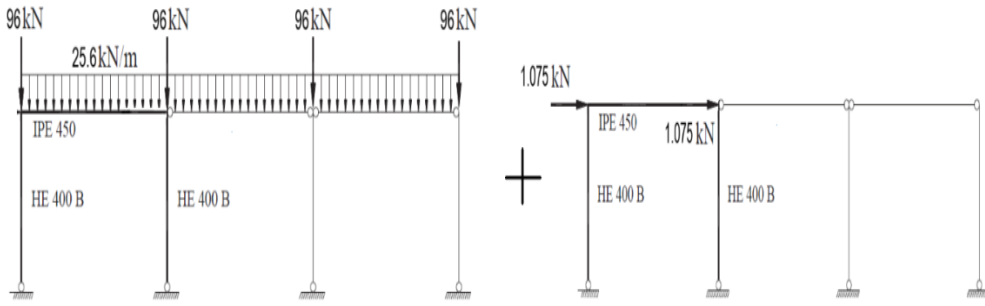
Çerçeve GKT yüklemesi görünümü

Yatay taşıyıcı çerçeve sistemi oluşturan kolon elemanları A ve B kolonlarıdır. Bu nedenle stabilize tasarımında A ve B elemanları incelenecektir. Elemanların moment değerlerindeki işaretler pozitif veya negatif moment oluşturduğunu, eksenel kuvvetlerde ki işaretler negatif(-), basıncı(B); pozitif(+) işaret çekmeyi(Ç) ifade eder. GKT yönteminde $\alpha=1.6$ kat yüklemelerinden oluşan değerler ve değerlerin $\alpha=1.6$ katsayısına bölünmesiyle gerçek değerlerin bulunması gösterilmiştir.

Tablo 3.13. (Devam) Birinci merteye GKT yüklemesi analiz sonuçları

GKT yüklemesi birinci merteye değerleri

	A Kolonu	B Kolonu	A/1.6	B/1.6
Üst uç moment(kNm)	129.94	-142.85	81.21	-89.28
Alt uç moment(kNm)	0	0	0	0
Eksenel Kuvvet(kN)	-209.77	-327.83	-131.11	-204.89
Kesme(kN)	-21.66	23.81	-13.54	14.88
Üst uç deplasman(mm)	1.66	1.564	1.04	0.98



GKT yüklemesi çerçeve sistemi ayrımı

Düşey ve yatay yüklemelerden SAP2000 programıyla elde edilen birinci merteye analiz sonuçları(GKT)

Sadece düşey yüklerden oluşan değerler	Sadece yatay yüklerden oluşan değerler
$M_A: 136.39 \text{ kNm} (136.39/1.6=85.24)$	$M_A: -6.45 \text{ kNm} (6.45/1.6=-4.03)$
$M_B: -136.9 \text{ kNm} (136.39/1.6=-85.24)$	$M_B: -6.45 \text{ kNm} (6.45/1.6=-4.03)$
$P_A: -211.2 \text{ kN} (211.2/1.6=-132)(B)$	$P_A: 1.43 \text{ kN} (1.43/1.6=0.89)(Ç)$
$P_B: -326.4 \text{ kN} (326.4/1.6=-204)(B)$	$P_B: -1.43 \text{ kN} (1.43/1.6=-0.89)(B)$

3.4.1.2. GKT yüklemesi durumunda yaklaşık ikinci merteye etkilerin belirlenmesi

Yaklaşık ikinci merteye etkilerin belirlenebilmesi için;

$$M_r = B_1 M_{nt} + B_2 M_{lt}$$

$$P_r = P_{nt} + B_2 P_{lt}$$

denklemlerindeki B_1 ve B_2 katsayılarını belirlenmesi gerekir. GKT yüklemesi için katsayıların hesabı Tablo 3.14 ile gösterilmiştir.

Tablo 3.14. GKT yüklemesi B katsayılarının hesabı

B_1	B_2
$B_1 = \frac{C_m}{1 - \frac{\alpha P_r}{P_{e1}}} \geq 1$	$B_2 = \frac{1}{1 - \frac{\alpha P_{kat}}{P_{e,kat}}} \geq 1$
<p>Sistemin yatayda yer değiştirmedeği durum(sadece düşey yüklerden oluşan etkiler) incelendiğinden C_m katsayısı aşağıdaki gibi hesaplanır.</p> <p>$C_m=0.6-0.4(M_1/M_2)$ $C_m=0.6-0.4(0/89.28)=0.6$</p> <p>olarak bulunur ancak eğilme düzleminde mesnetler arasında yanal yüklerin etkideği elemanlarda $C_m=1$ alınması önerilmektedir. Güvenli bölgede kalınarak $C_m=1$ alınabilir.</p> <p>$P_e = \frac{\pi^2 EI}{(K_1 L)^2} = \frac{\pi^2 200000(57680)(10^4)}{(1(6000))^2}$</p> <p>$P_e=31626.6\text{kN}$</p> <p>$P_e$:Eleman uç noktalarının yanal yerdeğiştirme yapmadığı varsayımı altında hesaplanan düzlemdeki elastik burkulma burkulma yükü olduğundan K_1 katsayısı Şekil 3.4 ile gösterilen nomogramdan hesaplanmalı ancak yönetmelik gereği burkulma analizi ile kanıtlanmadıkça $K < 1$ alınması uygun değildir. $K_1=1$</p> <p>B kolunu:</p> <p>$P_r=P_{nt} + P_{lt}=(-326.4)+(-1.43)$ $=-327.83\text{kN}$</p> <p>$B_1 = \frac{1}{1 - \frac{327.83}{31626.6}} = 1.010 > 1$</p> <p>A Kolunu:</p> <p>$P_r=P_{nt} + P_{lt}=(-211)+(1.43)=-209.57\text{kN}$</p> <p>$B_1 = \frac{1}{1 - \frac{209.57}{31626.6}} = 1.007 > 1$</p>	<p>P_{kat}, P_{mf}: Gelen düşey yükleri ifade ettiğinden Sadece düşey yüklerin olduğu yüklemeye alınmıştır.(Düşey ve yatay yüklerin bulunduğu sistemden alınsa da R_M sonucu değişmez.)</p> <p>Δ_H: Düşey ve yatay yüklerin bulunduğu yüklemeye alınmıştır. Deplasmanı en büyük olan A kolon deplasmanı kullanılmıştır. Tüm sistem için aynı B_2 katsayısı kullanılacaktır.</p> <p>$\alpha P_{kat}=1.6(672)=1075.2\text{ kN}$</p> <p>$R_M = 1 - 0.15(P_{mf}/P_{kat})$</p> <p>$R_M = 1 - 0.15\left(\frac{132 + 204}{672}\right)$</p> <p>$R_M=0.925$</p> <p>$P_{e,kat} = R_M \frac{HL}{\Delta_H}$</p> <p>$P_{e,kat} = 0.925 \frac{2.15(6000)}{(1.66/1.6)}$</p> <p>$P_{e,kat}=11501.2\text{ kN}$</p> <p>$B_2 = \frac{1}{1 - \frac{1075.2}{11501.2}} = 1.103$</p> <p>$B_2=1.103 < 1.5$</p> <p>olduğundan burkulma boyu yöntemi uygulanabilir.</p>

İkinci mertbe etkilerini içeren iç kuvvetlerin hesabı Tablo 3.15 ile gösterilmiştir.

Tablo 3.15. GKT yüklemesi ikinci mertebe değerlerinin belirlenmesi

$M_{rA}=B_1M_{nt} + B_2M_{lt}$	$P_{rA}=P_{nt} + B_2P_{lt}$
$M_{rA}=1.007(85.24)+1.103(-4.03)$	$P_{rA}=(-132)+1.103(0.89)$
$M_{rA}=81.39\text{kNm}$	$P_{rA}=-131.02\text{kN}$
$M_{rB}=B_1M_{nt} + B_2M_{lt}$	$P_{rB}=P_{nt} + B_2P_{lt}$
$M_{rB}=1.01(-85.24)+1.103(-4.03)$	$P_{rB}=(-204)+1.103(-0.89)$
$M_{rB}=-90.53\text{kNm}$	$P_{rB}=-204.98\text{kN}$

3.4.1.3. Burkulma boyu yöntemi ile ÇYTHYE'ye göre kolonların tasarımı

C ve D kolonları ile B-C ve C-D aksları arasındaki kirişler iki ucu mafsallı elemanlar olduğundan sistem stabilitesine katkıları bulunmamaktadır (pandül kolonlar). Bu nedenle, C ve D kolonlarının kesit hesapları, aksel kuvvetlerine bağlı olarak ve $K=1$ alınarak yapılır. A ve B kolonlarının tasarımı için belirlenen $K=2.41$ katsayısı kullanılacaktır. HE400B enkesitine sahip A ve B kolonları için tasarım yapılacaktır. C ve D kolonlarının stabiliteye katkısı olmadığından tasarımları yapılmayacaktır.

HE400B enkesitli elemanın karakteristik basınç kuvveti dayanımının belirlenmesi:

ÇYTHYE-2016 yönetmeliği bölüm 5.4 uyarınca, Yerel burkulma sınır durumu için enkesit sınıflandırılması:

Başlık parçası (ÇYTHYE Tablo 5.1, Durum 1)

$$\lambda = \frac{b}{t} = \frac{b_f}{2t_f} = \frac{300}{2(24)} = 6.25 \leq \lambda_r = 0.56 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0.56 \sqrt{\frac{200000}{275}} = 15.1$$

Gövde parçası (ÇYTHYE Tablo 5.1A, Durum 5)

$$\lambda = \frac{h}{t_w} = \frac{298}{13.5} = 22.07 \leq \lambda_r = 1.49 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1.49 \sqrt{\frac{200000}{275}} = 40.18$$

Yerel burkulma sınır durumuna göre enkesit, başlık ve gövde parçalarının genişlik/kalınlık oranları ÇYTHYE Tablo 5.1A da verilen λ_r sınır değerini aşmadığından narin olmayan enkesit olarak değerlendirilir.

ÇYTHYE Bölüm 8.2.1 uyarınca, eleman aksel basınç kuvveti dayanımını, x (güçlü eksen) ve y asal eksenleri (zayıf eksen) etrafında eğilmeli burkulma sınır durumları esas alınarak hesaplanan dayanımların küçüğü belirleyecektir.

Eğilmeli burkulma sınır durumunda asal eksenlere göre eleman burkulma boyları

$$L_{cx} = K_x L_x = 2.41(6000) = 14460$$

$$L_{cy} = K_y L_y = 1(6000) = 6000$$

Narinlik oranları,

$$\frac{L_{cx}}{i_x} = \frac{14460}{170.8} = 84.66 \leq 200$$

$$\frac{L_{cy}}{i_y} = \frac{6000}{74} = 81 \leq 200$$

ÇYTHYE Bölüm 8.1.1 uyarınca, narinlik oranları $L_c/i \leq 200$ koşulunu sağlamaktadır.

Eğilmeli burkulma sınır durumunda karakteristik basınç kuvveti dayanımı, P_n ,

$$(L_c/i)_{maks} = \left(\frac{L_{cx}}{i_x}; \frac{L_{cy}}{i_y} \right)_{maks} = (84.66; 81)_{maks} = 84.66$$

olduğundan, elemanın aksenal basınç kuvveti dayanımını, x- asal eksenindeki K katsayısı nedeniyle eğilmeli burkulma sınır durumu belirleyecektir. Eğilmeli burkulma sınır durumunda kritik burkulma gerilmesi F_{cr} için elastik burkulma gerilmesi, F_e ;

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{L_{cx}}{i_y} \right)^2} = \frac{\pi^2 (200000)}{(84.66)^2} = 275.41 \text{ N/mm}^2$$

ÇYTHYE Bölüm 8.2 uyarınca,

$$84.66 \leq 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 4.71 \sqrt{\frac{200000}{275}} = 127.02$$

olduğundan,

$$F_{cr} = \left[(0.658)^{\frac{F_y}{F_e}} \right] F_y = \left[(0.658)^{\frac{275}{275.41}} \right] 275 = 181.06 \text{ N/mm}^2$$

Karakteristik basınç kuvveti dayanımı, P_n

$$P_n = F_{cr} A_g = 181.06(19800) = 3585 \text{ kN}$$

HE4000B enkesitli elemanın karakteristik eğilme momenti dayanımının belirlenmesi:

HE400B karakteristik eğilme momenti dayanımının x-ekseni(güçlü eksen) etrafında eğilme durumunda belirlenmesi, ÇYTHYE bölüm 5.4 uyarınca, yerel burkulma sınır durumu için enkesit sınıflandırılması:

Başlık parçası (ÇYTHYE Tablo5.1.B, Durum10)

$$\lambda = \frac{b}{t} = \frac{b_f}{2t_f} = \frac{300}{2(24)} = 6.25 \leq \lambda_p = 0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0.38 \sqrt{\frac{200000}{275}} = 10.25$$

Gövde parçası (ÇYTHYE Tablo 5.1A, Durum 5)

$$\lambda = \frac{h}{t_w} = \frac{298}{13.5} = 22.07 \leq \lambda_p = 3.76 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 3.76 \sqrt{\frac{200000}{275}} = 101.40$$

Yerel burkulma sınır durumuna göre enkesitin başlık ve gövde parçalarının genişlik/kalınlık oranları ÇYTHYE Tablo 5.1B de verilen λ_r sınır değerini aşmadığından, enkesit kompakt olarak değerlendirilir.

Bu durumda, kuvvetli asal eksen etrafında eğilme etkisindeki, çift simetrik I-enkesitli elemanın karakteristik eğilme momenti dayanımı, M_n ÇYTHYE bölüm 9.2 uyarınca belirlenecektir.

Akma sınır durumunda karakteristik eğilme momenti dayanımı, M_n

$$M_n = M_p = F_y W_{px} = 275(3231)10^{-3} = 888.53 \text{ kNm}$$

Yanal burulmalı burkulma sınır durumunda karakteristik eğilme dayanımı, M_n

HE400B başlığının yanal burulmalı burkulmaya karşı desteklenmeyen uzunluğu, $L_b = 6000 \text{ mm}$ olarak belirlenir.

$$L_p = 1.76 i_y \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1.76(74) \sqrt{\frac{200000}{275}} = 3559 \text{ mm} < L_b = 6000 \text{ mm}$$

C=1.0

$$i_{ts} = \frac{b_f}{\sqrt{12 \left(1 + \frac{1}{6} \frac{h t_w}{b_f t_f}\right)}} = \frac{300}{\sqrt{12 \left(1 + \frac{1}{6} \frac{298(13.5)}{300(24)}\right)}} = 82.83 \text{ mm}$$

$$h_o = d - t_f = 400 - 24 = 376 \text{ mm}$$

Değerleri ile elastik olmayan yanal burkulma sınır uzunluk değeri L_r hesaplanır.

$$L_r = 1.95i_{ts} \frac{E}{0.7F_y} \sqrt{\frac{J_c}{W_{ex}h_o} + \sqrt{\left(\frac{J_c}{W_{ex}h_o}\right)^2 + 6.76\left(\frac{0.7F_y}{E}\right)^2}}$$

$$= 1.95(82.83) \frac{200000}{0.7(275)} \sqrt{\frac{355(10^4)}{2884(10^3)(376)} + \sqrt{\left(\frac{355(10^4)}{2884(10^3)(376)}\right)^2 + 6.76\left(\frac{0.7(275)}{200000}\right)^2}}$$

$$= 14430 \text{ mm}$$

$$L_p = 3559 \text{ mm} < L_b = 6000 \text{ mm} < L_r = 14430 \text{ mm}$$

olduğundan, karakteristik eğilme momenti dayanımı M_n , ÇYTHYE bölüm 9.2.2 uyarınca belirlenir.

Yanal stabilite bağlantısı ile desteklenen noktalar arasındaki eleman uzunluğu $L_b=6000\text{mm}$, boyunca eğilme momenti M_{maks} , M_A, M_B ve M_C momentleri ile ÇYTHYE bölüm 9.1(c) uyarınca, moment düzeltme katsayısı, C_b belirlenir.

$$C_b = \frac{12.5M_{maks}}{2.5M_{maks} + 3M_A + 4M_B + 3M_C}$$

Kolon moment dağılımı üçgen moment diyagramı oluşturduğundan momentleri ifade eden değerler, en büyük momentin (M_{maks}) oranı şeklinde yazılmıştır.

$$C_b = \frac{12.5(1)}{2.5(1) + 3(0.25) + 4(0.5) + 3(0.75)} = 1.667$$

$$M_n = C_b \left[M_p - (M_p - 0.7F_y W_{ex}) \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \leq M_p$$

$$M_n = 1.667 \left[888.53 - (888.53 - 0.7(275)2884(10^{-3}) \left(\frac{6000 - 3559}{14430 - 6000} \right) \right]$$

$$M_n = 1213.2 \text{ kNm} \leq M_p = 888.53 \text{ kNm}$$

olduğundan, yanal burulmalı burkulma sınır durumunda karakteristik moment dağılımı, M_n

$$M_n = M_p = 888.53 \text{ kNm}$$

ÇYTHYE bölüm 9.2 uyarınca, en küçük eğilme momenti dayanımı M_n , akma sınır durumunda elde edildiğinden, dayanım hesabında bu sınır durum belirleyicidir.

YDKT ve GKT yöntemleri için kolonların dayanım sınır durumları Tablo 3.16’da hesaplanmıştır.

Tablo 3.16. Burkulma boyu yöntemi kolon tasarımı

YDKT	GKT
Kolonun tasarım basınç kuvveti dayanımı: $P_d = \phi_c P_n = 0.90(3585) = 3226.5 \text{ kN}$	Kolonun tasarım basınç kuvveti dayanımı: $P_d = P_n / \Omega_c = 3585 / 1.67 = 2146.7 \text{ kN}$
Kolonun tasarım eğilme momenti dayanımı: $M_d = \phi_c M_n = 0.9(888.53) = 799.68 \text{ kNm}$	Kolonun tasarım eğilme momenti dayanımı: $M_d = M_n / \Omega_c = 888.53 / 1.67 = 532 \text{ kNm}$

3.4.1.4. Bileşik etkilerin dikkate alınması

A ve B kolonlarının bileşik etkilerinin dikkate alınması ÇYTHYE Bölüm 11.1’e göre Tablo 3.17 ve Tablo 3.18 ile gösterilmiştir.

Tablo 3.17. A Kolonu için YDKT ve GKT yüklemesi kapasite oranı

YDKT	GKT
$P_r / P_c = (196.44 / 3326.5) = 0.06 < 0.2$ olduğundan ÇYTHYE 11.1b denklemi kullanılacaktır.	$P_r / P_d = (130.96 / 2146.7) = 0.06 < 0.2$ olduğundan ÇYTHYE 11.1b denklemi kullanılacaktır.
$Kapasite Oranı: \frac{P_r}{2P_c} + \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right),$ $M_{ry} = 0$ $K.O.: \frac{196.44}{2(3326.5)} + \left(\frac{121.6}{799.68} \right)$ $K.O. = 0.03 + 0.152 = 0.182$	$Kapasite Oranı: \frac{P_r}{2P_c} + \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right),$ $M_{ry} = 0$ $K.O.: \frac{131.02}{2(2146.7)} + \left(\frac{81.39}{532} \right)$ $K.O. = 0.031 + 0.153 = 0.184$
0.182 < 1 için oran sağlanır.	0.184 < 1 için oran sağlanır.

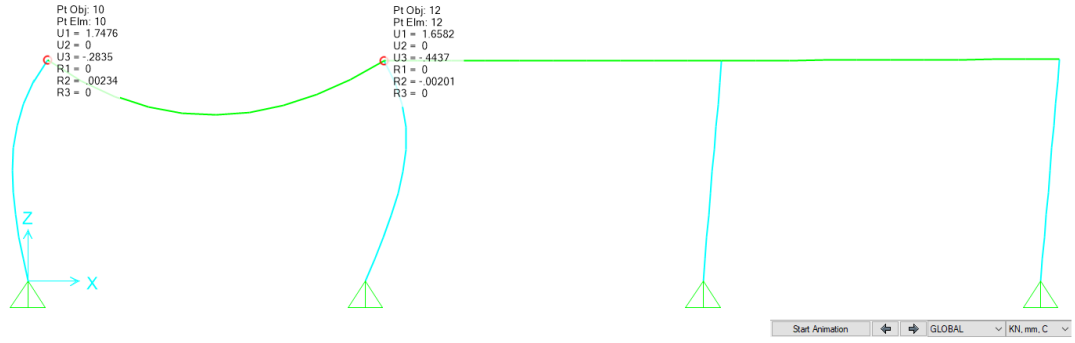
Tablo 3.18. B Kolonu için YDKT ve GKT yüklemesi kapasite oranı

YDKT	GKT
$P_r/P_c=(307.56/3326.5)=0.09<0.2$ olduğundan ÇYTHYE 11.1b denklemi kullanılacaktır.	$P_r/P_d=(205.04/2146.7)=0.10<0.2$ olduğundan ÇYTHYE 11.1b denklemi kullanılacaktır.
$Kapasite Oranı: \frac{P_r}{2P_c} + \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right),$ $M_{ry}=0$ $K.O.: \frac{307.56}{2(3326.5)} + \left(\frac{136.18}{799.68} \right)$ $K.O.=0.05+0.170=0.22$	$Kapasite Oranı: \frac{P_r}{2P_c} + \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right),$ $M_{ry}=0$ $K.O.: \frac{204.98}{2(2146.7)} + \left(\frac{90.53}{532} \right)$ $K.O.=0.05+0.170=0.22$
0.22<1 için oran sağlanır.	0.22<1 için oran sağlanır.

3.4.1.5. Sap2000 doğrusal olmayan analiz sonuçları

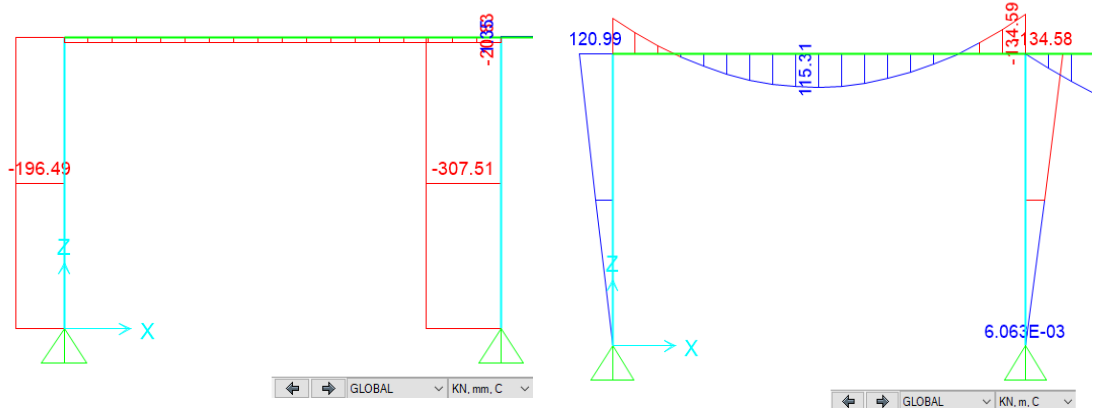
Programaya eleman öz kütleleri dahil edilmemiştir. Hesaplanan Burkulma boyu katsayısı $K=2.41$ olarak programa elle girilmiştir. YDKT ve GKT yöntemleri için sap2000 sonuçları Tablo 3.19 ve Tablo 3.20 ile gösterilmiştir.

Tablo 3.19. Burkulma Boyu yöntemi YDKT yüklemesi doğrusal olmayan analizi sonuçları



Burkulma boyu YDKT yüklemesi ikinci mertbe analizi sistem deplasmanı

$$B_2 = \Delta_2 / \Delta_1 = 1.748 / 1.556 = 1.12$$



YDKT ikinci mertbe eksenel kuvvet

YDKT ikinci mertbe moment

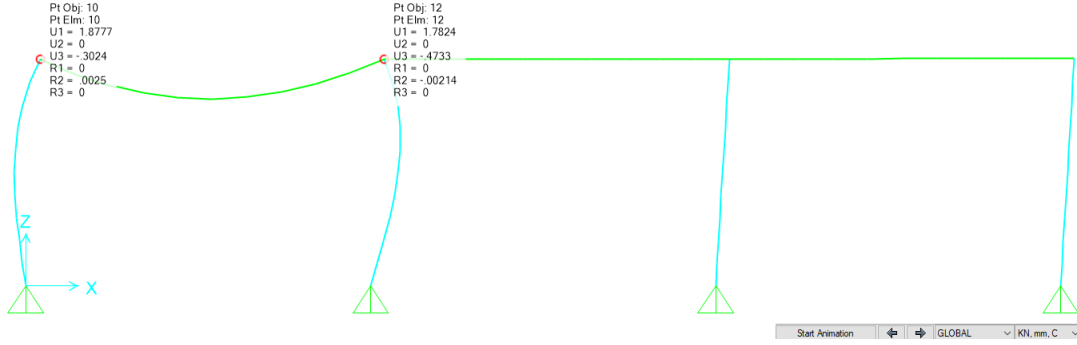
$$P_{rA} = -196.49 \text{ kN}$$

$$M_{rA} = 120.99 \text{ kNm}$$

$$P_{rB} = -307.51 \text{ kN}$$

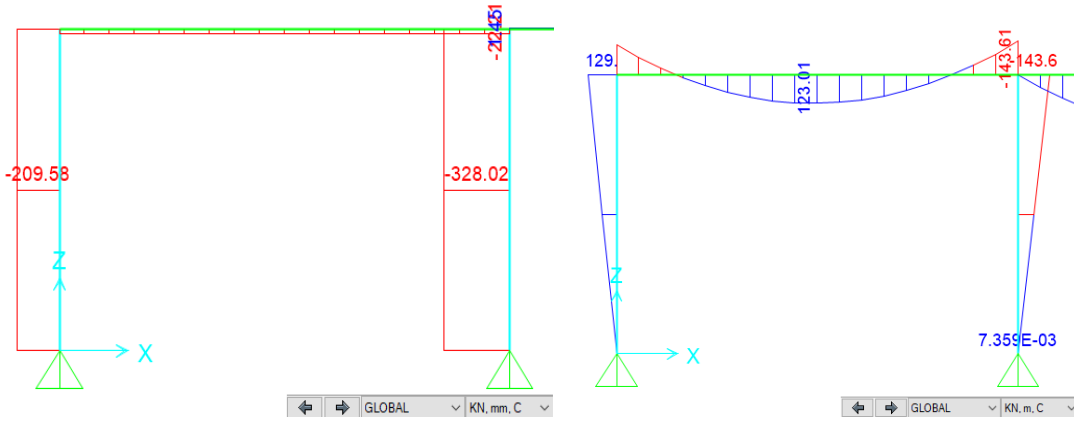
$$M_{rB} = -134.58 \text{ kNm}$$

Tablo 3.20. Burkulma Boyu yöntemi GKT yüklemesi doğrusal olmayan analizi sonuçları



Burkulma boyu GKT yüklemesi ikinci merteye analizi sistem deplasmanı

$$B_2 = \Delta_2 / \Delta_1 = 1.878 / 1.660 = 1.13$$



GKT ikinci merteye aksenal kuvvet

GKT ikinci merteye moment

$$P_{rA} = -209.58 / 1.6 = -130.99 \text{ kN}$$

$$M_{rA} = 129 / 1.6 = 80.63 \text{ kNm}$$

$$P_{rB} = -328.02 / 1.6 = -205.01 \text{ kN}$$

$$M_{rB} = -143.6 / 1.6 = -89.75 \text{ kNm}$$

Tablo 3.21 ile yaklaşık ikinci merteye analizi ve nonlinear analiz sonuçları özetlenmiştir.

Tablo 3.21. Burkulma Boyu yöntemi yaklaşık ikinci mertebe ile doğrusal olmayan analiz sonuçlarının karşılaştırması.

	BB Yöntemi Yaklaşık İkinci Mertebe Analizi		BB Yöntemi Doğrusal Olmayan Analizi(Sap2000)	
	YDKT	GKT	YDKT	GKT
P_{rA} (kN)	-196.44	-131.02	-196.49	-130.99
P_{rB} (kN)	-307.56	-204.98	-307.51	-205.01
M_{rA} (kNm)	121.6	81.39	120.99	80.63
M_{rB} (kNm)	-136.18	-90.53	-134.58	-89.75
Δ	$\Delta_1=1.556$	$\Delta_1=1.66$	$\Delta_2=1.748$	$\Delta_2=1.878$
(B_2)	$B_2=1.163$	$B_2=1.103$	$\Delta_2/\Delta_1=1.748/1.556$	$\Delta_2/\Delta_1=1.878/1.66$
Δ_2/Δ_1 (mm)	(Denklemler hesabı B_2)	(Denklemler hesabı B_2)	Oran hesabı(B_2) =1.12	Oran hesabı(B_2) =1.13

GKT yük kombinasyonları ile tasarımda 1.6 kat yüklemelerden oluşan değerler tekrardan 1.6 ile bölünerek gösterilmiştir ancak deplasman değerlerinde orandan oluşacak fark olmadığından bölünmeden aynen kullanılmıştır. Yaklaşık ikinci mertebe analizinde B_1 ve B_2 katsayıları ile işlem yapıldığından katsayılar denklemlerden elde edilir. Doğrusal olmayan analizde şekil değiştirmeler dikkate alındığından B_1 'in hesaplanmasına ihtiyaç yoktur, B_2 katsayısı ise oran (ikinci mertebe deplasmanı/ birinci mertebe deplasmanı) ile bulunur.

3.4.2. Genel analiz yöntemiyle tasarımın yapılması

YDKT ve GKT yük birleşimleri altındaki sistemlerin GA yöntemiyle stabilite tasarımında, doğrusal olmayan şekil değiştirmelerin etkisini yaklaşık olarak dikkate almak üzere, eleman rijitlikleri azaltılması gerekmektedir. Kolon aksel değerlerinin aksel kapasitelerine oranının $\alpha P_r/P_{ns} \leq 0.5$ koşulunun sağladığı varsayılmıştır. Elemanların eğilme, kesme ve aksel rijitlikleri 0.8 katsayısı ile çarpılarak azaltılmıştır. Analiz sonunda varsayılan koşulun sağlayıp sağlamadığı kontrol edilecektir.

Burkulma boyu yönteminde yapılan yaklaşık ikinci merteye analizi ile genel analiz yöntemiyle yaklaşık ikinci merteye analizi arasında rijitlik azalması farkı olduğundan yükleme durumlarından oluşan eksenel, kesme ve eğilme momenti değerlerinde kayda değer bir değişim olmayacaktır. Sadece deplasman değerlerinin sonuçları değişecektir. Bu sebeple BB yönteminde bulunan iç kuvvetler ve rijitliği azaltılmış sistem deplasmanı Tablo 3.22’de verilmiştir. Yaklaşık ikinci merteye analizi için yapılan sistem yükleme durumları ayrıntı Tablo 3.23 ve Tablo 3.24 ile sunulmuştur.

Tablo 3.22. Genel analiz yöntemi YDKT ve GKT yüklemeleri birinci merteye analizi

	YDKT		GKT			
	A Kolonu	B Kolonu	A Kolonu	B Kolonu	A/1.6	B/1.6
$M_{üst}$ (kNm)	121.82	-133.92	129.94	-142.85	81.21	-89.28
M_{alt} (kNm)	0	0	0	0	0	0
P (kN)	-196.66(B)	-307.34(B)	-209.77	-327.83	-131.11	-204.89
V (kN)	-20.3	22.32	-21.66	23.81	-13.54	14.88
Δ (mm)	1.936	1.824	2.065	1.945	1.291	1.216

Tablo 3.23. Genel analiz yöntemi YDKT yüklemesi için sistem ayrımı

Düşey ve yatay yüklemelerden SAP2000 programıyla elde edilen birinci merteye analiz sonuçları(YDKT)	
Sadece düşey yüklerden oluşan sonuçlar	Sadece fiktif yüklerden oluşan sonuçlar
A Kolunu Moment: 127.87kNm(üst uç)	A Kolunu Moment: -6.05kNm(üst uç)
B Kolunu Moment: -127.87kNm(üst uç)	B Kolunu Moment: -6.05kNm(üst uç)
A Kolunu eksenel: -198kN(B)	A Kolunu eksenel: 1.34kN(Ç)
B Kolunu eksenel: -306kN(B)	B Kolunu eksenel: -1.34kN(B)

Tablo 3.24. GKT yüklemesi için sistem ayrımı

Düşey ve yatay yüklemelerden SAP2000 programıyla elde edilen birinci merteye analiz sonuçları(GKT)	
Sadece düşey yüklerden oluşan değerler	Sadece yatay yüklerden oluşan değerler
M_A :136.39kNm(136.39/1.6=85.24)	M_A :- 6.45 kNm(6.45/1.6=-4.03)
M_B :-136.9kNm(136.39/1.6=-85.24)	M_B :-6.45kNm(6.45/1.6=-4.03)
P_A :-211.2kN(211.2/1.6=-132)(B)	P_A : 1.43 kN(1.43/1.6=0.89) (Ç)
P_B : -326.4kN(326.4/1.6=-204)(B)	P_B : -1.43 kN(1.43/1.6=-0.89)(B)

3.4.2.1. YDKT yüklemesi durumunda yaklaşık ikinci merteye etkilerin belirlenmesi

Yaklaşık ikinci merteye etkilerin belirlenebilmesi için;

$$M_r = B_1 M_{nt} + B_2 M_{lt}$$

$$P_r = P_{nt} + B_2 P_{lt}$$

denklemlerindeki B_1 ve B_2 katsayılarını belirlenmesi gerekir. YDKT yüklemesi için katsayıların hesabı Tablo 3.25 ile gösterilmiştir.

Tablo 3.25. Genel Analiz Yöntemi YDKT yüklemesi B katsayıları hesabı

B_1	B_2
$B_1 = \frac{C_m}{1 - \frac{\alpha P_r}{P_{el}}} \geq 1$	$B_2 = \frac{1}{1 - \frac{\alpha P_{kat}}{P_{e,kat}}} \geq 1$
<p>Sistemin yatayda yer değiştirmedeği durum(sadece düşey yüklerden oluşan etkiler) incelendiğinden C_m katsayısı aşağıdaki gibi hesaplanır.</p> <p>$C_m = 0.6 - 0.4(M_1 / M_2)$</p> <p>$C_m = 0.6 - 0.4(0 / 121.82) = 0.6$</p> <p>Olarak bulunur ancak eğilme düzleminde mesnetler arasında yanal yüklerin etkidiği elemanlarda $C_m = 1$ alınması önerilmektedir. Güvenli bölgede kalınarak $C_m = 1$ alınabilir.</p> <p>$P_e = \frac{\pi^2 0.8EI}{(K_1 L)^2}$</p> <p>$= \frac{\pi^2 (0.8) 200000 (57680) (10^4)}{(1(6000))^2}$</p> <p>$P_e = 25301.3 \text{ kN}$</p> <p>B kolonu için:</p> <p>$P_r = P_{nt} + P_{lt} = (-306) + (-1.34) = -307.34 \text{ kN}$</p> <p>$B_1 = \frac{1}{1 - \frac{307.34}{25301.3}} = 1.012 > 1$</p> <p>A Kolonu için:</p> <p>$P_r = P_{nt} + P_{lt} = (-198) + (1.34) = -196.66 \text{ kN}$</p> <p>$B_1 = \frac{1}{1 - \frac{196.66}{25301.3}} = 1.008 > 1$</p>	<p>P_{kat}, P_{mf}: Gelen düşey yükleri ifade ettiğinden Sadece düşey yüklerin olduğu yüklemekten alınmıştır.(Düşey ve yatay yüklerin bulunduğu sistemden alınsa da sonuç değişmez.)</p> <p>Δ_H: Düşey ve yatay yüklerin bulunduğu yüklemekten alınmıştır. (GA yöntemi; AISC 360-16'ya uygun olarak rijitlikleri azaltılmış sistem deplasmanı olarak alınmıştır.) Deplasmanı en büyük olan A kolon deplasmanı kullanılmıştır. Tüm sistem için aynı B_2 katsayısı kullanılacaktır.</p> <p>$P_{kat} = 1008 \text{ kN}$</p> <p>$R_M = 1 - 0.15(P_{mf} / P_{kat})$</p> <p>$R_M = 1 - 0.15 \left(\frac{198 + 306}{1008} \right)$</p> <p>$R_M = 0.925$</p> <p>$P_{e,kat} = R_M \frac{HL}{\Delta_H}$</p> <p>$P_{e,kat} = 0.925 \frac{2.016(6000)}{1.936}$</p> <p>$P_{e,kat} = 5779.3 \text{ kN}$</p> <p>$B_2 = \frac{1}{1 - \frac{1008}{5779.3}} = 1.211 > 1$</p>

İkinci merteye etkilerini içeren iç kuvvetlerin hesabı Tablo 3.26 ile gösterilmiştir.

Tablo 3.26. Genel analiz yöntemi YDKT yüklemesi ikinci merteye değerlerinin belirlenmesi

$M_{rA}=B_1M_{nt} + B_2M_{lt}$ $M_{rA}=1.008(127.87)+1.211(-6.05)$ $M_{rA}=121.54\text{kNm}$	$P_{rA}=P_{nt} + B_2P_{lt}$ $P_{rA}=-198+1.211(1.34)$ $P_{rA}=-196.38\text{kN}$
$M_{rB}=B_1M_{nt} + B_2M_{lt}$ $M_{rB}=1.012(-127.87)+1.211(-6.05)$ $M_{rB}=-136.73\text{kNm}$	$P_{rB}=P_{nt} + B_2P_{lt}$ $P_{rB}=-306+1.211(-1.34)$ $P_{rB}=-307.62\text{kN}$

3.4.2.2. GKT yüklemesi durumunda yaklaşık ikinci merteye etkilerin belirlenmesi

Yaklaşık ikinci merteye etkilerin belirlenebilmesi için;

$$M_r=B_1M_{nt} + B_2M_{lt}$$

$$P_r=P_{nt} + B_2P_{lt}$$

denklemlerindeki B_1 ve B_2 katsayılarını belirlenmesi gerekir. YDKT yüklemesi için katsayıların hesabı Tablo 3.27’de gösterilmiştir.

Tablo 3.27. Genel analiz yöntemi GKT yüklemesi B katsayılarının hesabı

B_1	B_2
$B_1 = \frac{C_m}{1 - \frac{\alpha P_r}{P_{e1}}} \geq 1$	$B_2 = \frac{1}{1 - \frac{\alpha P_{kat}}{P_{e,kat}}} \geq 1$
<p>Sistemin yatayda yer değiştirmedeği durum(sadece düşey yüklerden oluşan etkiler) incelendiğinden C_m katsayısı aşağıdaki gibi hesaplanır.</p> $C_m=0.6-0.4(M_1/M_2)$ $C_m=0.6-0.4(0/89.28)=0.6$ <p>olarak bulunur ancak eğilme düzleminde mesnetler arasında yanal yüklerin etkideği elemanlarda $C_m=1$ alınarak güvenli bölgede kalınabilir.</p> $P_e = \frac{\pi^2 0.8EI}{(K_1L)^2} = \frac{\pi^2(0.8)200000(57680)(10^4)}{(1(6000))^2}$ $P_e=25301.3\text{kN}$ <p>B kolunu:</p> $P_r=P_{nt} + P_{lt}=(-326.4)+(-1.43)$ $=-327.83\text{kN}$ $B_1 = \frac{1}{1 - \frac{327.83}{25301.3}} = 1.013 > 1$ <p>A Kolunu:</p> $P_r=P_{nt} + P_{lt}=(-211)+(1.43)=-209.57\text{kN}$ $B_1 = \frac{1}{1 - \frac{209.57}{25301.3}} = 1.008 > 1$	<p>P_{kat}, P_{mf}: Gelen düşey yükleri ifade ettiğinden Sadece düşey yüklerin olduğu yüklemeden alınmıştır.(Düşey ve yatay yüklerin bulunduğu sistemden alınsada sonuç değişmez.)</p> <p>Δ_H: Düşey ve yatay yüklerin bulunduğu yüklemenden alınmıştır. (GA yöntemi; AISC 360-16’ya uygun olarak rijitlikleri azaltılmış sistem deplasmanı olarak alınmıştır.) Deplasmanı en büyük olan A kolon deplasmanı kullanılmıştır. Tüm sistem için aynı B_2 katsayısı kullanılacaktır.</p> $\alpha P_{kat}=1.6(672)=1075.2 \text{ kN}$ $R_M = 1 - 0.15(P_{mf}/P_{kat})$ $R_M = 1 - 0.15\left(\frac{132 + 204}{672}\right)$ $R_M=0.925$ $P_{e,kat} = R_M \frac{HL}{\Delta_H}$ $P_{e,kat} = 0.925 \frac{2.15(6000)}{2.065/1.6}$ $P_{e,kat}=9245.5 \text{ kN}$ $B_2 = \frac{1}{1 - \frac{1075.2}{9245.5}} = 1.132$ $B_2=1.132 > 1$

İkinci merteye etkilerini içeren iç kuvvetlerin hesabı Tablo 3.28 ile gösterilmiştir.

Tablo 3.28. Genel analiz yöntemi GKT yüklemesi ikinci merteye değerlerin belirlenmesi

$M_{rA}=B_1M_{nt} + B_2M_{lt}$	$P_{rA}=P_{nt} + B_2P_{lt}$
$M_{rA}=1.008(85.24)+1.132(-4.03)$	$P_{rA}=(-132)+1.132(0.89)$
$M_{rA}=81.36\text{kNm}$	$P_{rA}=-130.99\text{kN}$
$M_{rB}=-B_1M_{nt} + B_2M_{lt}$	$P_{rB}=P_{nt} + B_2P_{lt}$
$M_{rB}=1.013(-85.24)+1.132(-4.03)$	$P_{rB}=(-204)+1.132(-0.89)$
$M_{rB}=-90.91\text{kNm}$	$P_{rB}=-205.01\text{kN}$

3.4.2.3. Genel analiz yöntemi ile ÇYTHYE'ye göre kolon tasarımı

HE4000B enkesitli elemanın karakteristik basınç kuvveti dayanımının belirlenmesi:

Burkulma boyu yönteminde HE400B için yerel burkulma sınır durumları incelenmiş ve tüm enkesit parçaları narin olmayan enkesit çıkmıştır.

ÇYTHYE Bölüm 8.2.1 uyarınca, eleman aksenal basınç kuvveti dayanımını, x(güçlü eksen) ve y asal eksenleri(zayıf eksen) etrafında eğilmeli burkulma sınır durumları esas alınarak hesaplanan dayanımlarının küçüğü belirleyecektir.

Eğilmeli burkulma sınır durumunda asal eksenlere göre eleman burkulma boyları

$$L_{cx}=K_xL_x=1(6000)=6000$$

$$L_{cy}=K_yL_y=1(6000)=6000$$

Narinlik oranları,

$$\frac{L_{cx}}{i_x} = \frac{6000}{170.8} = 35.12 \leq 200$$

$$\frac{L_{cy}}{i_y} = \frac{6000}{74} = 81 \leq 200$$

ÇYTHYE Bölüm 8.1.1 uyarınca, narinlik oranları $L_c/i \leq 200$ koşulunu sağlamaktadır.

Eğilmeli burkulma sınır durumunda karakteristik basınç kuvveti dayanımı, P_n ,

$$(L_c/i)_{maks} = \left(\frac{L_{cx}}{i_x}; \frac{L_{cy}}{i_y} \right)_{maks} = (35.12; 81)_{maks} = 81$$

Olduğundan, elemanın aksenal basınç kuvveti dayanımını, y asal eksenindeki atalet yarıçapı i_y üzerinden belirlenecektir. Eğilmeli burkulma sınır durumunda kritik burkulma gerilmesi, F_{cr} için elastik burkulma gerilmesi, F_e ,

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{L_{cx}}{i_y}\right)^2} = \frac{\pi^2 (200000)}{(81)^2} = 300.86 \text{ N/mm}^2$$

ÇYTHYE Bölüm 8.2 uyarınca,

$$81 \leq 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 4.71 \sqrt{\frac{200000}{275}} = 127.02$$

olduğundan,

$$F_{cr} = \left[(0.658)^{\frac{F_y}{F_e}} \right] F_y = \left[(0.658)^{\frac{275}{300.86}} \right] 275 = 187.58 \text{ N/mm}^2$$

Karakteristik basınç kuvveti dayanımı, P_n

$$P_n = F_{cr} A_g = 187.58 (19800) = 3714 \text{ kN}$$

HE4000B enkesitli elemanın karakteristik eğilme momenti dayanımının belirlenmesi HE400B eğilme momenti dayanımı BB yönteminde hesaplandığı üzere; en elverişsiz olarak $M_n = M_p = 888.53 \text{ kNm}$ bulunacaktır.

Tablo 3.29. Genel analiz yöntemi kolon tasarımı

YDKT	GKT
Kolonun tasarım basınç kuvveti dayanımı: $P_d = \phi_c P_n = 0.90 (3714) = 3342.6 \text{ kN}$	Kolonun tasarım basınç kuvveti dayanımı: $P_d = P_n / \Omega_c = 3714 / 1.67$ $= 2224 \text{ kN}$
Kolonun tasarım eğilme momenti dayanımı: $M_d = \phi_c M_n = 0.9 (888.53) = 799.68 \text{ kNm}$	Kolonun tasarım eğilme momenti dayanımı: $M_d = M_n / \Omega_c$ $= 888.53 / 1.67 = 532 \text{ kNm}$

3.4.2.4. Bileşik etkilerin dikkate alınması

A ve B kolonlarının bileşik etkilerinin dikkate alınması ÇYTHYE 11.1'e göre Tablo 3.30 ve Tablo 3.31 ile gösterilmiştir.

Tablo 3.30. A kolonu için YDKT ve GKT yüklemesi kapasite oranı

YDKT	GKT
$\alpha P_r/P_{ns} \leq 0.5$ için eğilme rijitliği azaltma katsayısı τ_b 'nin belirlenmesi $P_{ns}=F_y A_g=275(19780)=5439.5\text{kN}$ $1(196.38)/5439.5=0.036 \leq 0.5$ $\tau_b=1$ yapılan eğilme rijitliği(0.8EI) azaltması varsayımı doğrudur. $P_r/P_c=(196.38/3342.6)=0.06 < 0.2$ olduğundan ÇYTHYE 11.1b denklemi kullanılacaktır.	$P_r/P_{ns} \leq 0.5$ için rijitlik azaltma katsayısı τ_b 'nin belirlenmesi $P_{ns}=F_y A_g=275(19780)=5439.5\text{kN}$ $1.6(130.99)/5439.5=0.039 \leq 0.5$ $\tau_b=1$ yapılan eğilme rijitliği(0.8EI) azaltması varsayımı doğrudur. $P_r/P_d=(130.99/2224)=0.06 < 0.2$ olduğundan ÇYTHYE 11.1b denklemi kullanılacaktır.
<i>Kapasite Oranı:</i> $\frac{P_r}{2P_c} + \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right)$ $M_{ry}=0$ $K.O.: \frac{196.38}{2(3342.6)} + \left(\frac{121.54}{799.68} \right)$ $K.O.=0.029+0.152=0.181$	<i>Kapasite Oranı:</i> $\frac{P_r}{2P_c} + \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right)$ $M_{ry}=0$ $K.O.: \frac{130.99}{2(2224)} + \left(\frac{81.36}{532} \right)$ $K.O.=0.029+0.153=0.182$
0.181 < 1 için oran sağlanır.	0.182 < 1 için oran sağlanır.

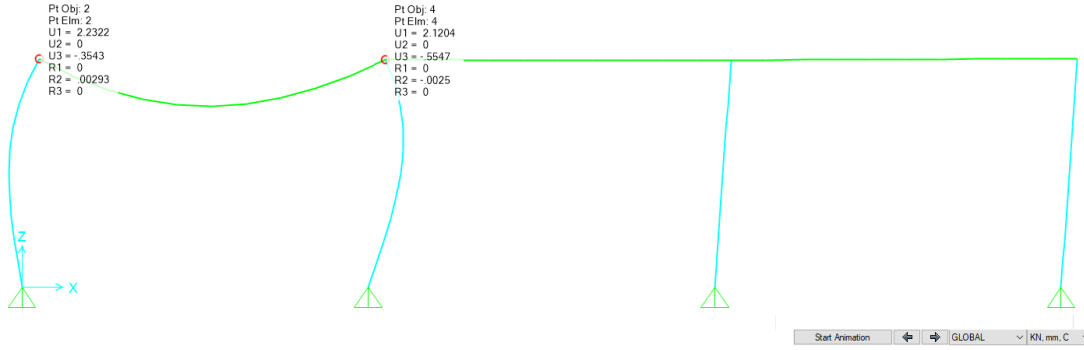
Tablo 3.31. B kolonu için YDKT ve GKT yüklemesi kapasite oranı

YDKT	GKT
$\alpha P_r/P_{ns} \leq 0.5$ için rijitlik azaltma katsayısı τ_b 'nin belirlenmesi $P_{ns}=F_y A_g=275(19780)=5439.5\text{kN}$ $1(307.62)/5439.5=0.057 \leq 0.5$ $\tau_b=1$ yapılan eğilme rijitliği(0.8EI) azaltması varsayımı doğrudur. $P_r/P_c=(307.62/3342.6)=0.09 < 0.2$ olduğundan ÇYTHYE 11.1b denklemi kullanılacaktır.	$P_r/P_{ns} \leq 0.5$ için rijitlik azaltma katsayısı τ_b 'nin belirlenmesi $P_{ns}=F_y A_g=275(19780)=5439.5\text{kN}$ $1.6(205.01)/5439.5=0.06 \leq 0.5$ $\tau_b=1$ yapılan eğilme rijitliği(0.8EI) azaltması varsayımı doğrudur. $P_r/P_d=(205.01/2224)=0.09 < 0.2$ olduğundan ÇYTHYE 11.1b denklemi kullanılacaktır.
<i>Kapasite Oranı:</i> $\frac{P_r}{2P_c} + \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right)$ $M_{ry}=0$ $K.O.: \frac{307.62}{2(3342.6)} + \left(\frac{136.73}{799.68} \right)$ $K.O.=0.046+0.171=0.217$	<i>Kapasite Oranı:</i> $\frac{P_r}{2P_c} + \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right)$ $M_{ry}=0$ $K.O.: \frac{205.01}{2(2224)} + \left(\frac{90.91}{532} \right)$ $K.O.=0.046+0.171=0.217$
0.217 < 1 için oran sağlanır.	0.217 < 1 için oran sağlanır.

3.4.2.5. Sap2000 doğrusal olmayan analiz sonuçları

Programa eleman öz kütleleri dahil edilmemiştir. Steel design menüsünden rijitlik ayarlamaları yapılmıştır. Genel analiz yöntemiyle çözülen, YDKT ve GKT yüklemelerinin sonuçları Tablo 3.32 ve Tablo 3.33 ile gösterilmiştir.

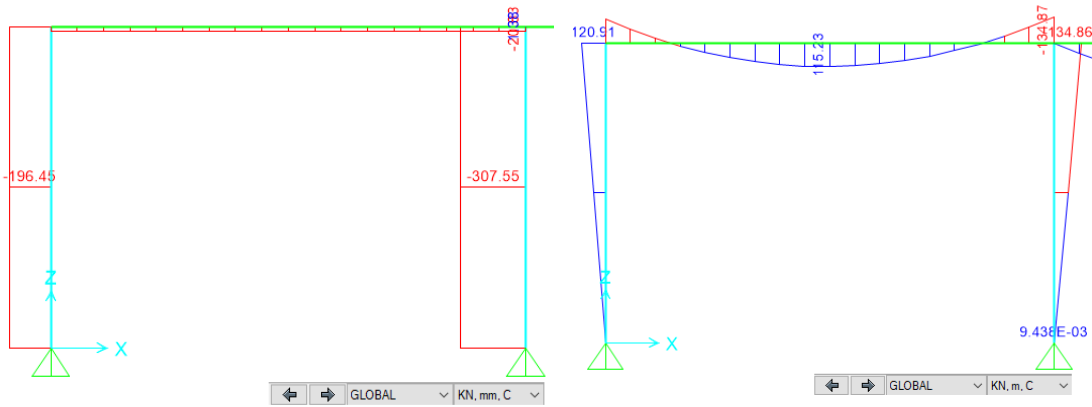
Tablo 3.32. Genel analiz YDKT yüklemesi doğrusal olmayan analiz sonuçları (Sap2000)



Genel analiz YDKT yüklemesi ikinci merteye analizi sistem deplasmanı

$$B_2 = \Delta_2 / \Delta_1 = 2.232 / 1.936 = 1.153$$

*:1.936 değeri YDKT yükleme durumunda rijitlikleri 0.8 ile azaltılmış birinci merteye sistem deplasmanıdır.



YDKT ikinci merteye eksenel kuvvet

YDKT ikinci merteye moment

$$P_{rA} = -196.45 \text{ kN}$$

$$M_{rA} = 120.91 \text{ kNm}$$

$$P_{rB} = -307.55 \text{ kN}$$

$$M_{rB} = -134.86 \text{ kNm}$$

değiştirmeler dikkate alındığından B_1 'in hesaplanmasına ihtiyaç yoktur, B_2 katsayısı ise oran(ikinci merteye/ birinci merteye) ile bulunur. Tablo 3.34'te normal birinci merteye analiz, yaklaşık İkinci merteye analiz(YİMA) ve geometrik doğrusal olmayan analiz(Nonlinear) değerleri sunulmuştur. Bulgular ve irdeleme için BB yontemi sonuçları da aynı şekilde Tablo 3.35'te ozetlenmiştir.

Tablo 3.34. Genel Analiz yontemi yaklaşık ikinci merteye ile doğrusal olmayan analiz sonuçlarının karşılaştırması.

	YDKT			GKT		
	1.mertebe	GA YİMA	GA Nonlinear	1.mertebe	GA YİMA	GA Nonlinear
P_{rA} (kN)	-196.66	-196.38	-196.45	-131.11	-130.99	-130.96
P_{rB} (kN)	-307.34	-307.62	-307.55	-204.89	-205.01	-205.04
M_{rA} (kNm)	121.82	121.54	120.91	81.21	81.36	80.56
M_{rB} (kNm)	-133.92	-136.73	-134.86	-89.28	-90.91	-89.94
Δ	1.936	$\Delta_1=1.936$	$\Delta_2=2.232$	2.065	$\Delta_1=2.065$	$\Delta_2=2.402$
(B_2)		$B_2=1.21$	$\Delta_2/\Delta_1=$		$B_2=1.132$	$\Delta_2/\Delta_1=2.402/2.06$
Δ_2/Δ_1 (mm)		1	2.232/1.936		(Denkle m hesabı	5 Oran hesabı(B_2)
		(Denkle m hesabı B_2)	Oran hesabı(B_2) =1.153		B_2)	=1.163

Tablo 3.35. Burkulma Boyu yontemi yaklaşık ikinci merteye ile doğrusal olmayan analiz sonuçlarının karşılaştırması

	YDKT			GKT		
	1.mertebe	BB YİMA	BB Nonlinear	1.mertebe	BB YİMA	BB Nonlinear
P_{rA} (kN)	-196.66	-196.44	-196.49	-131.11	-131.02	-130.99
P_{rB} (kN)	-307.34	-307.56	-307.51	-204.89	-204.98	-205.01
M_{rA} (kNm)	121.82	121.6	120.99	81.21	81.39	80.63
M_{rB} (kNm)	-133.92	-136.18	-134.58	-89.28	-90.53	-89.75
Δ	1.556	$\Delta_1=1.55$	$\Delta_2=1.748$	1.66	$\Delta_1=1.66$	$\Delta_2=1.878$
(B_2)		$B_2=1.163$	$\Delta_2/\Delta_1=1.748$		$B_2=1.103$	$\Delta_2/\Delta_1=1.878/1.66$
Δ_2/Δ_1 (mm)		(Denkle hesabı B_2)	/1.556 Oran hesabı(B_2) =1.12		(Denkle hesabı B_2)	Oran hesabı(B_2) =1.13

3.4.3. Bulgular ve irdellemeler

Çerçeve sisteminin tüm yöntemler ile stabilite analizinin yapılabilmesi için stabilite tasarım yöntemlerinin sınır koşullarını sağlaması gereklidir. Yöntemlerin sınır koşullarına göre, sistem üzerinde geometrik ön kusur etkilerinin dikkate alınabilmesi için, yatay yüklerin (deprem, rüzgar vb.) bulunmadığı yük kombinasyonları dikkate alınması gerekmektedir. Böylece geometrik ön kusurlar, sisteme yatay olarak etkitilecek fiktif yük ile tanımlanabilmektedir. Fiktif yüklerin sistem için düşük değerli bir yatay yük olduğu söylenebilir. Geometrik ön kusurların dikkate alınması durumunun irdelenmesi için gereklidir.

Çerçeve sistemde, hem yatay hem de düşey yükleri de taşıyan kolonların (A ve B aks kolonları) tüm yöntemlerle stabilite tasarımı yapıldıktan sonra birinci merteye analiz sonuçları ile irdelediğimizde; A kolonu için birinci merteye sonuçlarının stabilite tasarım sonuçlarından daha büyük iç kuvvetlere sahip olduğu görülmektedir. B kolonu için bu durumun aksine stabilite tasarımı iç kuvvet değerleri birinci merteye değerlerinden daha büyüktür. Her iki kolon da düşey, yatay ve ikinci merteye etkilerin kolon iç kuvvetlerinde etkin olduğu gözlenmiştir. Düşey ve yatay yükler açısından irdelendiğinde düşey yükler etkisi ile A kolonunda aksel basınç kuvveti ve pozitif yönde moment oluşmaktadır, yatay yüklerden ise aksel çekme kuvveti ve negatif moment değerleri oluşmaktadır. İkinci merteye etkileri incelendiğinde ise, düşey yüklerden oluşan iç kuvvetlere ters işaretli olacak şekilde etki etmiştir. Bu nedenle ikinci merteye etkileri, A kolonunu düşey yüklerden oluşan iç kuvvet değerlerinin ters yönlüsü (zıt işaretlisi) olduğundan stabilite tasarımı sonuçları daha düşük iç kuvvet değerleri ile sonuçlanmıştır. B kolonu için bu durum tam tersi olarak iç kuvvet değerleri stabilite tasarımında daha büyüktür. Fiktif yük uygulama yönü tam tersi olması durumu düşünüldüğünde yukarıdaki sonuçların tam tersi olacağı tahmin edilebilir. İç kuvvet değerleri yöntemler içerisinde irdelenmeye devam edildiğinde moment değerlerinin aksel değerlerden daha fazla etkilendiği görülmüştür. Bu da ikinci merteye etkilerin daha çok moment değerleri üzerinde etkili olduğunu göstermektedir.

Stabilite tasarımında kullanılan GA ve BB yöntemlerinin hesap detayları incelendiğinde, BB yöntemi eleman tasarım basınç kuvveti dayanımını, K katsayısı ile azaltmayı hedeflemektedir. Bu nedenle elemanda oluşacak kapasite oranı, azaltılmış aksel kuvvet dayanımı ile dikkate alınmaktadır. GA yönteminde

elamanın tasarım dayanımlarında değişiklik yapmadan, eleman rijitliklerini azaltarak elemanın ve sistemin şekil değiştirmeleri dikkate alınmaktadır.

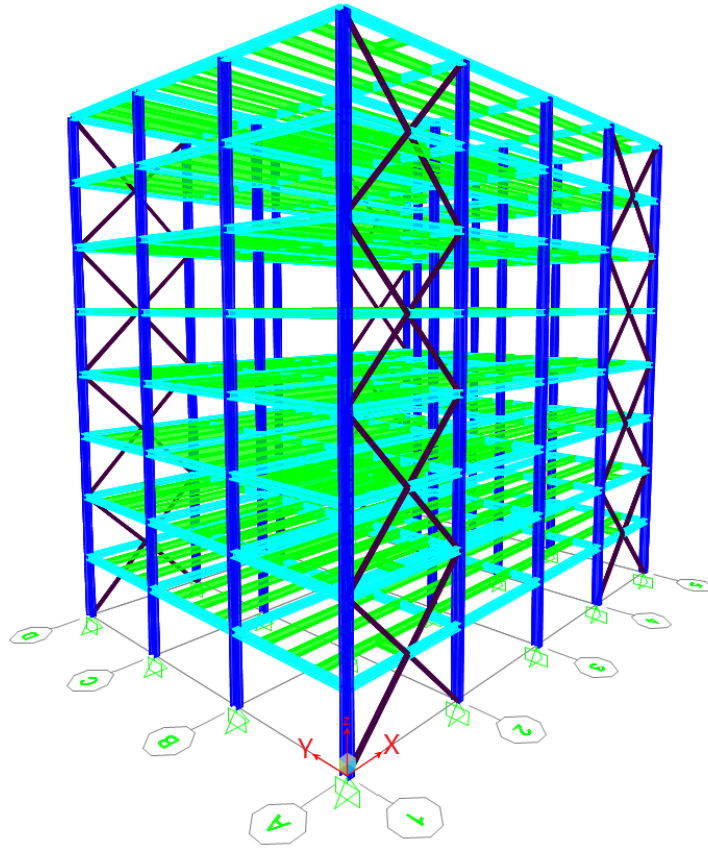
Deplasman değerleri incelendiğinde, BB-YİMA yöntemi birinci merteye analizi ile aynı deplasman değerlerine sahip olduğu görülmektedir. BB yönteminde kullanılan burkulma boyu katsayısı K , sistem deplasmanlarına etki etmediği anlaşılmaktadır. GA yöntemlerinde ise yapılan rijitlik azaltmaları nedeniyle birinci merteye deplasman değerlerinden daha yüksek değerler elde edilmiştir. Daha fazla deplasman değeri daha etkin ikinci merteye etkilerine ve stabilite bozucu faktörlere neden olabilmektedir. Rijilik azaltması yönünden oluşan daha fazla deplasman değeri yapı stabilitesini daha iyi irdeleme olanağı sağlamaktadır.

Geometri değişimi bakımından doğrusal olmayan analiz (Nonlinear) yöntemlik tarafından kullanılması önerilen yöntem olması sebebi ile gerçek davranışa yakın sonuçlar verdiği göz önüne alınabilir. Doğrusal olmayan analiz ile yaklaşık ikinci merteye analiz sonuçlarında iç kuvvet değerleri karşılaştırıldığında, eksenel kuvvet değerlerinde birbirine yakın sonuçlar görülmüştür. Moment değerlerinde ise yaklaşık ikinci merteye analizin doğrusal olmayan analiz değerlerinden daha yüksek moment değerleri verdiği görülmektedir.

YDKT ve GKT yöntemleri incelendiğinde, stabilite tasarımı faktörlerinden olan ikinci merteye etkileri düşey yüklerden etkilenmektedir. Bu nedenle ÇYTHYE-2016 da GKT yükleme durumları için 1.6 katsayısı ile yükleri arttırma uygulanmaktadır. YDKT yöntemi gelen yükleri arttırmaya yönelik yük durumları oluşturduğundan tasarım mantığında daha uygun yöntem olduğu söylenebilir.

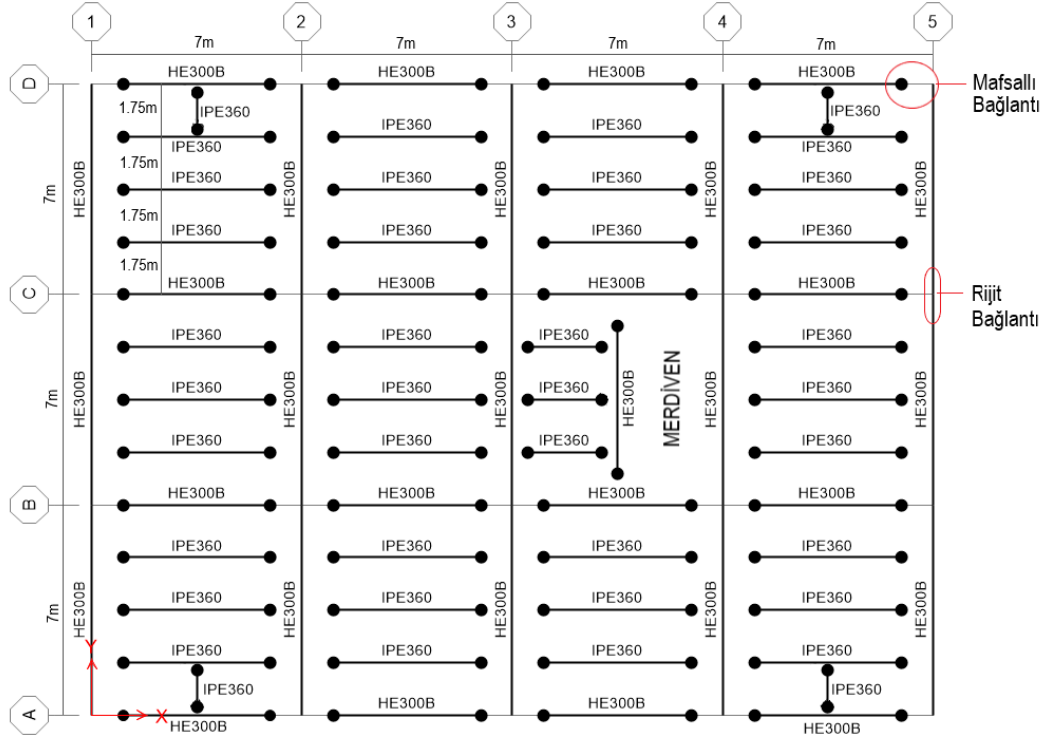
4. YAPILAN ÇALIŞMA

TBDY-2018 yönetmeliği koşulları yerine getirilerek ÇYHTYE-2016 yönetmeliğine göre boyutlandırılmış olan sekiz katlı çelik yapı sistemi, stabilite tasarımları dört farklı yöntemle göre SAP2000 v22.2.0 programı ile yapılmıştır. Sekiz katlı yapının görseli Şekil 4.1’de sunulmuştur.

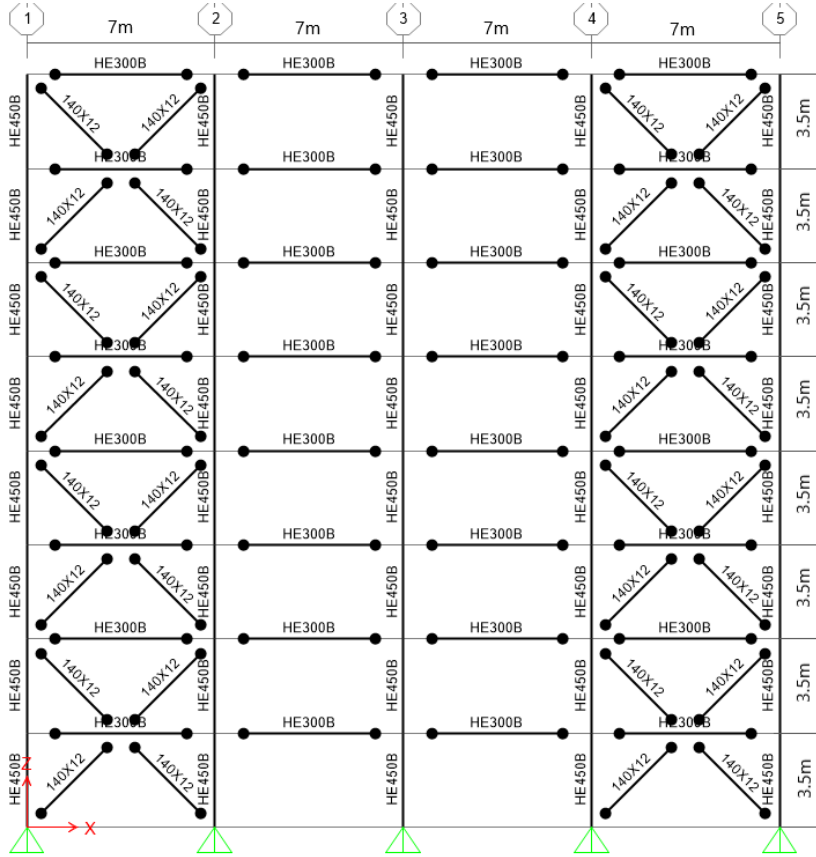


Şekil 4.1. Genel sistem görünüşü

Yapının x eksenine doğrultusunda, mafsallı süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı çerçeve ve y eksenine doğrultusunda süneklik düzeyi yüksek moment aktaran çerçeveden oluşmaktadır. Tüm kolonların (HE450B) güçlü yönü y eksenine doğrultusunda ve y eksenine yatay taşıyıcı sistemini, x eksenine doğrultusunda çapraz elemanlar (Kutu140*140*12mm) yatayda taşıyıcı sistemi oluşturmaktadır. Kat sistem planı ve sistem enkesiti görünüşleri Şekil 4.2 ve Şekil 4.3 ile gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Normal kat sistem planı



Şekil 4.3. Tipik sistem enkesiti (A ve B aksı çerçevesi)

İşyeri olarak inşa edilmesi düşünülen binanın coğrafi konumu, İstanbul/Avcılar bölgesi içinde olmak üzere, enlem ve boylam değerleri sırasıyla 40.9935 ve 28.7029 olarak belirlenmiştir. Binanın ZC zemin sınıfı üzerinde inşa edileceği varsayılmıştır.

Kat döşemeleri, çelik kirişlere mesnetlenen ve trapez sac levhalar üzerindeki dökme betonarme döşeme sisteminden meydana gelmektedir. Betonarme döşemenin çelik kirişlere bağlantısı için, boyutları ve yerleşimi konstrüktif olarak seçilen başlıklı çelik ankrajlardan yararlanılacağı ve döşeme sisteminin düzlem içinde rijit bir diyafram oluşturacağı varsayılmıştır. Analizi yapılacak olan yapıya her kat düzeyine farklı rijit diyafram tanımlanmıştır.

1.75m aralıklarla teşkil edilen ikincil ana kirişler (IPE360), ana kirişlere (HE300B) mafsalı olarak bağlanmaktadır. X doğrultusu akslarındaki (A,B,C ve D) ana çerçeve kirişlerinin (HE300B), kolonlara (HE450B) bağlantısı da mafsalı olarak bağlanmaktadır. Y doğrultusu akslarındaki (1,2,3,4 ve 5) ana çerçeve kirişlerinin kolonlara bağlantısı moment aktaran rijit bağlantıdır.

4.1. Çelik Yapının ÇYHTYE Yönetmeliğine Göre Tasarımı

Çelik yapının taşıyıcı sistemi elemanları Sap2000 programıyla tasarımı yapılmış ve kesit profilleri Tablo 4.1'de listelenmiştir.

Tablo 4.1. Taşıyıcı sistem elemanları ve özellikleri

Taşıyıcı Sistem Elemanı	Profil	Malzeme
Kolonlar	HE450B	S355
Ana kirişler	HE300B	S275
İkincil ara kirişler	IPE360	S275
Çaprazlar	Kutu140*140*12	S275

4.1.1. Yükler

4.1.1.1. Düşey yükler

Hareketli yükün seçiminde TS-498, kar ve rüzgar yükünün belirlenmesinde sırasıyla TS-EN-1991-3, TS-EN-1991-4 standartları kullanılmıştır. Yapı elemanları öz ağırlıkları SAP 2000'de program tarafından (Dead yükü olarak) alınmıştır.

Çatı döşemesi

Kaplama.....0.5kN/m²

İzolasyon	0.4kN/m ²
Trapez saç+betonarme döşeme.....	2.1kN/m ²
Asma tavan+tesisat.....	0.5kN/m ²
	G=3.5kN/m ²
Hareketli yük.....	Q=2.0kN/m ²
Kar yükü.....	S=1.3kN/m ²
Parapet yükü.....	G=2.0 kN/m

Not: Kar yükü TS EN 1-3'e uygun olarak 80cm kalınlığında belirlenmiştir. Karın birim hacim ağırlığı 2.0kN/m² olmak üzere, üniform yayılı yük olarak etkileyen çatı kar yükü $0.8 \times (2.0 \text{ kN/m}^2 \times 0.8 \text{ m}) = 1.3 \text{ kN/m}^2$ şeklinde hesaplanmıştır. Parapet sadece çatı planı, yapı kenar ana kirişleri üzerinde bulunmaktadır.

Çatı katı kirişleri yüklemeleri Tablo 4.2 ile gösterilmiştir.

Tablo 4.2. Çatı katı kiriş yüklemeleri

	Tam Yükleme Hali (Orta Kirişler)	Yarım Yükleme Hali (Kenar Kirişler)
Eleman aralığı	1.75m	0.875m
G	6.125kN/m	3.063 kN/m
Q	3.5 kN/m	1.75 kN/m
S	2.275 kN/m	1.138 kN/m

*Parapet yükleri ayrıca programda kenar kiriş elemanlarına G=2kN/m olarak girilmiştir.

Normal kat döşemesi

Kaplama.....	0.5kN/m ²
Bölme duvarları.....	1kN/m ²
Trapez saç+betonarme döşeme.....	2.1kN/m ²
Asma tavan+tesisat.....	0.5kN/m ²
	G=4.1kN/m ²
Hareketli yük.....	Q=2.0kN/m ²

Dış duvar yükü.....G=3kN/m

Not: Dış duvar yükü, SAP2000’de kenar çerçevedeki kirişlere sabit yük olarak girilmiştir.

Normal kat kirişleri yükleme durumları Tablo 4.3 ile gösterilmiştir.

Tablo 4.3. Normal kat kiriş yüklemeleri

	Tam Yükleme Hali (Orta Kirişler)	Yarım Yükleme Hali (Kenar Kirişler)
Eleman aralığı	1.75m	0.875m
G	7.175kN/m	3.588 kN/m
Q	3.5 kN/m	1.75 kN/m

*Dış duvar yükleri ayrıca programda kenar kiriş elemanlarına G=3kN/m olarak girilmiştir.

4.1.1.2. Deprem yükleri

Deprem yüklerinin belirlenmesi için gerekli parametreler aşağıdaki başlıklar altında belirtilmiştir. Parametrelere göre deprem hesabı yapılmıştır.

Bina kullanım sınıfı (BKS) ve bina önem katsayısı (I):

Binanın işyeri olarak hizmet vermesi öngörülmektedir. Bu durumda TBDY’ye göre bina kullanım sınıfı, BKS=3 ve bina önem katsayısı, I=1 olarak bulunur.

Deprem tasarım sınıfı (DTS):

Türkiye deprem tehlike haritaları kapsamında, deprem tasarım sınıfı (DTS)’nin belirlenebilmesi amacıyla DD-2 deprem yer hareketi düzeyinde elde edilen parametreler aşağıda verilmiştir.

Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı, $S_S = 1.211$

1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı, $S_1 = 0.328$

Yerel zemin etki katsayıları, $F_S = 1.2$ ve $F_1 = 1.5$

Bu durum da tasarım spektral ivme katsayıları S_{DS} ve S_{D1}

$$S_{DS} = S_S F_S = 1.211(1.2) = 1.4532$$

$$S_{D1} = S_1 F_1 = 0.328(1.5) = 0.492$$

olarak elde edilir. Bu durumda binanın deprem tasarım sınıfı (DTS), bina kullanım sınıfı BKS=3 olmak üzere ve DD-2 için tanımlanan S_{DS} 'nin 0.75'den büyük olması nedeniyle DTS=1 olarak belirlenmiştir.

Bina yükseklik sınıfı:

Binanın, bina tabanından itibaren ölçülen yüksekliği, $H_N=3.5(8)=28m$ olarak hesaplanmaktadır. Bu durumda DTS=1 için bina yükseklik sınıfı, BYS=5 olmaktadır.

Bina performans hedefi:

TBDY Tablo 3.4(a)'ya göre deprem tasarım sınıfı DTS=1 ve deprem yer hareketi düzeyi DD-2 için, yeni yapılacak çelik yapının performans hedefi; normal performans hedefi, kontrollü hasar (KH) ve değerlendirme/tasarım yaklaşımı, dayanıma göre tasarım (DGT) yaklaşımı olarak belirlenmektedir.

Düzensizliklerin kontrolü:

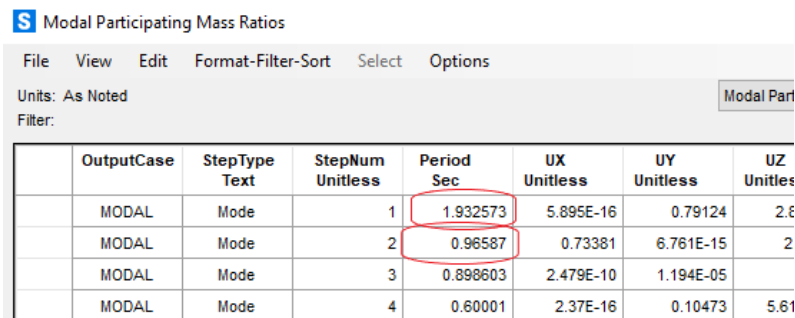
Bina kat planlarında; döşeme süreksizlikleri, çıkıntıları ve dengesiz boşlukların bulunmaması nedeni ile planda düzensizlik durumları oluşturmamaktadır. Bina taşıyıcı sisteminde; her kat aynı yüksekliğe sahip olması, tüm katlarda aynı kesitlerin kullanılması ve düşeyde süreksizliğin bulunmaması nedenleri ile düşeyde düzensizlik durumları bulunmamaktadır.

Eşdeğer deprem yükü yönteminin uygulanabilirliğinin kontrolü:

TBDY Tablo 4.4 ile belirtilen DTS=1 ve BYS=5 olan yapılarda eşdeğer deprem yükü yöntemi uygulanabilir.

Binanın hakim titreşim periyodunun belirlenmesi:

Binanın hakim titreşim periyodu SAP2000 programı, modal analiz ile belirlenecektir. Sap2000 periyot değerleri Şekil 4.4 ile gösterilmiştir.



OutputCase	StepType Text	StepNum Unitless	Period Sec	UX Unitless	UY Unitless	UZ Unitless
MODAL	Mode	1	1.932573	5.895E-16	0.79124	2.8
MODAL	Mode	2	0.96587	0.73381	6.761E-15	2
MODAL	Mode	3	0.898603	2.479E-10	1.194E-05	
MODAL	Mode	4	0.60001	2.37E-16	0.10473	5.61

Şekil 4.4. Sap2000 X ve Y doğrultusu periyot değerleri

Yapının çaprazlı olduğu doğrultuda (X) periyodu 0.966sn, moment aktaran çerçeve doğrultusunda (Y) periyodu 1.933sn olarak bulunmuştur.

TBDY bölüm 4.7.3.2 ile belirtilen yapı doğrultu periyot değerleri, ampirik periyot değerinin 1.4 katını geçmeyecektir. Bu şart çerçevesince;

Ampirik periyot T_{pA} ve $C_t = 0.08$ olmak üzere aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$T_{pA} = 1.4C_tH_N^{3/4} = 1.4(0.08)28^{3/4} = 1.363\text{sn}$$

Bu durumda periyot değerleri x doğrultusunda 0.966sn, y doğrultusunda 1.363sn olarak dikkate alınacaktır.

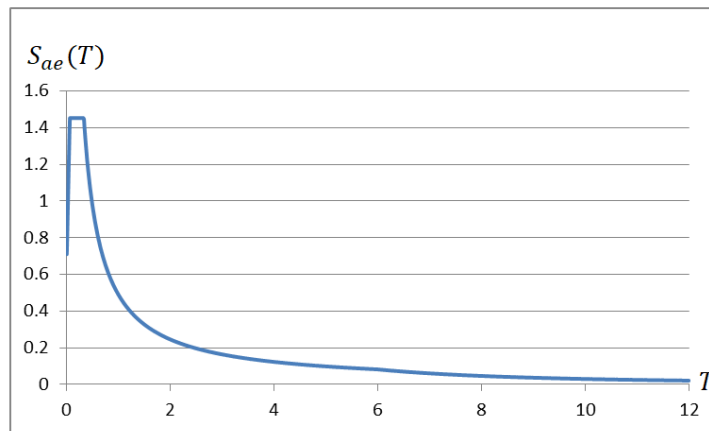
Yatay elastik tasarım spektrumu:

TBDY Tablo 4.1'e göre, izin verilen bina yükseklik sınıfına uygun olarak (BYS=5); deprem etkilerinin x doğrultusunda süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı çelik çerçeveler tarafından karşılandığı bina için taşıyıcı sistem davranış katsayısı, $R=5$ ve dayanım fazlalığı katsayısı, $D=2$ olarak, y doğrultusunda ise süneklik düzeyi yüksek çelik çerçevelerle karşılandığı binalar için $R=8$ ve $D=3$ olarak verilmiştir. Bu durumda yatay elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyotları T_A ve T_B aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$T_A = 0.2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = 0.2 \frac{0.462}{1.453} = 0.064\text{sn}$$

$$T_B = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = \frac{0.462}{1.453} = 0.32\text{sn}$$

olarak bulunur. Şekil 4.5'te yatay elastik tasarım spektrumu gösterilmiştir.



Şekil 4.5. Sae(T)-Periyot grafiği

X doğrultusu için azaltılmış tasarım spektrumu ($S_{aR}(T)$):

X doğrultusu için $T_p(x)=0.966\text{sn}$ alınarak hesaplamalar yapılacaktır.

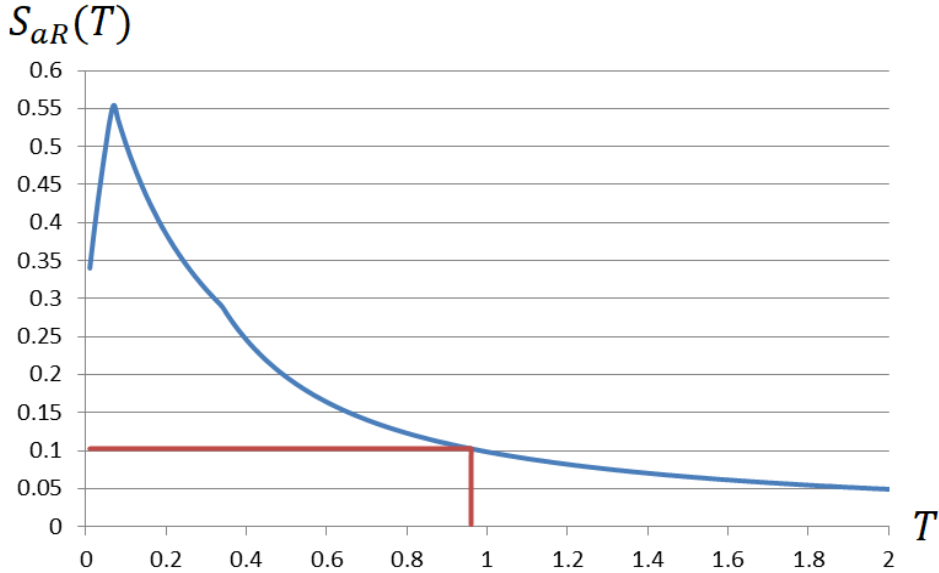
$$S_{ae}(T_p(x)) = \frac{S_{D1}}{T_p(x)} = \frac{0.492}{0.966} = 0.510$$

Deprem yükü azaltma katsayısı, $R_a(T)$, $T_p(x)=0.966\text{sn}$ alınarak hesaplanacaktır. $T_p(x) > T_B = 0.32$ olduğundan,

$$R_a(0.966\text{sn}) = \frac{R^x}{I} = \frac{5}{1} = 5$$

$$S_{aR}(0.966\text{sn}) = \frac{S_{ae}(0.966\text{sn})}{R_a(0.966\text{sn})} = \frac{0.510}{5} = 0.102$$

olarak bulunur. Şekil 4.6'da x doğrultusu için azaltılmış tasarım spektrumu gösterilmiştir.



Şekil 4.6. X doğrultusu için azaltılmış tasarım spektrumu

Y doğrultusu için azaltılmış tasarım spektrumu($S_{aR}(T)$):

Y doğrultusu için $T_p(y)=1.363\text{sn}$ alınarak hesaplamalar yapılacaktır.

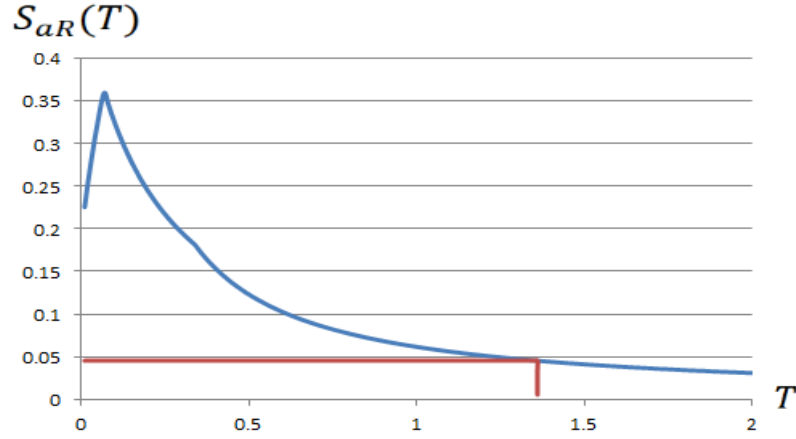
$$S_{ae}(T_p(y)) = \frac{S_{D1}}{T_p(y)} = \frac{0.492}{1.363} = 0.361$$

Deprem yükü azaltma katsayısı, $R_a(T)$, $T_p(y)=1.363\text{sn}$ alınarak hesaplanacaktır. $T_p(y) > T_B = 0.32$ olduğundan,

$$R_a(1.363sn) = \frac{R^y}{I} = \frac{8}{1} = 8$$

$$S_{aR}(1.363sn) = \frac{S_{ae}(1.363sn)}{R_a(1.363sn)} = \frac{0.361}{8} = 0.045$$

olarak bulunur. Şekil 4.7'de y doğrultusu için azaltılmış tasarım spektrumu gösterilmiştir.



Şekil 4.7. Y doğrultusu için azaltılmış tasarım spektrumu

Toplam yatay eşdeğer deprem yükü hesabı aşağıda ifade edilmiştir.

TBDY 4.7.1'e göre, göz önüne alınan deprem doğrultusunda binanın tümüne etkileyen toplam eşdeğer deprem yükü (taban kesme kuvveti) V_{tE} , TBDY Denklem 4.19 ile belirlenecektir.

$$V_{tE} = m_t S_{aR} \geq 0.04 m_t I S_{DS}$$

Kütle katılımı $m_t = G + 0.3Q + 0.3S$ olarak alınacaktır. Sap2000 programına girilen düşey yükler sonucunda elde edilen değerler Şekil 4.8'de gösterilmiştir.

S Base Reactions						
File View Edit Format-Filter-Sort Select Options						
Units: As Noted						
Filter:						
	OutputCase	CaseType Text	GlobalFX KN	GlobalFY KN	GlobalFZ KN	GlobalMX KN-m
	G	LinStatic	-3.256E-11	1.43E-11	24853.131	260957.8746
	Q	LinStatic	-3.155E-12	5.952E-12	9114	95697
	S	LinStatic	-2.514E-13	3.712E-15	740.513	7775.3813

Şekil 4.8. Sap2000 toplam düşey yükler

$m_t=24853.131+0.3(9114)+0.3(740.513)=27809.4\text{kN}$ olarak bulunur.

X doğrultusu toplam eşdeğer deprem yükü, $V_{tE}(x)$

$$V_{tE}(x) = m_t S_{aR}(x) \geq 0.04 m_t I S_{DS}$$

$$V_{tE}(x) = 27809.4(0.102) \geq 0.04(27809.4)1(1.453)$$

$$V_{tE}(x) = 2836.6\text{kN} \geq 1616.3\text{kN}$$

$V_{tE}(x) = 2836.6\text{kN}$ olarak bulunmuştur.

Y doğrultusu toplam eşdeğer deprem yükü, $V_{tE}(y)$

$$V_{tE}(y) = m_t S_{aR}(y) \geq 0.04 m_t I S_{DS}$$

$$V_{tE}(y) = 27809.4(0.045) \geq 0.04(27809.4)1(1.453)$$

$$V_{tE}(y) = 1251.4\text{kN} \geq 1616.3\text{kN} \quad \times$$

$V_{tE}(y) = 1616.3\text{kN}$ olarak bulunmuştur.

Düşey deprem etkisi

TBDY Bölüm 4.4.3'e göre düşey deprem etkisinin de deprem hesabında dikkate alınması gerekmektedir. Bu bina için düşey deprem etkisi, TBDY 4.4.3.2'ye uygun olarak, aşağıdaki denklem ile yaklaşık olarak dikkate alınacaktır.

$$E_z = (2/3) S_{DS} G$$

$$E_z = (2/3) 1.453 G = 0.97 G = 26938\text{kN}$$

SAP2000 eşdeğer deprem yükü kontrolü

Deprem verilerinin Sap2000'e tanımlanması Şekil 4.9, Şekil 4.10 ve Şekil 4.11'de gösterilmiştir.

S TSC-2018 Seismic Load Pattern

Load Direction and Diaphragm Eccentricity

Global X Direction
 Global Y Direction

Ecc. Ratio (All Diaph.)

Override Diaph. Eccen.

Time Period

Approx. Period Ct (m), x =

Program Calc Ct (m), x =

User Defined T =

Lateral Load Elevation Range

Program Calculated
 User Specified

Max Z

Min Z

Seismic Coefficients

0.2 Sec Spectral Accel, Ss

1 Sec Spectral Accel, S1

Long-Period Transition Period

Site Class

Site Coefficient, Fs

Site Coefficient, F1

Calculated Coefficients

SDS = Fs * Ss

SD1 = F1 * S1

Factors

Response Modification, R

System Overstrength, D

Occupancy Importance, I

Şekil 4.9. Sap2000 x doğrultusu deprem verileri

S TSC-2018 Seismic Load Pattern

Load Direction and Diaphragm Eccentricity

Global X Direction
 Global Y Direction

Ecc. Ratio (All Diaph.)

Override Diaph. Eccen.

Time Period

Approx. Period Ct (m), x =

Program Calc Ct (m), x =

User Defined T =

Lateral Load Elevation Range

Program Calculated
 User Specified

Max Z

Min Z

Seismic Coefficients

0.2 Sec Spectral Accel, Ss

1 Sec Spectral Accel, S1

Long-Period Transition Period

Site Class

Site Coefficient, Fs

Site Coefficient, F1

Calculated Coefficients

SDS = Fs * Ss

SD1 = F1 * S1

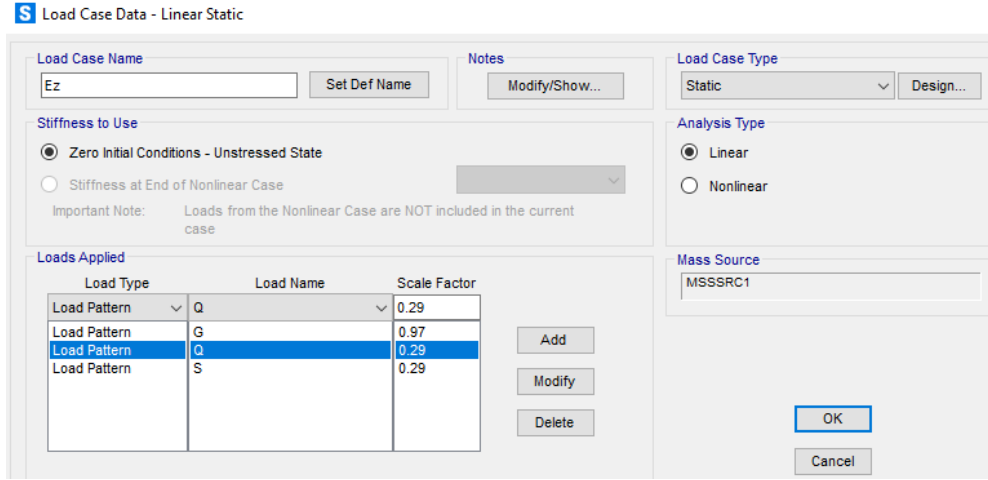
Factors

Response Modification, R

System Overstrength, D

Occupancy Importance, I

Şekil 4.10. Sap2000 y doğrultusu deprem verileri



Şekil 4.11. Sap2000 düşey doğrultu deprem yükü

Yapı sisteminin Sap2000 ile analiz sonrası bulunan eşdeğer deprem yükü; taban kesme kuvvetleri Şekil 4.12’de sunulmuştur.

	OutputCase	CaseType Text	GlobalFX KN	GlobalFY KN	GlobalFZ KN	GlobalMX KN-m
	G	LinStatic	-3.256E-11	1.43E-11	24853.131	260957.8746
	Q	LinStatic	-3.155E-12	5.952E-12	9114	95697
	S	LinStatic	-2.514E-13	3.712E-15	740.513	7775.3813
	Ex	LinStatic	-2856.029	-2.331E-13	-1.091E-11	-3.074E-10
	Ey	LinStatic	-1.934E-11	-1629.784	3.039E-11	32789.7658
	Ez	LinStatic	-3.16E-11	1.393E-11	24107.537	253129.1384

Şekil 4.12. Sap2000 deprem yükleri

Sap2000 sonuçları ile TBDY göre hesaplanan taban kesme kuvvetleri yakın sonuçlar verdiği için deprem hesabı doğrudur.

4.1.1.3. Rüzgar yükü

TS EN 1991-1-4’e göre yapı yüzey alanına bağlı olarak gelecek rüzgar yükü aşağıdaki şekilde alınmıştır.

$$w = q(z)(c_{pnet})A_{ref} = 0.66(1.3)A_{ref} = 0.858(A_{ref})kN/m^2$$

Yapı yüzey alanına (A_{ref}), gelecek olan kuvvet diyafram oluşturan kat döşemelerine etkilenecektir. Diyaframa gelen rüzgar yükleri Tablo 4.4 ile gösterilmiştir.

Tablo 4.4. Yapı yüzey genişliğine göre yüzeye dik gelen rüzgar kuvvetleri

Döşeme	Yüksekli k(m)	28m Genişliğindeki Yüzeye Etkiyen Rüzgar kuvveti(kN)	21m Genişliğindeki Yüzeye Etkiyen Rüzgar kuvveti(kN)
8.Kat	1.75	1.75(28)0.858=42.04	1.75(21)0.858=31.53
7.Kat	3.5	3.5(28)0.858=84.08	3.5(21)0.858=63.06
6.Kat	3.5	84.08	63.06
5.Kat	3.5	84.08	63.06
4.Kat	3.5	84.08	63.06
3.Kat	3.5	84.08	63.06
2.Kat	3.5	84.08	63.06
1.Kat	3.5	84.08	63.06
Toplam		630.6	492.95

Bu sistem için elverişsiz tesirlerin deprem yüklemesinden gelmesi beklenmektedir. Rüzgar yükleri en elverişsiz etkileri oluşturmayacağı öngörülmektedir.

4.1.2. Yük kombinasyonları

Yük kombinasyonu olarak YDKT yöntemi kullanılacaktır. YDKT kombinasyonları aşağıda verilmiştir.

1.4G

1.2G+1.6S

1.2G+1.6Q+0.5S

1.2G+1.6S+Q

1.2G+1.6S+0.8W_x

1.2G+1.6S+0.8W_y

1.2G+Q+0.5S+1.6W_x

1.2G+Q+0.5S+1.6W_y

1.2G+Q+0.2S+Ex+0.3Ey+0.3Ez

1.2G+Q+0.2S+Ex-0.3Ey+0.3Ez

1.2G+Q+0.2S-Ex+0.3Ey+0.3Ez

1.2G+Q+0.2S-Ex-0.3Ey+0.3Ez

$$1.2G+Q+0.2S+0.3E_x+E_y+0.3E_z$$

$$1.2G+Q+0.2S+0.3E_x-E_y+0.3E_z$$

$$1.2G+Q+0.2S-0.3E_x+E_y+0.3E_z$$

$$1.2G+Q+0.2S-0.3E_x-E_y+0.3E_z$$

$$0.9G+E_x+0.3E_y-0.3E_z$$

$$0.9G+E_x-0.3E_y-0.3E_z$$

$$0.9G-E_x+0.3E_y-0.3E_z$$

$$0.9G-E_x-0.3E_y-0.3E_z$$

$$0.9G+0.3E_x+E_y-0.3E_z$$

$$0.9G+0.3E_x-E_y-0.3E_z$$

$$0.9G-0.3E_x+E_y-0.3E_z$$

$$0.9G-0.3E_x-E_y-0.3E_z$$

$$0.9G+1.6W_x$$

$$0.9G+1.6W_y$$

Yukarıdaki ifadeler aşağıda açıklanmıştır.

G: Sabit yük + sistem öz kütlesi

Q: Hareketli yük

S: Kar yükü

W: Rüzgar yükü

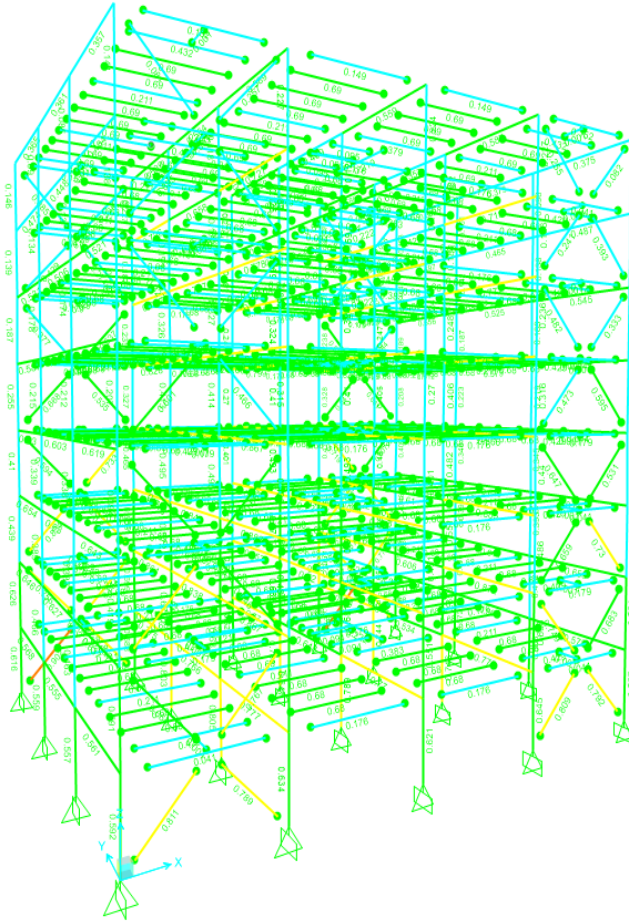
E_x : X doğrultusu deprem yükü

E_y : Y doğrultusu deprem yükü

E_z : Düşey deprem yükü

4.1.3. Çelik yapının birinci merteye analiz sonuçları

Binanın üç boyutlu kapasite oranları ve zemin kat eleman kapasite listesi sırasıyla Şekil 4.13 ve Şekil 4.14 ile gösterilmiştir.



Şekil 4.13. Birinci mertbe kesit kapasite oranları genel görünüşü

Steel Design 2 - PMM Details - AISC 360-16

File View Edit Format-Filter-Sort Select Options

Units: As Noted Steel Design 2 - PMM Details - AISC 360-16

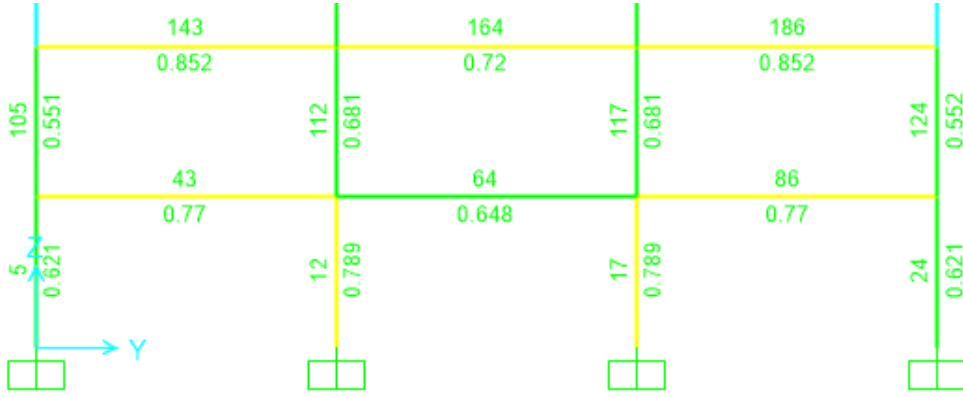
Filter:

Frame Text	DesignSect Text	DesignType Text	Combo Text	Pr KN	MrMajor KN-m	TotalRatio Unitless
12	HE450B	Column	$1.2G+1Q+0.2S+0.3Ex+1Ey+0.3Ez$	-3405.156	298.6531	0.789024
17	HE450B	Column	$1.2G+1Q+0.2S-0.3Ex-1Ey+0.3Ez$	-3405.156	-298.653	0.789024
24	HE450B	Column	$1.2G+1Q+0.2S+0.3Ex+1Ey+0.3Ez$	-2376.619	309.4689	0.621281
6	HE450B	Column	$1.2G+1Q+0.2S-Ex-0.3Ey+0.3Ez$	-3316.846	-114.3699	0.645219
13	HE450B	Column	$1.2G+1Q+0.2S-0.3Ex+1Ey+0.3Ez$	-3093.868	313.4789	0.746327
18	HE450B	Column	$1.2G+1Q+0.2S-0.3Ex-1Ey+0.3Ez$	-3095.937	-309.8556	0.744149
25	HE450B	Column	$1.2G+1Q+0.2S-Ex+0.3Ey+0.3Ez$	-3589.545	125.6879	0.699604
9	HE450B	Column	$1.2G+1Q+0.2S+Ex-0.3Ey+0.3Ez$	-2963.949	-116.7209	0.586715
14	HE450B	Column	$1.2G+1Q+0.2S+0.3Ex-1Ey+0.3Ez$	-2099.247	-301.0439	0.56812
19	HE450B	Column	$1.2G+1Q+0.2S+0.3Ex+1Ey+0.3Ez$	-2117.484	-302.3427	0.572136
28	HE450B	Column	$1.2G+1Q+0.2S+Ex+0.3Ey+0.3Ez$	-3199.92	93.6457	0.610811
2	TUBO140X140X12	Brace	$1.2G+1Q+0.2S-Ex-0.3Ey+0.3Ez$	-717.393	1.527	0.810976
3	TUBO140X140X12	Brace	$1.2G+1Q+0.2S+Ex-0.3Ey+0.3Ez$	-697.395	1.527	0.788887
7	TUBO140X140X12	Brace	$1.2G+1Q+0.2S-Ex-0.3Ey+0.3Ez$	-715.378	1.527	0.80875
8	TUBO140X140X12	Brace	$1.2G+1Q+0.2S+Ex-0.3Ey+0.3Ez$	-700.253	1.527	0.792043
21	TUBO140X140X12	Brace	$1.2G+1Q+0.2S-Ex+0.3Ey+0.3Ez$	-700.253	1.527	0.801004

Şekil 4.14. Birinci kat birinci mertbe kapasite oranları listesi

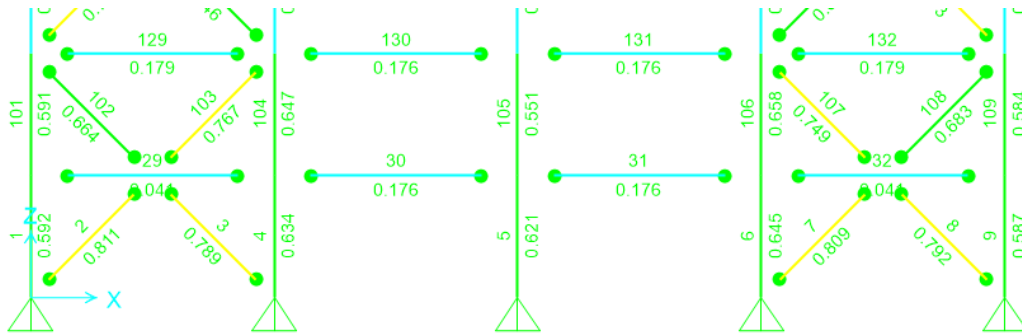
Zemin kat 3/B aksı (12 numaralı) kolonu ve zemin kat 4/A aksında bulunan (7 numaralı) çapraz elemanı incelenecektir. Bu elemanlar en yüksek kapasite oranlarına sahip değildir. Stabilité sonuçları ile karşılaştırma yapılabilmesi adına seçilen kolon ve çapraz elemanlardır.

12 numaralı kolon elemanı $1.2G+Q+0.2S+0.3E_x+E_y+0.3E_z$ kombinasyonu ile en elverişsiz kesit tesirlerine ulaşmıştır. Görseli Şekil 4.15'te sunulmuştur.



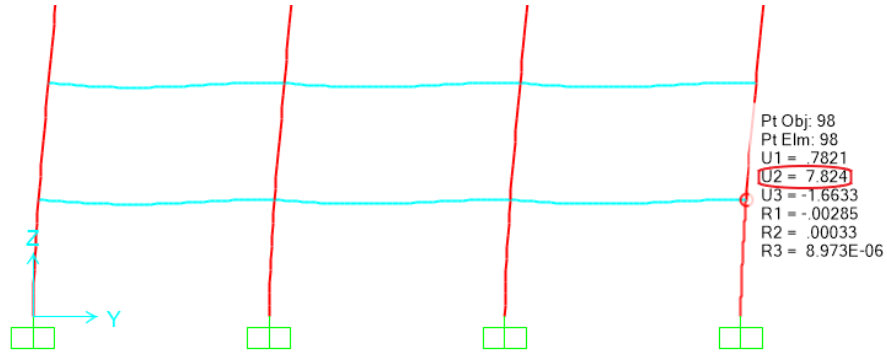
Şekil 4.15. 3 aksı birinci mertebeli kapasite oranları

7 numaralı çapraz elemanı $1.2G+Q+0.2S-E_x-0.3E_y+0.3E_z$ ile en elverişsiz kesit tesirlerine ulaşmıştır. Görseli Şekil 4.16'da sunulmuştur.



Şekil 4.16. A aksı birinci mertebeli kapasite oranları

Yapı sistemi incelendiğinde x doğrultusunda çaprazlar olması nedeniyle en elverişsiz deplasman değerleri y yönünde oluşmuştur. Y doğrultusunda en elverişsiz kesit tesirlerini oluşturan $1.2G+Q+0.2S+0.3E_x+E_y+0.3E_z$ kombinasyonudur. Bu kombinasyonda oluşan en elverişsiz deplasman değeri 5 aksında 7.82mm olarak elde edilmiştir. Şekil 4.17'de oluşan deplasman gösterilmiştir. X doğrultusunda en elverişsiz deplasman değerini $1.2G+Q+0.2S-E_x-0.3E_y+0.3E_z$ kombinasyonu 3.11mm olarak oluşturmuştur.



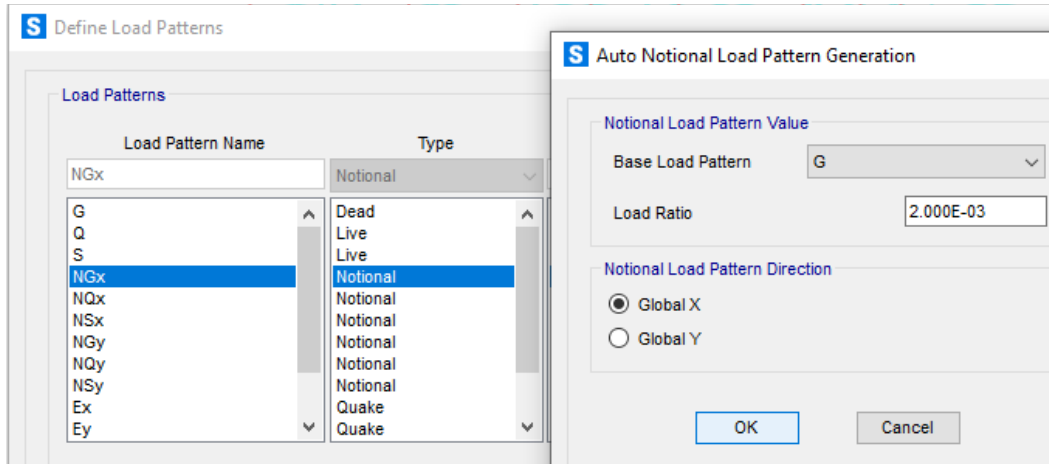
Şekil 4.17. 5 aksı birinci merteye deplasman değeri

4.2. Çelik Yapının ÇYHTYE Yönetmeliğine Göre Stabilite Tasarımı

Stabilite tasarımda tüm yöntemler için kullanılacak olan detaylar aşağıda sunulmuştur.

4.2.1. Geometrik ön kusurların dikkate alınması

Geometrik ön kusurlar fiktif yük olarak ele alınacaktır. Fiktif yükler sap2000 programı ile otomatik notional olacak şekilde Şekil 4.18 ile gösterildiği gibi dikkate alınacaktır.



Şekil 4.18. Sap2000 fiktif yük

4.2.1.1. Yük kombinasyonları

Yük kombinasyonları $B_2 \leq 1.7$ olması kabulü ile fiktif yükler sadece düşey yükleri içeren YDKT kombinasyonlarında kullanılacaktır.

$$1.4(G+NGx)$$

$1.4(G+NGy)$
 $1.2(G+NGx)+1.6(S+NSx)$
 $1.2(G+NGy)+1.6(S+NSy)$
 $1.2(G+NGx)+1.6(Q+NQx)+0.5(S+NSx)$
 $1.2(G+NGy)+1.6(Q+NQy)+0.5(S+NSy)$
 $1.2(G+NGx)+1.6(S+NSx)+1(Q+NQx)$
 $1.2(G+NGy)+1.6(S+NSy)+1(Q+NQy)$
 $1.2G+1.6S+0.8Wx$
 $1.2G+1.6S+0.8Wy$
 $1.2G+Q+0.5S+1.6Wx$
 $1.2G+Q+0.5S+1.6Wy$
 $1.2G+Q+0.2S+Ex+0.3Ey+0.3Ez$
 $1.2G+Q+0.2S+Ex-0.3Ey+0.3Ez$
 $1.2G+Q+0.2S-Ex+0.3Ey+0.3Ez$
 $1.2G+Q+0.2S-Ex-0.3Ey+0.3Ez$
 $1.2G+Q+0.2S+0.3Ex+Ey+0.3Ez$
 $1.2G+Q+0.2S+0.3Ex-Ey+0.3Ez$
 $1.2G+Q+0.2S-0.3Ex+Ey+0.3Ez$
 $1.2G+Q+0.2S-0.3Ex-Ey+0.3Ez$
 $0.9G+Ex+0.3Ey-0.3Ez$
 $0.9G+Ex-0.3Ey-0.3Ez$
 $0.9G-Ex+0.3Ey-0.3Ez$
 $0.9G-Ex-0.3Ey-0.3Ez$
 $0.9G+0.3Ex+Ey-0.3Ez$
 $0.9G+0.3Ex-Ey-0.3Ez$
 $0.9G-0.3Ex+Ey-0.3Ez$

$$0.9G-0.3E_x-E_y-0.3E_z$$

$$0.9G+1.6W_x$$

$$0.9G+1.6W_y$$

Yukarıdaki ifadeler aşağıda açıklanmıştır.

G: Sabit yük + sistem öz kütlesi

NG_x : X yönü G yükünün fiktifi

NG_y : Y yönü G yükünün fiktifi

Q: Hareketli yük

NQ_x : X yönü Q yükünün fiktifi

NQ_y : Y yönü Q yükünün fiktifi

S: Kar yükü

NS_x : X yönü S yükünün fiktifi

NS_y : Y yönü S yükünün fiktifi

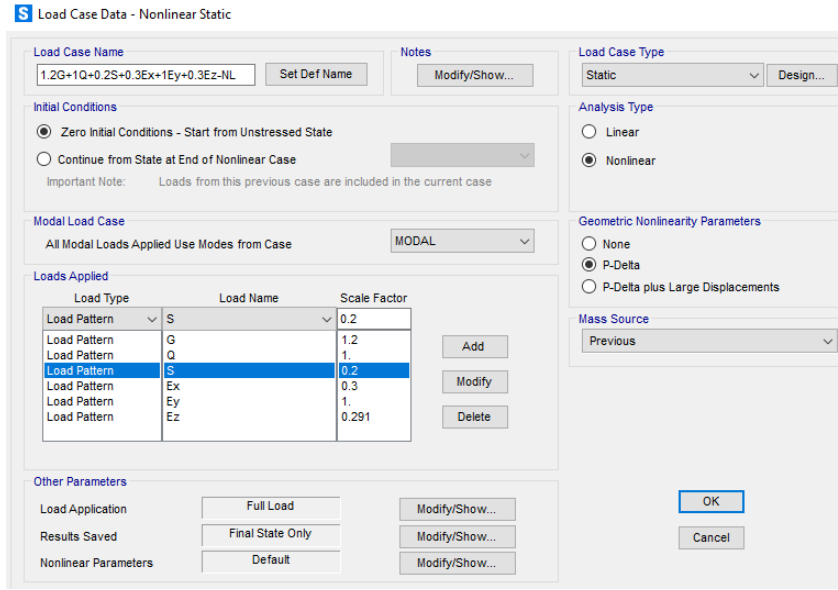
W: Rüzgar yükü

E_x : X eksenli deprem yükü

E_y : Y eksenli deprem yükü

E_z : Düşey deprem yükü

Yaklaşık ikinci mertebeye analizlerinde yukarıdaki yük kombinasyonları sap2000 programında kombinasyonlar bölümünde ele alınırken, doğrusal olmayan analizlerde (Nonlinear) yük durumları olarak ele alınacaktır. Nonlinear yük durumu için bir örnek Şekil 4.19 ile gösterilmiştir.



Şekil 4.19. Sap2000 nonlinear yük durumu

Bina periyodunun dikkate alınması: Bina periyodu modal analiz ile hesaplandıktan sonra kullanıcı tarafından doğrultulara göre bulunan hakim titreşim periyotlarının programa tanımlanması (Şekil 4.9 ve Şekil 4.10'da olduğu gibi) gerekmektedir. Genel analiz yöntemi ile doğrusal olmayan analizi, Genel analiz yöntemi ile yaklaşık ikinci mertebeye analizi ve Burkulma boyu yöntemi ile doğrusal olmayan analiz kullanılarak tasarım yapılırken periyotların programa tanımlanması deprem yüklerinin doğru alınması için önemli bir etkidir.

4.3. Çelik Yapının Genel Analiz Yöntemi Doğrusal Olmayan Analiz (Nonlinear) ile Tasarımı

Genel analiz yöntemi Sap2000 ayarları Şekil 4.20 ile gösterilmiştir. Sap2000 programı rijitliklerin azaltmasını gelen eksenel yük durumuna ($0.8EA$ veya $0.8\tau EI$) göre ayarlayabildiğinden program tarafından uygulanacaktır.

S Steel Frame Design Preferences for AISC 360-16

	Item	Value
1	Design Code	AISC 360-16
2	Multi-Response Case Design	Envelopes
3	Framing Type	SMF
4	Seismic Design Category	D
5	Importance Factor	1.
6	Design System Rho	1.
7	Design System Sds	0.5
8	Design System R	8.
9	Design System Omega0	3.
10	Design System Cd	5.5
11	Design Provision	LRFD
12	Analysis Method	Direct Analysis
13	Second Order Method	General 2nd Order
14	Stiffness Reduction Method	Tau-b Variable
15	Phi(Bending)	0.9
16	Phi(Compression)	0.9
17	Phi(Tension Yielding)	0.9

Şekil 4.20. GA yöntemi Sap2000 Nonlinear ayarı

4.3.1. Genel analiz yöntemi doğrusal olmayan analiz sonuçları

Zemin kat eleman kapasite listesi Şekil 4.21’de, Y doğrultusu en büyük deplasmana sahip aks sistemi Şekil 4.22’de gösterilmiştir. X doğrultusu en büyük deplasman değeri 3.96mm olarak bulunmuştur.

Steel Design 2 - PMM Details - AISC 360-16

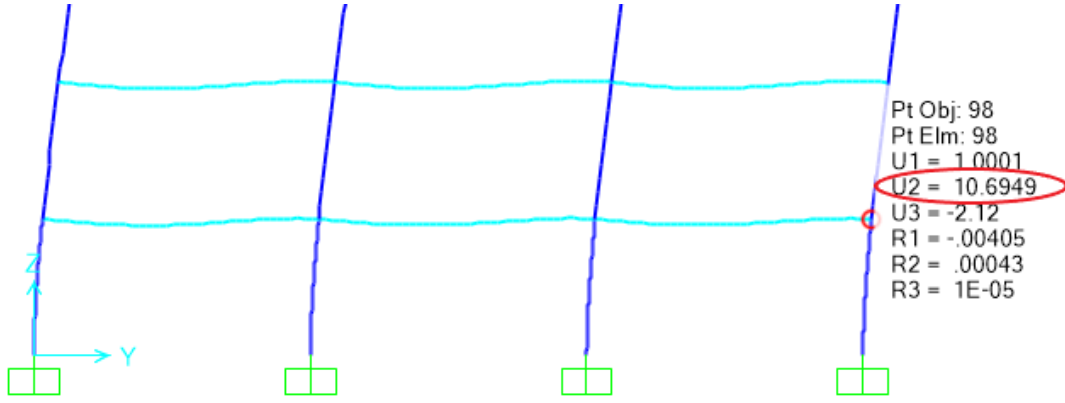
File View Edit Format-Filter-Sort Select Options

Units: As Noted Steel Design 2 - PMM Details - AISC 360-16

Filter:

Frame Text	DesignSect Text	Combo Text	Location m	Pr KN	MrMajor KN-m	TotalRatio Unitless
12	HE450B	1.2G+1Q+0.2S+0.3Ex+1Ey+0.3Ez	0	-3404.062	325.8342	0.807828
17	HE450B	1.2G+1Q+0.2S+0.3Ex-1Ey+0.3Ez	0	-3404.062	-325.8415	0.807833
24	HE450B	1.2G+1Q+0.2S+0.3Ex+1Ey+0.3Ez	0	-2406.487	336.3784	0.645172
6	HE450B	1.2G+1Q+0.2S-0.3Ex-1Ey+0.3Ez	0	-2534.864	-338.6256	0.668622
13	HE450B	1.2G+1Q+0.2S-0.3Ex+1Ey+0.3Ez	0	-3093.421	341.8677	0.766086
18	HE450B	1.2G+1Q+0.2S-0.3Ex-1Ey+0.3Ez	0	-3095.558	-338.1946	0.763884
25	HE450B	1.2G+1Q+0.2S-Ex+0.3Ey+0.3Ez	0	-3646.199	135.1919	0.7159
9	HE450B	1.2G+1Q+0.2S+Ex-0.3Ey+0.3Ez	0	-3014.414	-125.3401	0.601338
14	HE450B	1.2G+1Q+0.2S+0.3Ex-1Ey+0.3Ez	0	-2098.856	-329.5591	0.587976
19	HE450B	1.2G+1Q+0.2S+0.3Ex+1Ey+0.3Ez	0	-2117.434	-330.903	0.592082
28	HE450B	1.2G+1Q+0.2S+Ex+0.3Ey+0.3Ez	0	-3255.456	101.7152	0.625914
2	TUBO140X140X12	1.2G+1Q+0.2S-Ex-0.3Ey+0.3Ez	2.47487	-727.483	3.7237	0.848904
3	TUBO140X140X12	1.2G+1Q+0.2S-Ex-0.3Ey+0.3Ez	2.47487	707.255	4.0856	0.830961
7	TUBO140X140X12	1.2G+1Q+0.2S-Ex-0.3Ey+0.3Ez	2.47487	-725.33	3.7124	0.846384
8	TUBO140X140X12	1.2G+1Q+0.2S+Ex-0.3Ey+0.3Ez	2.47487	-710.208	4.1093	0.834519

Şekil 4.21. Birinci kat ikinci merteye kapasite oranları listesi (GA)



Şekil 4.22. 5 aksı ikinci merteye deplasman değeri (GA)

Analiz sonuçlarına göre hiçbir taşıyıcı elemanın P_r/P_{ns} oranı 0.5'den büyük değildir. Eğilme rijitliği de normal rijitlikler gibi 0.8 katsayısı ile program tarafından azaltılmıştır. 2 ve 7 numaralı yapı elemanlarının sap2000 program dizayn sonuçları Ek B bölümünde sunulmuştur.

4.4. Çelik Yapının Genel Analiz Yöntemi Yaklaşık İkinci Merteye Analiz ile Tasarımı

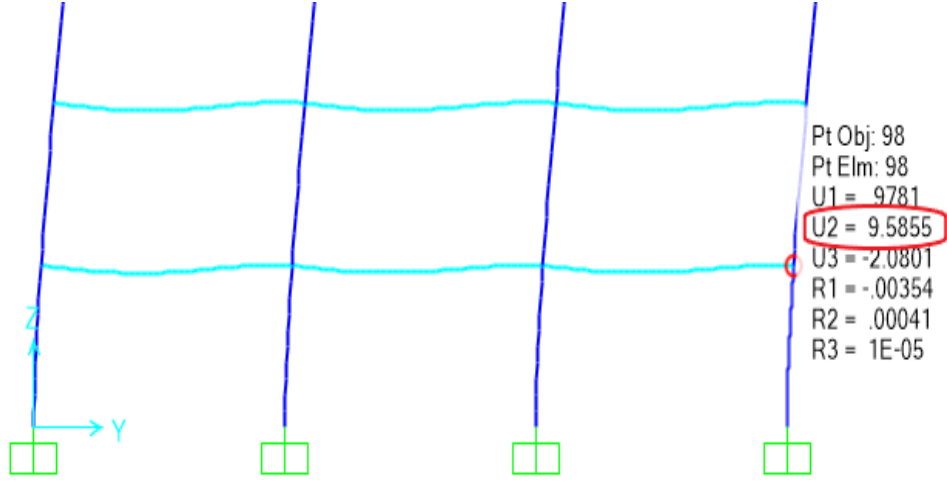
Sap2000 programı rijitliklerin azaltmasını, gelen eksenel yük durumuna ($0.8EA$ veya $0.8\tau EI$) göre ayarlayabildiğinden program tarafından uygulanacaktır. Yaklaşık ikinci merteye analizi için gerekli olan B_1 katsayısı hesabı program tarafından yapılmaktadır. Ancak B_2 katsayısı hesabı programa kullanıcı tarafından girilmesi gerekmektedir. Bu nedenle B_2 katsayısı hesaplanıp programa girilecektir. GA yöntemiyle yaklaşık ikinci merteye analiz ayarları Şekil 4.23'te gösterilmiştir.

Steel Frame Design Preferences for AISC 360-16

Item	Value
1 Design Code	AISC 360-16
2 Multi-Response Case Design	Envelopes
3 Framing Type	SMF
4 Seismic Design Category	D
5 Importance Factor	1.
6 Design System Rho	1.
7 Design System Sds	0.5
8 Design System R	8.
9 Design System Omega0	3.
10 Design System Cd	5.5
11 Design Provision	LRFD
12 Analysis Method	Direct Analysis
13 Second Order Method	Amplified 1st Order
14 Stiffness Reduction Method	Tau-b Variable
15 Phi(Bending)	0.9
16 Phi(Compression)	0.9
17 Phi(Tension-Yieldinn)	0.9

Şekil 4.23. GA yöntemi Sap2000 yaklaşık ikinci merteye analiz ayarı

Y doğrultusunda en büyük deplasman değeri oluşan aks sistemi Şekil 4.24 ile gösterilmiştir.



Şekil 4.24. 5 akslı yaklaşık ikinci mertebeli deplasman değeri (GA)

Deplasman sonuçları x yönü için; 3.8mm (1.2G+Q+0.2S-Ex-0.3Ey+0.3Ez), y yönü için 9.59mm (1.2G+Q+0.2S+0.3Ex+Ey+0.3Ez) olarak bulunur.

Yaklaşık ikinci mertebeli analiz yönteminde kullanılacak olan B_2 katsayısı, rijitlikleri azaltılmış sistemin birinci mertebeli analiz değerleri ile hesabı yapılacaktır. X ve Y doğrultuları için B_2 katsayısı hesabı Tablo 4.5 ile gösterilmiştir. Y doğrultusu moment aktaran çerçeve sistemi için en elverişsiz yükleme 1.2G+Q+0.2S+0.3Ex+Ey+0.3Ez kombinasyonudur. X doğrultusu çaprazlı çerçeve sistemi için en elverişsiz yükleme 1.2G+Q+0.2S-Ex-0.3Ey+0.3Ez kombinasyonudur. Bu kombinasyon değerleriyle B_2 hesabı Denklem 2.6 ile yapılacaktır.

$$B_2 = \frac{1}{1 - \frac{\alpha P_{kat}}{P_{e,kat}}}; P_{e,kat} = R_M \frac{HL}{\Delta_H}; R_M = 1 - 0.15(P_{mf}/P_{kat})$$

Tablo 4.5. GA yöntemi yaklaşık ikinci merteye analizi B_2 hesabı

X doğrultusu	Y doğrultusu
$1.2G+Q+0.2S-E_x-0.3E_y+0.3E_z$	$1.2G+Q+0.2S+0.3E_x+E_y+0.3E_z$
X doğrultusunda yatayda taşıyıcı çapraz elemanları olduğundan $P_{mf} = 0$ 'dır.	Y doğrultusunda tüm kolonlar yatayda taşıyıcı olduğundan $P_{mf} = P_{kat}$ 'dir.
$R_M = 1 - 0.15(0) = 1$	$R_M = 1 - 0.15(1) = 0.85$
Y yönü kat kesme	Y yönü kat kesme
kuvveti(H)= $E_x=2856.03kN$	kuvveti(H)= $E_y=1629.78kN$
$L=3500mm$	$L=3500mm$
$\Delta_H = 3.8mm$	$\Delta_H = 9.59mm$
$P_{e,kat} = 1 \frac{2856.03(3500)}{3.8}$	$P_{e,kat} = 0.85 \frac{1629.8(3500)}{9.59}$
$= 2630526.3kN$	$= 505588.7kN$
$P_{kat}=1.2G+Q+0.2S+0.3E_z$	$P_{kat}=1.2G+Q+0.2S+0.3E_z$
$=1.2(24853.13)+9114+0.2(740.51)+0.3(24107.54)$	$=1.2(24853.13)+9114+0.2(740.51)+0.3(24107.54)$
$P_{kat}=46318kN$	$P_{kat}=46318kN$
$B_2 = \frac{1}{1 - \frac{1(46318)}{2630526.3}} = 1.018$	$B_2 = \frac{1}{1 - \frac{1(46318)}{505588.7}} = 1.101$

4.4.1. Programa yaklaşık ikinci merteye analizi için girilen veriler (GA)

Yaklaşık ikinci merteye analizleri sonuçlarının doğru olabilmesi için programa tanımlanması gereken bazı değerler vardır. Tüm kolonlara kuvvetli olduğu yönde B_1 katsayısı hesabı için C_m katsayısı 1, B_2 katsayısı 1.101 olarak tanımlanmıştır. Çapraz elemanı için C_m katsayısı programa hesaplatılıp, B_2 katsayısı 1.018 olarak tanımlanmıştır.

4.4.2. Genel analiz yöntemi yaklaşık ikinci merteye analizi sonuçları

Sap2000 programı yaklaşık ikinci merteye analiz sonuçlarını birinci merteye analiz değerlerini B_1 ve B_2 katsayıları ile artırarak bulmaktadır. Kapasite sonuçları Tablo 4.6'da verilmiştir. Kapasite detayları EK B bölümünde sunulmuştur.

Tablo 4.6. GA yaklaşık ikinci merteye analiz sonuçları


	7 Numaralı Çapraz	12 Numaralı Kolon
M_r	3.258kNm	328.038kNm
P_r	-724.441kN	-3403.923kN
Kapasite Oranı	0.840	0.809

4.5. Çelik Yapının Burkulma Boyu Yöntemi Doğrusal Olmayan Analiz (Nonlinear) ile Tasarımı

4.5.1. K katsayıları hesabı

Kolonların mafsallı olarak çalıştığı x doğrultusu için ve çapraz elemanları için K katsayısı 1 olarak alınacaktır. Zemin kat ve normal kat kolonları moment aktaran yönleri için yapılan K katsayısı hesabı Tablo 4.7 ile sunulmuştur. K katsayısı değerleri yanal yer değiştirmesi önlenmemiş sistemler için Denklem 3.10 ile hesaplanacaktır. Bölüm 3.2.4.3 de sunulan düzenlemeler yapılmıştır.

Tablo 4.7. Burkulma boyu katsayısı, K hesabı

	
Zemin kat aks ortası kolonları	Zemin kat aks kenar kolonları
G_A :Kolon üst; G_B :Kolon alt düğüm noktalarını ifade eder.	G_A :Kolon üst; G_B :Kolon alt düğüm noktalarını ifade eder.
$G = \frac{\sum(E_c I_c / L_c)}{\sum(E_g I_g / L_g)}$ Kiriş rijitliği 2/3(0.67) ile azaltılacaktır.	$G = \frac{\sum(E_c I_c / L_c)}{\sum(E_g I_g / L_g)}$ Kiriş rijitliği 2/3(0.67) ile azaltılacaktır.
$G_A = \frac{2(798899968/3500)}{2*(0.67*251700000/7000)} = 9.47$	$G_A = \frac{2(798899968/3500)}{0.67*(251700000/7000)} = 18.94$
$G_B = 1$ olarak alınır.	$G_B = 1$ olarak alınır.
$K_{orta} = \sqrt{\frac{G_A(1.6G_B+4.0)+(4G_B+7.5)}{G_A+G_B+7.5}}$ $= \sqrt{\frac{9.47(1.6*1+4.0)+(4*1+7.5)}{9.47+1+7.5}}$ $K_{orta}=1.90$	$K_{kenar} = \sqrt{\frac{G_A(1.6G_B+4.0)+(4G_B+7.5)}{G_A+G_B+7.5}}$ $= \sqrt{\frac{18.94(1.6*1+4.0)+(4*1+7.5)}{18.94+1+7.5}}$ $K_{kenar}=2.07$

Tablo 4.7. (Devamı) Burkulma boyu katsayısı, K hesabı

Normal kat aks orta kolonları G_A :Kolon üst; G_B :Kolon alt düğüm noktalarını ifade eder.	Normal kat aks kenar kolonları G_A :Kolon üst; G_B :Kolon alt düğüm noktalarını ifade eder.
$G = \frac{\sum(E_c I_c / L_c)}{\sum(E_g I_g / L_g)}$ Kiriş rijitliği 2/3(0.67) ile azaltılacaktır.	$G = \frac{\sum(E_c I_c / L_c)}{\sum(E_g I_g / L_g)}$ Kiriş rijitliği 2/3(0.67) ile azaltılacaktır.
$G_A = \frac{2(798899968/3500)}{2*(0.67*251700000/7000)} = 9.47$	$G_A = \frac{2(798899968/3500)}{0.67*(251700000/7000)} = 18.94$
$G_B = \frac{2(798899968/3500)}{2*(0.67*251700000/7000)} = 9.47$	$G_B = \frac{2(798899968/3500)}{0.67*(251700000/7000)} = 18.94$
$K_{orta} = \sqrt{\frac{G_A(1.6G_B+4.0)+(4G_B+7.5)}{G_A+G_B+7.5}}$ $= \sqrt{\frac{9.47(1.6*9.47+4.0)+(4*9.47+7.5)}{9.47+9.47+7.5}}$ $K_{orta}=2.92$	$K_{kenar} = \sqrt{\frac{G_A(1.6G_B+4.0)+(4G_B+7.5)}{G_A+G_B+7.5}}$ $= \sqrt{\frac{18.94(1.6*18.94+4.0)+(4*18.94+7.5)}{18.94+18.94+7.5}}$ $K_{kenar}=4.02$

Burkulma boyu yöntemi Sap2000 ayarları Şekil 4.25 ile gösterilmiştir. Tablo 4.7’de hesaplanan K katsayıları Sap2000 programına tanımlanmıştır.

1	Design Code	AISC 360-16
2	Multi-Response Case Design	Envelopes
3	Framing Type	SMF
4	Seismic Design Category	D
5	Importance Factor	1.
6	Design System Rho	1.
7	Design System Sds	0.5
8	Design System R	8.
9	Design System Omega0	3.
10	Design System Cd	5.5
11	Design Provision	LRFD
12	Analysis Method	Effective Length
13	Second Order Method	General 2nd Order
14	Stiffness Reduction Method	No Modification
15	Phi(Bending)	0.9
16	Phi(Compression)	0.9

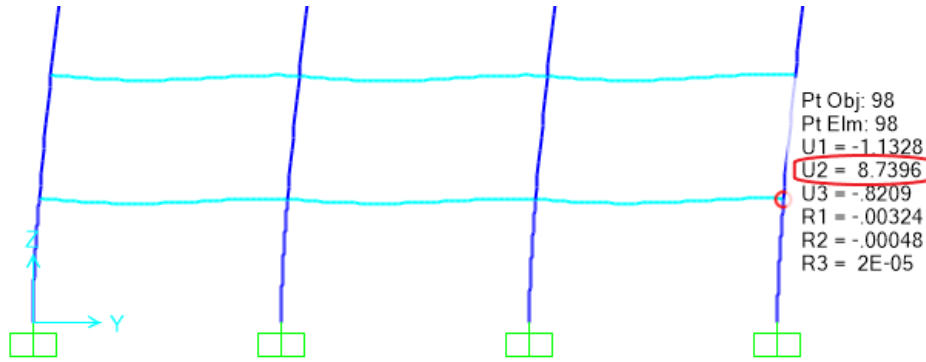
Şekil 4.25. BB yöntemi Sap2000 nonlinear ayarı

4.5.2. Burkulma boyu yöntemi doğrusal olmayan analiz sonuçları

Zemin kat eleman kapasite listesi Şekil 4.26’da, Y doğrultusu en büyük deplasmana sahip aks sistemi Şekil 4.27’de gösterilmiştir. X doğrultusunda en büyük deplasman değeri 3.16 mm olarak bulunmuştur.

Frame Text	Design Sect Text	Combo Text	Location m	Pr KN	MrMajor KN-m	TotalRatio Unitless
12	HE450B	1.2G+1Q+0.2S+0.3Ex+1Ey+0.3Ez	0	-3405.641	320.3847	0.80429
17	HE450B	1.2G+1Q+0.2S+0.3Ex-1Ey+0.3Ez	0	-3405.641	-320.3903	0.804294
24	HE450B	1.2G+1Q+0.2S+0.3Ex+1Ey+0.3Ez	0	-2399.323	330.6224	0.63993
6	HE450B	1.2G+1Q+0.2S-0.3Ex-1Ey+0.3Ez	0	-2526.257	-332.8733	0.663136
13	HE450B	1.2G+1Q+0.2S-0.3Ex+1Ey+0.3Ez	0	-3094.64	335.7211	0.781999
18	HE450B	1.2G+1Q+0.2S-0.3Ex-1Ey+0.3Ez	0	-3096.75	-332.1019	0.75983
25	HE450B	1.2G+1Q+0.2S-Ex+0.3Ey+0.3Ez	0	-3635.448	132.1246	0.711925
9	HE450B	1.2G+1Q+0.2S+Ex-0.3Ey+0.3Ez	0	-3003.766	-122.9686	0.597866
14	HE450B	1.2G+1Q+0.2S+0.3Ex-1Ey+0.3Ez	0	-2098.987	-324.0085	0.58412
19	HE450B	1.2G+1Q+0.2S+0.3Ex+1Ey+0.3Ez	0	-2118.352	-325.3156	0.588334
28	HE450B	1.2G+1Q+0.2S+Ex+0.3Ey+0.3Ez	0	-3244.823	99.728	0.622713
2	TUBO140X140X12	1.2G+1Q+0.2S-Ex-0.3Ey+0.3Ez	2.47487	-725.307	2.7911	0.835144
3	TUBO140X140X12	1.2G+1Q+0.2S+Ex-0.3Ey+0.3Ez	2.47487	-705.079	2.7435	0.812218
7	TUBO140X140X12	1.2G+1Q+0.2S-Ex-0.3Ey+0.3Ez	2.47487	-723.226	2.7862	0.832783
8	TUBO140X140X12	1.2G+1Q+0.2S+Ex-0.3Ey+0.3Ez	2.47487	-708.015	2.7504	0.815548

Şekil 4.26. Birinci kat ikinci merteye kapasite oranları listesi (BB)



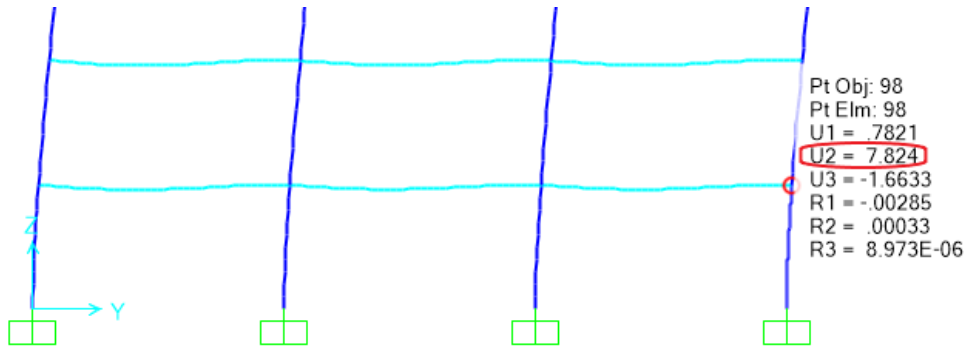
Şekil 4.27. 5 aksı ikinci merteye deplasman değeri (BB)

4.6. Çelik Yapının Burkulma Boyu Yöntemi Yaklaşık İkinci Merteye Analiz ile Tasarımı

Burkulma boyu yöntemi için uygulanması gereken K katsayısı değerleri Tablo 4.7 ile gösterilmiştir. Yaklaşık ikinci merteye analizi için gerekli olan B_1 katsayısı hesabı program tarafından yapılmaktadır. Ancak B_2 katsayısı hesabı programa kullanıcı tarafından girilmesi gerekmektedir. Bu nedenle B_2 katsayısı hesaplanıp programa girilecektir. BB yöntemiyle yaklaşık ikinci merteye analiz ayarları Şekil 4.28'de gösterilmiştir.

Item	Value
1 Design Code	AISC 360-16
2 Multi-Response Case Design	Envelopes
3 Framing Type	SMF
4 Seismic Design Category	D
5 Importance Factor	1.
6 Design System Rho	1.
7 Design System Sds	0.5
8 Design System R	8.
9 Design System Omega0	3.
10 Design System Cd	5.5
11 Design Provision	LRFD
12 Analysis Method	Effective Length
13 Second Order Method	Amplified 1st Order
14 Stiffness Reduction Method	No Modification
15 Phi(Bending)	0.9
16 Phi(Compression)	0.9
17 Phi(Tension/Yielding)	0.9

Şekil 4.28. BB yöntemi Sap2000 yaklaşık ikinci merteye analiz ayarı



Şekil 4.29. 5 aksı yaklaşık ikinci merteye deplasman değeri (BB)

Deplasman sonuçları x yönü için 3.11mm ($1.2G+Q+0.2S-Ex-0.3Ey+0.3Ez$), y yönü için 7.82mm ($1.2G+Q+0.2S+0.3Ex+Ey+0.3Ez$) olarak bulunmuştur. Y yönü deplasman değeri Şekil 4.29 ile gösterilmiştir.

Yaklaşık ikinci merteye analiz yönteminde kullanılacak olan B_2 katsayısı, birinci merteye analiz değerleri ile hesabı yapılacaktır. X ve Y doğrultuları için B_2 katsayısı hesabı Tablo 4.8 ile gösterilmiştir. Y doğrultusu moment aktaran çerçeve sistemi için en elverişsiz yükleme $1.2G+Q+0.2S+0.3Ex+Ey+0.3Ez$ kombinasyonudur. X doğrultusu çaprazlı çerçeve sistemi için en elverişsiz yükleme $1.2G+Q+0.2S-Ex-0.3Ey+0.3Ez$ kombinasyonudur. Bu kombinasyon değerleriyle B_2 hesabı Denklem 2.6 ile yapılacaktır.

Tablo 4.8. BB yöntemi yaklaşık ikinci mertbe analizi B_2 hesabı

X doğrultusu	Y doğrultusu
$1.2G+Q+0.2S-E_x-0.3E_y+0.3E_z$	$1.2G+Q+0.2S+0.3E_x+E_y+0.3E_z$
X doğrultusunda yatayda taşıyıcı çapraz elemanları olduğundan $P_{mf} = 0$ 'dır.	Y doğrultusunda tüm kolonlar yatayda taşıyıcı olduğundan $P_{mf} = P_{kat}$ 'dir.
$R_M = 1 - 0.15(0) = 1$	$R_M = 1 - 0.15(1) = 0.85$
Y yönü kat kesme kuvveti(H)= $E_x=2856.03kN$	Y yönü kat kesme kuvveti(H)= $E_y=1629.78kN$
$L=3500mm$	$L=3500mm$
$\Delta_H = 3.11mm$	$\Delta_H = 7.82mm$
$P_{e,kat} = 1 \frac{2856.03(3500)}{3.11}$	$P_{e,kat} = 0.85 \frac{1629.8(3500)}{7.82}$
$= 3214181.7kN$	$= 620032.6kN$
$P_{kat}=1.2G+Q+0.2S+0.3E_z$	$P_{kat}=1.2G+Q+0.2S+0.3E_z=1.2(24853.13)+9114+0.2(740.51)+0.3(24107.54)$
$=1.2(24853.13)+9114+0.2(740.51)+0.3(24107.54)$	$P_{kat}=46318kN$
$P_{kat}=46318kN$	$B_{2y} = \frac{1}{1 - \frac{1(46318)}{620032.6}} = 1.081$
$B_{2x} = \frac{1}{1 - \frac{1(46318)}{3214181.7}} = 1.015$	

4.6.1. Programa yaklaşık ikinci mertbe analizi için girilen veriler

Yaklaşık ikinci mertbe analizleri sonuçlarının doğru alınabilmesi için programa tanımlanması gereken bazı değerler vardır. Tüm kolonlara kuvvetli olduğu yönde B_1 katsayısının hesabı için $C_m=1$; B_2 katsayısı 1.081 olarak tanımlanmıştır. Çapraz elemanı için C_m katsayısı programa hesaplatılıp, B_2 katsayısı 1.015 olarak tanımlanmıştır. BB yöntemi için hesaplanan burkulma boyu katsayıları Sap2000'de zemin kat kolonlarına $K=1.9$; diğer katlara $K=2.92$ olarak tanımlanmıştır. Sap2000 de zemin kat kolonlarına tanımlanan değerler Şekil 4.30'da, zemin kat çapraz elemanına tanımlanan değerler Şekil 4.31'de gösterilmiştir.

	Item	Value
23	Effective Length Factor (K1 Minor)	1.
24	Effective Length Factor (K2 Major)	1.9
25	Effective Length Factor (K2 Minor)	Program Determined
26	Effective Length Factor (K LTB)	Program Determined
27	Moment Coefficient (Cm Major)	1.
28	Moment Coefficient (Cm Minor)	Program Determined
29	Bending Coefficient (Cb)	Program Determined
30	NonSway Moment Factor (B1 Major)	Program Determined
31	NonSway Moment Factor (B1 Minor)	Program Determined
32	Sway Moment Factor (B2 Major)	1.081
33	Sway Moment Factor (B2 Minor)	Program Determined

Şekil 4.30. B/3(12 numaralı) zemin kat kolonu Sap2000 girdisi

29	Bending Coefficient (Cb)	Program Determined
30	NonSway Moment Factor (B1 Major)	Program Determined
31	NonSway Moment Factor (B1 Minor)	Program Determined
32	Sway Moment Factor (B2 Major)	1.015
33	Sway Moment Factor (B2 Minor)	1.015
34	Reduce HSS Thickness?	No
35	HSS Welding Type	Program Determined
36	Yield stress, Fy	Program Determined

Şekil 4.31. A/4 (7 numaralı) zemin kat çaprazı Sap2000 girdisi

4.6.2. Burkulma boyu yöntemi yaklaşık ikinci merteye analiz sonuçları

Sap2000 yaklaşık ikinci merteye analiz sonuçları birinci merteye analiz değerlerini B_1 ve B_2 katsayıları ile artırarak bulduğu için dizayn sonuçlarında birinci merteye değerleri gözükmemektedir bu nedenle analiz kapasite sonuçları Tablo 4.9'da verilmiştir. Detayları EK B bölümünde sunulmuştur.

Tablo 4.9. BB yaklaşık ikinci merteye analiz sonuçları

	7 Numaralı Çapraz	12 Numaralı Kolon
M_r	3.249kNm	322.352kNm
P_r	-722.69kN	-3405.536kN
Kapasite Oranı	0.838	0.806

Tüm yöntemlerin sonuçları tablolar ile özetlenmiştir. Seçilen kolon elemanı (12 numaralı) ve çapraz elemanı (7 numaralı) için en elverişsiz sonuçları oluşturan yükleme durumları sırasıyla 1.2G+Q+0.2S+0.3Ex+Ey+0.3Ez ve 1.2G+Q+0.2S-Ex-

0.3E_y+0.3E_z yükleme durumlarıdır. 12 numaralı kolon elemanı ve 7 numaralı çapraz elemanı için Tablo 4.10’da analiz sonuçları özetlenmiştir.

4.7. Bulgular ve İrdemeler

Yapılan çalışmadan elde edilen veriler Tablo 4.10 ile sunulmuştur.

Tablo 4.10. Stabilite tasarım-analiz yöntemlerinde kullanılan değişken değerler ve sonuçları

Eleman ve doğrultu	Yöntemler	K	B ₁	B ₂	EA-EI	P _r (kN)	M _r (kNm)	P _d (kN)	M _d (kNm)	Δ (mm)	K.O.
12 Numaralı Kolon (Y)	1. Mertebe	1	-	-	1	3405.2	298.65	5867.3	1272.2	7.82	0.789
	BB-YİMA	1.9	1.027	1.081	1	3405.5	322.35	5867.3	1272.2	7.82	0.806
	BB-Nonlinear	1.9	-	1.12	1	3405.6	320.39	5867.3	1272.2	8.74	0.804
	GA-YİMA	1	1.027	1.101	0.8	3403.9	328.04	5867.3	1272.2	9.59	0.809
	GA-Nonlinear	1	-	1.11	0.8	3404.1	325.83	5867.3	1272.2	10.69	0.808
7 Numaralı Çapraz (X)	1. Mertebe	1	-	-	1	715.38	1.53	905.3	73.2	3.11	0.809
	BB-YİMA	1	2.128	1.015	1	722.69	3.25	905.3	73.2	3.11	0.838
	BB-Nonlinear	1	-	1.016	1	723.23	2.79	905.3	73.2	3.16	0.833
	GA-YİMA	1	2.133	1.018	0.8	724.44	3.26	905.3	73.2	3.8	0.840
	GA-Nonlinear	1	-	1.042	0.8	725.33	3.71	905.3	73.2	3.96	0.846

Tabloda, K:Burkulma boyu katsayısı, B₁: P-δ Etkilerini içeren katsayı (YİMA), B₂: YİMA için P-Δ Etkilerini içeren katsayı; Nonlinear için Stabilite tasarım yöntemlerine göre rijitlikleri azaltılmış veya azaltılmamış sistemin, ikinci mertebe kat ötelemelerinin birinci mertebe kat ötelemelerine oranı, EA-EI: Eksenel, kayma ve eğilme rijitlikleri, P_r: yüklerden oluşan eksenel kuvvet, M_r: Yüklerden oluşan Moment, P_d: Tasarım eksenel kuvvet dayanımı, M_d: Tasarım moment kuvvet dayanımı, Δ: Zemin kat sistem elverişsiz deplasmanı, K:O: Kapasite oranı, BB-YİMA: Burkulma Boyu yöntemi ile Yaklaşık İkinci Mertebe Analizi, BB-Nonlinear: Burkulma Boyu yöntemi ile Doğrusal Olmayan Analizi, GA-YİMA: Genel Analiz yöntemi ile Yaklaşık İkinci Mertebe Analizi, GA-Nonlinear: Genel Analiz yöntemi ile Doğrusal Olmayan Analizi ifade etmektedir.

Aşağıdaki irdeleme yapı planı orta bölgesinde bulunan, düşey yükler açısından kritik yük değerine sahip 12 numaralı (3/B aksı) kolon elemanı üzerinden yapılmıştır. Kolonun güçlü eksenini bina global eksen takımındaki Y eksenine doğrultusuna dik olduğu için, kolon global Y eksenine doğrultusundaki analiz sonuçlarına göre değerlendirmeler aşağıda sunulmuştur. 12 numaralı kolon elemanı için birinci mertebe ve stabilite tasarım yöntemlerinin analiz sonuçları Tablo 4.10 ile gösterilmiştir.

İç kuvvetlere göre değerlendirme yapıldığında, kolon aksel kuvvet değerleri birinci mertebe değerlerine nispeten değişiklik göstermemiştir. Aksel kuvvetteki değişimin olmamasının nedeni; yapı planı orta aks kolonu olmasından kaynaklanmaktadır. Moment değerleri incelendiğinde birinci mertebe analiz yöntemi sonuçlarına göre %7-10 oranlarında artışlar görülmüştür. Moment değerleri doğrusal ve doğrusal olmayan analize göre incelendiğinde, en yüksek değerlerin yaklaşık ikinci mertebe analizinde (YİMA) olduğu görülmektedir. Nonlinear analizin yapılamadığı yapılar için, YİMA'nın kullanımı çerçeve sistemlerin tasarımı için avantaj sağlamaktadır. GA ve BB yöntemleri açısından sonuçlar incelendiğinde, GA yöntemi kullanılarak elde edilen moment değerleri BB yöntemi kullanılarak elde edilen moment değerlerinden daha büyük çıktığı gözlenmektedir.

Deplasman değerleri incelendiğinde en yüksek değerlerin GA yöntemlerinde olduğu görülmektedir. GA yönteminin deplasman değerlerinin büyük olması, eleman rijitliklerini azaltmasından kaynaklanmaktadır. Deplasmanı artan sistemin ikinci mertebe etkileri ile moment değerleri daha fazla artış göstermiştir. Bu nedenle GA yöntemi ikinci mertebe etkilerini BB yönteminden daha iyi irdeleme şansı tanımaktadır.

Yapılan çalışmada BB yöntemi için kullanılan K katsayısı değerleri normal katlarda tasarım aksel kuvvet kapasitelerinde azaltma yaparken, zemin kat kolonlarında azaltma yapılmadığı gözlenmiştir. Bu durumun sebebi zemin kat burkulma boyu katsayılarının daha küçük değerlere sahip olmasından kaynaklanmıştır. Bu durum BB yöntemine dezavantaj sağlamıştır.

Yapılan analizler sonucunda eleman kapasite oranları incelendiğinde, stabilite tasarım yöntemleri kapasite oranlarının birbirine yakın değerlerde olduğu görülmektedir. Stabilite tasarım yöntemleri birinci mertebe kapasite oranından %2

civarında daha yüksek oranlar elde etmiştir. Kapasite oranındaki bu artışa moment değerlerindeki artış neden olmaktadır. Moment değerlerindeki artışa etki eden en önemli faktörün ikinci mertebe etkileri olduğu söylenebilir.

Aşağıdaki irdeleme yapı planı kenar kesiminde bulunan, 7 numaralı (4/A aksı) çapraz elemanı üzerinden yapılmıştır. Çapraz elemanı bina global eksen takımında X eksenini doğrultusunda çalıştığından, X eksenini doğrultusundaki analiz sonuçlarına göre değerlendirmeler aşağıda sunulmuştur. Çapraz elemanının birinci mertebe ve stabilite tasarım yöntemlerinin sonuçları Tablo 4.10 da gösterilmiştir.

Çapraz elemanı iç kuvvetler incelendiğinde, Stabilite tasarım yöntemleri eksenel ve moment değerleri birinci mertebe analizine göre yapı elemanını etkileyecek artışlar görülmektedir. Eksenel ve moment değerleri birinci mertebe analizinden artış oranları yöntemlere göre değerlendirildiğinde, Eksenel kuvvet değerleri %1-2, moment değerleri incelendiğinde %82-143 oranları arasında artışlar görülmüştür. Eksenel kuvvet değeri çapraz elemanı olarak çok fazla etken oluşturmayacak olup moment değeri elemanın kapasite oranında ciddi artışlara neden olmuştur. Bu artış oran olarak büyük gözükmemektedir ancak çok büyük değer artışları değildir. Çapraz elemanları eksenel eleman olarak tasarlandıkları için moment kapasiteleri çok düşük değerlerdedir. Eleman etkileşim denklemlerinde, moment kapasite oranından dolayı kapasitelerinde %3-5 oranları arasında artışına neden olmaktadır.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bina türü yapılar için yapı taşıyıcı sistemi seçimi en önemli faktördür. Seçilen taşıyıcı sistem yapının sadece düşey yükler altında güvenli olmasını değil, deprem etkisi altında ayakta kalmasını sağlayacaktır. Yapılan mühendislik hesapları, hesaplarda yapılan varsayımlar ve kabuller, yapının gerçek davranışına yaklaşık sonuçları sağlamaya çalışmaktadır. Bu nedenle yapı taşıyıcı sistemi, elverişsiz koşullar altında stabitesini (kararlılığını) koruyabilmelidir. Yapı stabitesini etkileyen elemanların ve sistemin şekil değiştirmeleri, şekil değiştirmelerden oluşan deplasmanlar ve ikinci merteye etkiler, başlangıç kusurları, artık gerilmeler ile dayanım ve rijitliklerdeki belirsizliklerin dikkate alınması gerekmektedir. Türkiye çelik yönetmeliği (ÇYTHYE-2016) çerçevesince bu durumlar dört farklı yöntem ile dikkate alınarak stabilite tasarım çalışması yapılmıştır. Çalışmanın amacı bu dört yöntemin çalışma metotlarını, avantaj ve dezavantajlarını irdelemek ve incelemektir. Yapılan çalışma sonucunda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Doğrusal olmayan analiz sonuçlarının gerçek davranışa yakın sonuçlar verdiği kabul edilerek, kolon elemanları için yaklaşık ikinci merteye analizi ile doğrusal olmayan analiz eleman kapasite oran sonuçları karşılaştırıldığında sonuçların birbirine yakın değerler sergilediği söylenebilir. Sonuçları iç kuvvetler açısından irdelediğinde, eksenel kuvvet değerlerinin her iki yöntemde de birbirine yakın değerlere ulaştığı görülür. Ancak moment değerleri karşılaştırıldığında yaklaşık ikinci merteye analiz sonuçlarının doğrusal olmayan analiz sonuçlarından %1 ile %5 arasında değişen oranda daha yüksek değerlere ulaştığı söylenebilir. Bu durum yaklaşık ikinci merteye analizi ile yapılan stabilite tasarımında daha güvenli bölgede kalındığını göstermektedir. Dezavantaj gibi gözükse de bu durum, stabilite tasarımında yaklaşık ikinci merteye analizi ile tasarım mühendislerinin yaygın olarak kullandığı spektrum (mod birleştirme) yöntemi kullanımına olanak sağlamaktadır.

Burkulma boyu yönteminde kullanılan burkulma boyu katsayısı K , yapı deplasmanını etkilememektedir. Genel analiz yöntemi rijitliklerdeki azaltma sebebiyle, tasarımı yapılan yapının deplasman ve oluşabilecek ikinci merteye etkileri

ile sınır değerlerini zorlamaya yönelik alışmaktadı. Böylesi bir zorlama tasarımcı için yapı stabilitesini daha iyi irdeleme şansı tanımaktadır.

elik yapılarda kullanılan kolon elemanları genellikle bir yönü diğer yönünden daha güçlü atalete sahiptir. Bu nedenle genellikle güçlü yönde moment aktaran, zayıf yönde ise mafsalı olarak tasarlanırlar. Stabilitate tasarımı için kullanılan Burkulma Boyu yöntemi, K katsayısı ile tasarım yapmaktadır. Burkulma boyu katsayısı K, elemanın eğilmeli burkulma durumu için, elemanın eksen narinlik oranları ile sınır durumu oluşturacak yönü tayin etmektedir. Bu tayinde elemanın güçlü yönündeki narinlik oranının zayıf yönündeki narinlik oranını geçmesi, yöntemin dayanım ve rijitliklerdeki belirsizliklerin dikkate alması için önem arz eder. Burkulma boyu yönteminde olumsuz iki durum ile karşılaşılabilir. Birinci durum güçlü eksenin zayıf eksen narinlik oranını geçmemesi ile elemanın basınç kuvveti dayanımında azaltma yapılamaması durumudur. Bu durum üç boyutlu bina tasarımında karşılaşılan durumdur. İkinci durumda burkulma boyu katsayısı K ile büyük narinlik oranlarının elde edilmesi durumudur. Elemanın basınç kuvveti dayanımı çok fazla azaltılarak stabilitate tasarımında aşırı güvenli bölgede kalınma durumlarını oluşturabilir.

Burkulma boyu yöntemi için K katsayısının hesabının tartışma konusu olması ve bu nedenle standartlar tarafından net bir K katsayısı hesabı önerilmiyor olması, yöntem için en büyük dezavantajdır. Genel analiz yönteminde böyle bir durum söz konusu olmadığından hesabındaki netlik ve uygulanabilirlik sınır durumlarından dolayı GA yöntemi daha avantajlı durumdadır.

Yapılan alışmalar neticesinde eksenel ve moment değerleri incelenecek olursa Burkulma Boyu ve Genel Analiz yöntemleri farklı i kuvvet değerlerini irdelemektedir. BB yönteminde eksenel kuvvet, GA yönteminde moment değeri üzerinde durmaktadır. Ancak eleman kapasite sonuçlarını gösteren, eğilme ve basınç altındaki bileşik etkiler denklemleri sonuçları birbirine yakın çıkmaktadır.

Genel analiz yöntemi ile yaklaşık ikinci mertebe analiz yöntemleri bir arada kullanılarak yapılan stabilitate tasarımında, B_2 katsayısı hesabı yapılırken AISC 360-16'da ifade edilen rijitliği azaltılmış sistem deplasmanı kullanılması önerilir.

Bundan sonraki stabilite tasarım çalışmalarını için aşağıdaki öneriler dikkate alınabilir.

- Yapı sistemi ile ilgili olarak, yüksek katlı yapı türleri, planında düzensizliğin bulunduğu yapı çeşitleri, katlar arası rijitlik farklı bulunan yapılar veya taşıyıcı sistemi karmaşık olan eğik taşıyıcı sistemler ile ilgili çalışmalar yapılabilir.
- Deprem hesap yöntemi olarak eşdeğer deprem yükünden farklı mod toplama veya mod birleştirme yöntemleri kullanılabilir.
- Malzeme bakımından elastik olmayan analiz ile stabilite tasarımı incelenebilir.

Genel analiz yöntemi ile yaklaşık ikinci mertebe analiz yöntemleri bir arada kullanılarak yapılan stabilite tasarımında, B_2 katsayısı hesabı yapılırken AISC 360-16 A.8'de ifade edilen rijitliği azaltılmış sistem deplasmanı kullanılması önerilir. Tez içerisinde yapılan YİMA B_2 katsayısı hesapları bu doğrultuda yapılmıştır.

KAYNAKLAR

- AISC 360-10, (2010). An American National Standart Specification for Structural Steel Buildings, American Institute of Steel Construction, Chicago.
- AISC 360-10, (2016). An American National Standart Specification for Structural Steel Buildings, American Institute of Steel Construction, Chicago.
- AISC Committee, (2013). Stability Design Guide of Steel Buildings, American Institute of Steel Construction, USA
- AISC Committee, (2019). Design Examples V15.1, American Institute of Steel Construction, USA
- Akbas, B., İleri Çelik Yapılar Ders Notları, GYTE, 2013
- Alıncıoğlu, M. B. (2020). Düzlem çelik çerçevelerde ikinci mertbe etkilerinin nümerik olarak incelenmesi. Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, 25(3), 1223-1238.
- ASCE (1997), Effective Length and Notional Load Approaches for Assessing Frame Stability: Implications for American Steel Design, Task Committee on Effective Length, American Society of Civil Engineers, New York, NY.
- Bektaş, Ş. (2012). A Comparative study on direct analysis method and effective length method in one-story semi-rigid frames (Master's thesis, Middle East Technical University).
- Birnstiel, C. and Iffland, J.S.B. (1980), "Factors Influencing Frame Stability," Journal of the Structural Division, ASCE, Vol. 106, No. 2, pp. 491–504.
- Chen, W.F. and Lui, E.M. (1987), Structural Stability: Theory and Implementation, Elsevier, New York, NY.
- Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esaslarına Dair Esaslar, Çevre Şehircilik Bakanlığı, Ankara, 2017
- Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmelik Hakkında Uygulama Kılavuzu, Çevre Şehircilik Bakanlığı, Ankara, 2017
- Durmaz, M. G. (2015). Çelik Yapılarda Stabilite Analizi Yaklaşımlarının Değerlendirilmesi (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Günaydın, A. Çerçeve Sistemlerin Stabilite Analizi için Yaklaşık bir Yöntem.
- Kavanagh, T.C. (1962), "Effective Length of Framed Columns," Transactions, Part II, ASCE, Vol. 127, pp. 81–101.
- LeMessurier, W.J. (1977), "A Practical Method of Second Order Analysis, Part 2—Rigid Frames," Engineering Journal, AISC, Vol. 14, No. 2, pp. 49–67.
- McGuire, W. (1992), "Computer-Aided Analysis," Constructional Steel Design: An Inter - national Guide, P.J. Dowling, J.E. Harding and R. Bjorhovde (eds.), Elsevier, New York, NY, pp. 915–932.

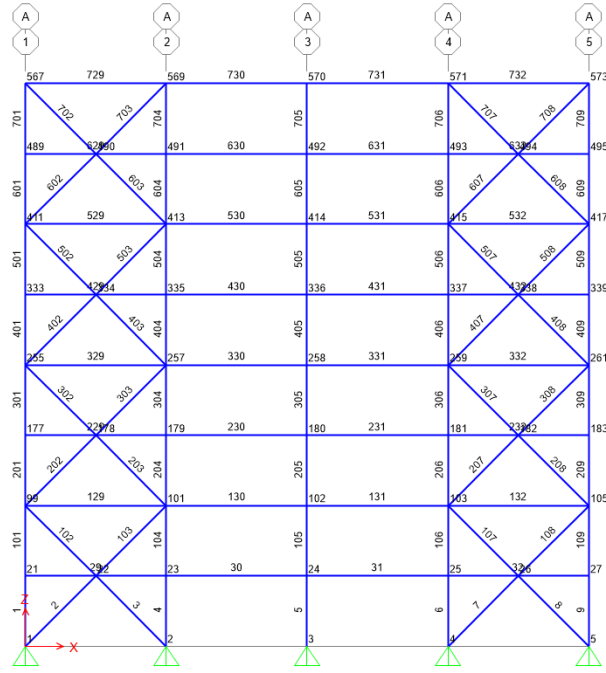
- McGuire, W., Gallagher, R.H. and Ziemian, R.D. (2000), Matrix Structural Analysis, 2nd Ed., John Wiley & Sons Inc., New York, NY.
- McGuire, W., Gallagher, R.H. and Ziemian, R.D. (2000), Matrix Structural Analysis, 2nd Ed., John Wiley & Sons Inc., New York, NY.
- Surovek, A. E., & Ziemian, R. D. (2005). The direct analysis method: Bridging the gap from linear elastic analysis to advanced analysis in steel frame design. In Structures Congress 2005: Metropolis and Beyond (pp. 1-11).
- Tasarım, Ç. Y. (2017). Hesap ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmelik Hakkında Uygulama Kılavuzu. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara
- Tasarım, Ç. Y. Hesap ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmelik,(2016).TC Resmi Gazete, 29614(4)
- TBDY-2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (2018)
- Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY-2018) Eğitim Elkitabı
- Türkiye Cumhuriyeti İnşaat Mühendisliği Odası, Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları Yönetmeliği Semineri, Kasım 2016
- White, D. W., Surovek, A. E., Alemdar, B. N., Chang, C. J., Kim, Y. D., & Kuchenbecker, G. H. (2006). Stability analysis and design of steel building frames using the 2005 AISC specification. Steel Structures, 6(2), 71-91.
- White, D. W., Surovek, A. E., Alemdar, B. N., Chang, C. J., Kim, Y. D., & Kuchenbecker, G. H. (2006). Stability analysis and design of steel building frames using the 2005 AISC specification. Steel Structures, 6(2), 71-91.
- White, D.W. and Chen, W.F. (ed.) (1993), Plastic Hinge Based Methods for Advanced Analy - sis and Design of Steel Frames: An Assessment of State-of-the-Art, SSRC, Bethlehem, PA.
- White, D.W. and Hajjar, J.F. (1997), "Design of Steel Frames without Consideration of Effective Length," Engineering Structures, Elsevier, Vol. 19, No. 10, pp. 797-810.
- Ziemian, R.D. (ed.) (2010), Guide to Stability Design Criteria for Metal Structures, 6th Ed., John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, NJ.

EKLER

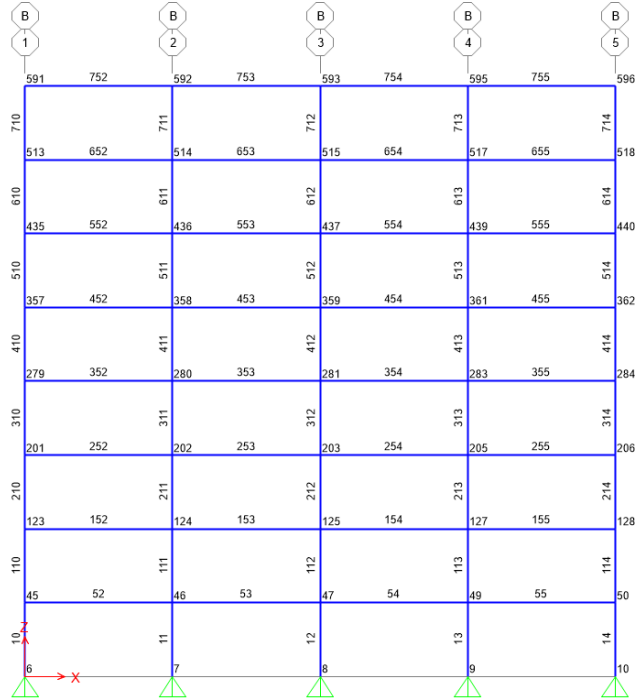
EK A. SAP2000 Çelik Yapı Eleman ve Düğüm Noktaları Numaraları

EK B. Yapılan Çalışma Sap2000 Dizayn Sonuçları

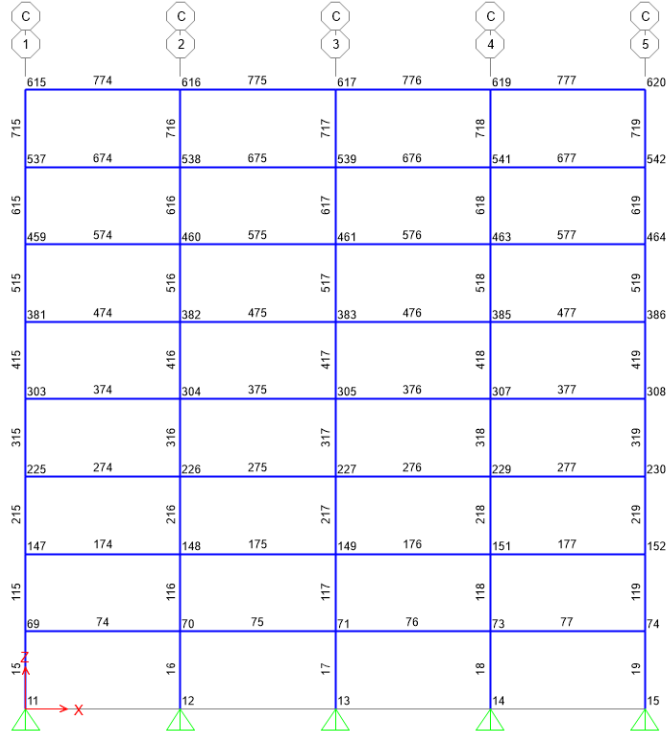
EK A SAP2000 Çelik Yapı Eleman ve Düğüm Noktaları Numaraları



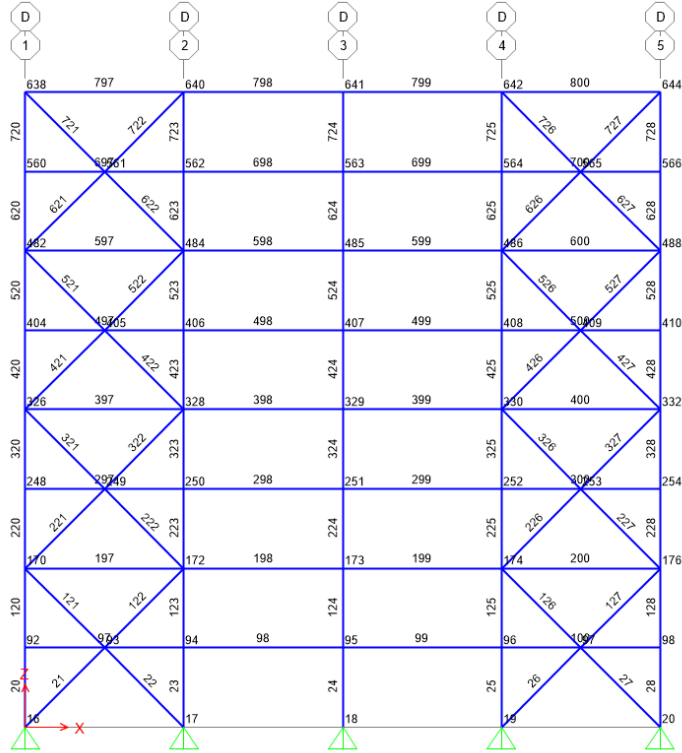
Şekil A. 1. Sap2000 A aksı eleman ve düğüm noktaları numaraları



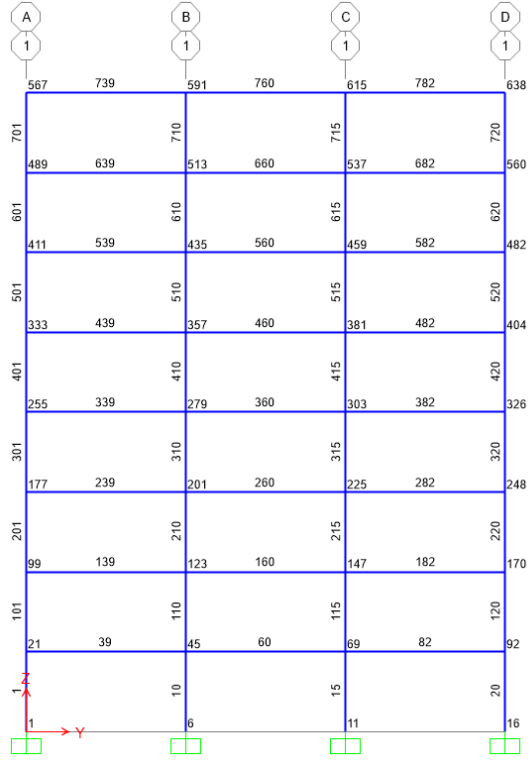
Şekil A.2. Sap2000 A aksı eleman ve düğüm noktaları numaraları



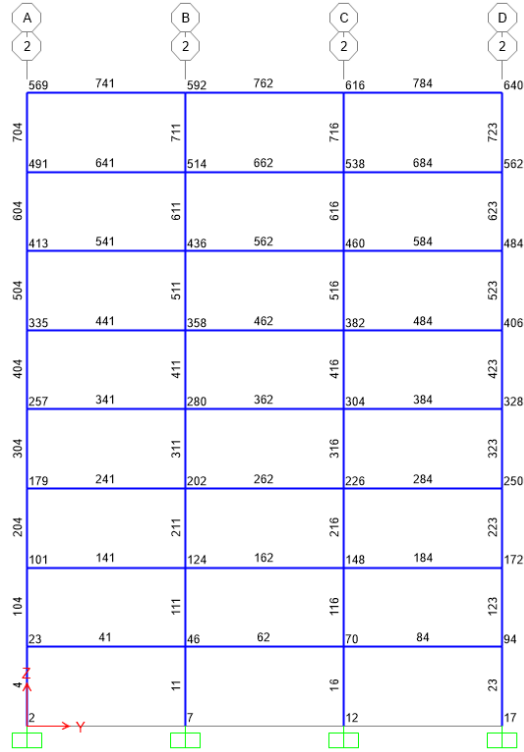
Şekil A.3. Sap2000 C aksı eleman ve düğüm noktaları numaraları



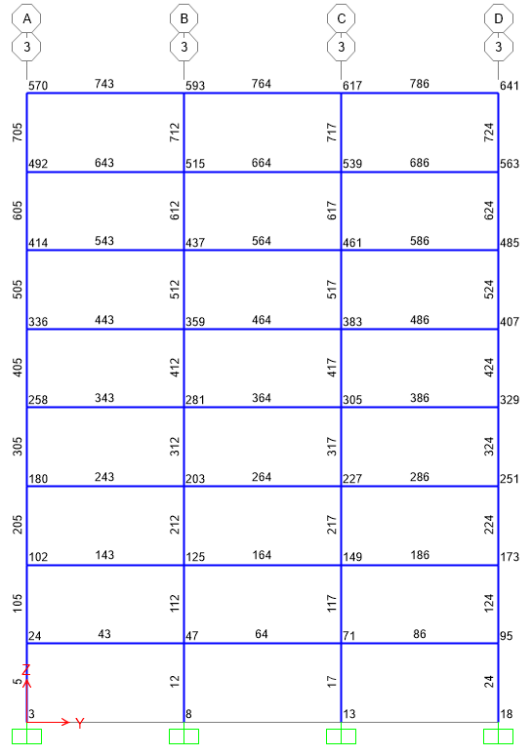
Şekil A.4. Sap2000 D aksı eleman ve düğüm noktaları numaraları



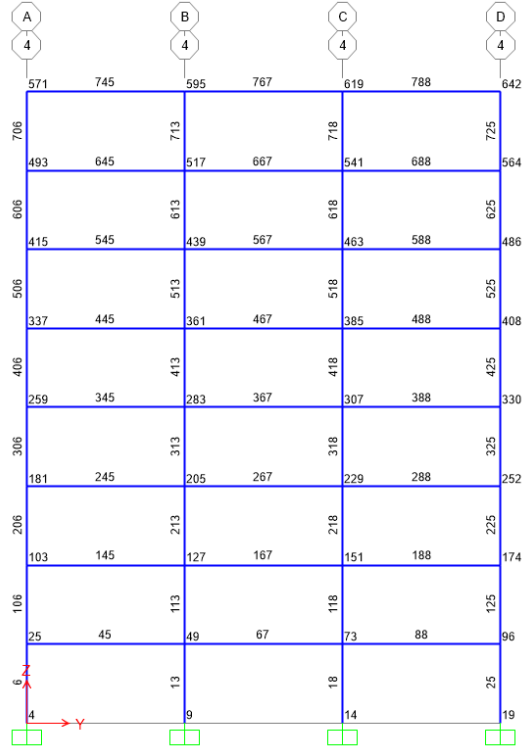
Şekil A.5. Sap2000 1 aksı eleman ve düğüm noktaları numaraları



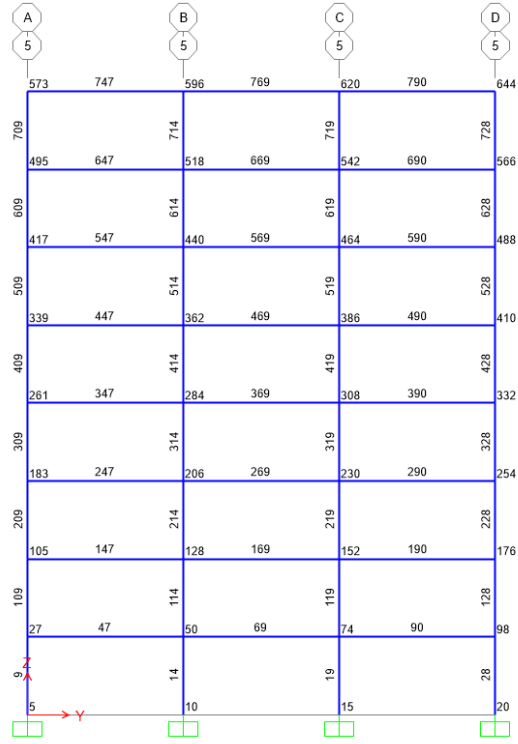
Şekil A.6. Sap2000 2 aksı eleman ve düğüm noktaları numaraları



Şekil A.7. Sap2000 3 aksı eleman ve düğüm noktaları numaraları



Şekil A.8. Sap2000 4 aksı eleman ve düğüm noktaları numaraları



Şekil A.9. Sap2000 5 aksı eleman ve düğüm noktaları numaraları

EK B: Yapılan Çalışma Sap2000 Dizayn Sonuçları

AISC 360-16 STEEL SECTION CHECK (Summary for Combo and Station)										Units: KN, m, C		
Frame :	12	X Mid :	14.	Combo :	1.2G+1Q+0.2S+0.3	Design Type :	Column					
Length :	3.5	Y Mid :	7.	Shape :	HE450B	Frame Type :	SMP					
Loc :	0.	Z Mid :	1.75	Class :	Seismic HD	Princpl Rot :	0. degrees					
Provision :	LRFD	Analysis :	Direct Analysis									
D/C Limit :	0.95	2nd Order :	Amplified 1st Order	Reduction :	Tau-b Variable							
AlphaPr/Fy :	0.44	AlphaPr/Fe :	0.18	Tau_b :	1.	EA factor :	0.8	EI factor :	0.8			
PhiB :	0.9	PhiC :	0.9	PhiTY :	0.9	PhiTF :	0.75					
PhiS :	0.9	PhiS-RI :	1.	PhiST :	0.9							
A :	0.022	I33 :	7.989E-04	r33 :	0.191	S33 :	0.004	Av3 :	0.013			
J :	4.480E-06	I22 :	1.172E-04	r22 :	0.073	S22 :	7.813E-04	Av2 :	0.006			
E :	200000000.	Fy :	35000.	Ry :	1.1	r33 :	0.004	Cw :	5.267E-06			
RLLF :	1.	Fu :	510000.	r22 :	0.001							
STRESS CHECK FORCES & MOMENTS (Combo 1.2G+1Q+0.2S+0.3Ex+1Ey+0.3Ez)												
Location		Pu	Mu33	Mu22	Vu2	Vu3	Tu					
0.		-3403.459	298.589	0.	100.212	0.693	0.001					
PRM DEMAND/CAPACITY RATIO (H1-1a)												
D/C Ratio :	0.809 = 0.58 + 0.229 + 0.											
	= (Pr/Pc) + (8/9) (Mr33/Mc33) + (8/9) (Mr22/Mc22)											
COMPACTNESS												
Slenderness	Lambda	Lambda_hd	Lambda_md	Lambda_p	Lambda_r	Lambda_s	Compactness					
Major/Flange	5.769	7.242	9.052	9.02	23.736		Seismic HD					
/Web	24.571	44.535	48.921	89.246	135.293	225.352	Seismic HD					
Minor/Flange	5.769	7.242	9.052	9.02	23.736		Seismic HD					
/Web	24.571	44.535	48.921	89.246	135.293	225.352	Seismic HD					
Axial/Flange	5.769				13.292		Seismic HD					
/Web	24.571				35.366		Seismic HD					
AXIAL FORCE & BIAXIAL MOMENT DESIGN (H1-1a)												
Factor	L	K1	K2	B1	B2	Cm						
Major Bending	1.	1.	1.	1.027	1.101	1.						
Minor Bending	1.	1.	1.	1.	1.	0.6						
	Lt1b	K1b	Cb									
LTB	1.	1.	1.886									
	Pu	phi*Pnc	phi*Pnt									
	Force	Capacity	Capacity									
Axial	-3403.923	5867.293	6965.1									
	Mu	phi*Mn	phi*Mn	phi*Mn								
	Moment	Capacity	No LTB	Cb=1								
Major Moment	328.038	1272.249	1272.249	1246.787								
Minor Moment	0.	382.761										

Şekil B.1. GA yaklaşık ikinci mertebeye 12 numaralı kolon dizayn sonuç detayı

AISC 360-16 STEEL SECTION CHECK (Summary for Combo and Station)										Units: KN, m, C		
Frame :	7	X Mid :	22.75	Combo :	1.2G+1Q+0.2S-Ex-Design	Type :	Brace					
Length :	4.95	Y Mid :	0.	Shape :	TUBO140X140X12	Frame Type :	SMP					
Loc :	2.475	Z Mid :	1.75	Class :	Seismic HD	Princpl Rot :	0. degrees					
Provision :	LRFD	Analysis :	Direct Analysis									
D/C Limit :	0.95	2nd Order :	Amplified 1st Order	Reduction :	Tau-b Variable							
AlphaPr/Fy :	0.429	AlphaPr/Fe :	0.531	Tau_b :	1.	EA factor :	0.8	EI factor :	0.8			
PhiB :	0.9	PhiC :	0.9	PhiTY :	0.9	PhiTF :	0.75					
PhiS :	0.9	PhiS-RI :	1.	PhiST :	0.9							
A :	0.006	I33 :	1.692E-05	r33 :	0.052	S33 :	2.418E-04	Av3 :	0.003			
J :	2.517E-06	I22 :	1.692E-05	r22 :	0.052	S22 :	2.418E-04	Av2 :	0.003			
E :	200000000.	Fy :	275000.	Ry :	1.1	r33 :	2.958E-04	Cw :				
RLLF :	1.	Fu :	430000.	r22 :	2.958E-04							
HSS Welding: ERW Reduce HSS Thickness? No												
STRESS CHECK FORCES & MOMENTS (Combo 1.2G+1Q+0.2S-Ex-0.3Ey+0.3Ez)												
Location		Pu	Mu33	Mu22	Vu2	Vu3	Tu					
2.475		-715.664	1.527	0.	0.	0.	0.					
PRM DEMAND/CAPACITY RATIO (H1-1a)												
D/C Ratio :	0.84 = 0.8 + 0.04 + 0.											
	= (Pr/Pc) + (8/9) (Mr33/Mc33) + (8/9) (Mr22/Mc22)											
COMPACTNESS												
Slenderness	Lambda	Lambda_hd	Lambda_md	Lambda_p	Lambda_r	Lambda_s	Compactness					
Major/Flange	9.667	16.713	19.542	30.204	40.182		Seismic HD					
/Web	9.667	50.842	55.954	65.263	153.718		Seismic HD					
Minor/Flange	9.667	50.842	55.954	65.263	153.718		Seismic HD					
/Web	9.667	16.713	19.542	30.204	40.182		Seismic HD					
Axial/Flange	9.667				40.182		Seismic HD					
/Web	9.667				40.182		Seismic HD					
AXIAL FORCE & BIAXIAL MOMENT DESIGN (H1-1a)												
Factor	L	K1	K2	B1	B2	Cm						
Major Bending	1.	1.	1.	2.133	1.018	1.						
Minor Bending	1.	1.	1.	2.133	1.018	1.						
	Lt1b	K1b	Cb									
LTB	1.	1.	1.316									
	Pu	phi*Pnc	phi*Pnt									
	Force	Capacity	Capacity									
Axial	-724.441	905.302	1520.64									
	Mu	phi*Mn	phi*Mn	phi*Mn								
	Moment	Capacity	No LTB	Cb=1								
Major Moment	3.258	73.205	73.205	73.205								
Minor Moment	0.	73.205										

Şekil B.2. GA yaklaşık ikinci mertebeye 7 numaralı çapraz dizayn sonuç detayı

Units **KN, m, C**

AISC 360-16 STEEL SECTION CHECK (Summary for Combo and Station)
Units : KN, m, C

Frame : 12 X Mid: 14. Combo: 1.2G+1Q+0.2S+0.3Design Type: Column
Length: 3.5 Y Mid: 7. Shape: HE450B Frame Type: SMF
Loc : 0. Z Mid: 1.75 Class: Seismic HD Princpl Rot: 0. degrees

Provision: LRFD Analysis: Effective Length
D/C Limit=0.95 2nd Order: Amplified 1st Order

PhiB=0.9 PhiC=0.9 PhiTY=0.9 PhiTF=0.75
PhiS=0.9 PhiS-RI=1. PhiST=0.9

A=0.022 I33=7.595E-04 r33=0.151 S33=0.004 Av3=0.013
J=4.490E-06 I22=1.172E-04 r22=0.073 S22=7.813E-04 Av2=0.006
E=200000000. Fy=355000. Ry=1.1 z33=0.004 Cv=5.267E-06
RLLF=1. Fu=510000. z22=0.001

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS (Combo 1.2G+1Q+0.2S+0.3Ex+1Ey+0.3Ez)
Location Pu Mu33 Mu22 Vu2 Vu3 Tu
0. -3405.156 298.653 0. 100.002 0.692 8.835E-04

RFM DEMAND/CAPACITY RATIO (H1-1a)
D/C Ratio: 0.806 = 0.58 + 0.225 + 0.
= (Pr/Pc) + (8/9) (Mr33/Mc33) + (8/9) (Mr22/Mc22)

COMPACTNESS

Slenderness	Lambda	Lambda_hd	Lambda_md	Lambda_p	Lambda_r	Lambda_s	Compactness
Major/Flange	5.769	7.242	9.052	9.02	23.736		Seismic HD
/Web	24.571	44.521	48.915	89.246	135.293	225.352	Seismic HD
Minor/Flange	5.769	7.242	9.052	9.02	23.736		Seismic HD
/Web	24.571	44.521	48.915	89.246	135.293	225.352	Seismic HD
Axial/Flange	5.769				13.292		Seismic HD
/Web	24.571				35.366		Seismic HD

AXIAL FORCE & BIAXIAL MOMENT DESIGN (H1-1a)

Factor	L	K1	K2	B1	B2	Cm
Major Bending	1.	1.	1.9	1.027	1.081	1.
Minor Bending	1.	1.	1.	1.	1.	0.6

LTB

Lt/b	Klt/b	Cb
1.	1.	1.882

Axial

Pu Force	phi*Pnc Capacity	phi*Pnt Capacity
-3405.536	5867.293	6965.1

Major Moment

Mu Moment	phi*Mn Capacity	phi*Mn No LTB	phi*Mn Cb=1
322.352	1272.249	1272.249	1246.787

Minor Moment

Mu Moment	phi*Mn Capacity	phi*Mn No LTB	phi*Mn Cb=1
0.	382.761		

Şekil B.3. BB yaklaşık ikinci mertebeye 12 numaralı kolon dizayn sonuç detayı

Units **KN, m, C**

AISC 360-16 STEEL SECTION CHECK (Summary for Combo and Station)
Units : KN, m, C

Frame : 7 X Mid: 22.75 Combo: 1.2G+1Q+0.2S-Ex-Design Type: Brace
Length: 4.95 Y Mid: 0. Shape: TUBO140X140X12 Frame Type: SMF
Loc : 2.475 Z Mid: 1.75 Class: Seismic HD Princpl Rot: 0. degrees

Provision: LRFD Analysis: Effective Length
D/C Limit=0.95 2nd Order: Amplified 1st Order

PhiB=0.9 PhiC=0.9 PhiTY=0.9 PhiTF=0.75
PhiS=0.9 PhiS-RI=1. PhiST=0.9

A=0.006 I33=1.692E-05 r33=0.052 S33=2.418E-04 Av3=0.003
J=2.517E-05 I22=1.692E-05 r22=0.052 S22=2.418E-04 Av2=0.003
E=200000000. Fy=375000. Ry=1.1 z33=2.958E-04
RLLF=1. Fu=430000. z22=2.958E-04

HSS Welding: ERM Reduce HSS Thickness? No

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS (Combo 1.2G+1Q+0.2S-Ex-0.3Ey+0.3Ez)
Location Pu Mu33 Mu22 Vu2 Vu3 Tu
2.475 -715.378 1.527 0. 0. 0. 0.

RFM DEMAND/CAPACITY RATIO (H1-1a)
D/C Ratio: 0.838 = 0.758 + 0.039 + 0.
= (Pr/Pc) + (8/9) (Mr33/Mc33) + (8/9) (Mr22/Mc22)

COMPACTNESS

Slenderness	Lambda	Lambda_hd	Lambda_md	Lambda_p	Lambda_r	Lambda_s	Compactness
Major/Flange	9.667	16.713	19.542	30.204	40.182		Seismic HD
/Web	9.667	50.865	55.989	65.263	153.719		Seismic HD
Minor/Flange	9.667	16.713	19.542	30.204	40.182		Seismic HD
/Web	9.667	50.865	55.989	65.263	153.719		Seismic HD
Axial/Flange	9.667				40.182		Seismic HD
/Web	9.667				40.182		Seismic HD

AXIAL FORCE & BIAXIAL MOMENT DESIGN (H1-1a)

Factor	L	K1	K2	B1	B2	Cm
Major Bending	1.	1.	1.	2.128	1.015	1.
Minor Bending	1.	1.	1.	2.128	1.015	1.

LTB

Lt/b	Klt/b	Cb
1.	1.	1.316

Axial

Pu Force	phi*Pnc Capacity	phi*Pnt Capacity
-722.69	905.302	1520.64

Major Moment

Mu Moment	phi*Mn Capacity	phi*Mn No LTB	phi*Mn Cb=1
3.249	73.205	73.205	73.205

Minor Moment

Mu Moment	phi*Mn Capacity	phi*Mn No LTB	phi*Mn Cb=1
0.	73.205		

Şekil B.4. BB yaklaşık ikinci mertebeye 7 numaralı çapraz dizayn sonuç detayı

AISC 360-16 STEEL SECTION CHECK (Summary for Combo and Station) Units : KN, m, C

Frame : 12 X Mid: 14. Combo: 1.2G+1Q+0.2S+0.3Design Type: Column
 Length: 3.5 Y Mid: 7. Shape: HE450B Frame Type: SMF
 Loc : 0. Z Mid: 1.75 Class: Compact Princpl Rot: 0. degrees

Provision: LRFD Analysis: Direct Analysis
 D/C Limit=0.95 2nd Order: General 2nd Order Reduction: Tau-b Variable
 AlphaPr/Py=0.44 AlphaPr/Pe=0.18 Tau_b=1. EA factor=0.8 EI factor=0.8

PhiB=0.9 PhiC=0.9 PhiTY=0.9 PhiTF=0.75
 PhiS=0.9 PhiS-RI=1. PhiST=0.9

A=0.022 I33=7.989E-04 x33=0.191 S33=0.004 Av3=0.013
 J=4.480E-06 I22=1.172E-04 x22=0.073 S22=7.813E-04 Av2=0.006
 E=200000000. Fy=355000. Ry=1.1 z33=0.004 Cv=5.267E-06
 RLLF=1. Fu=510000. z22=0.001

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS (Combo 1.2G+1Q+0.2S+0.3Ex+1Ey+0.3Ez)

Location	Fu	Mu33	Mu22	Vu2	Vu3	Tu
0.	-3404.062	325.834	1.335E-06	98.055	1.748	0.001

PHM DEMAND/CAPACITY RATIO (H1-1a)
 D/C Ratio: 0.808 = 0.58 + 0.228 + 0.
 = (Pr/Pc) + (8/9) (Mr33/Mc33) + (8/9) (Mr22/Mc22)

COMPACTNESS

Slenderness	Lambda	Lambda_p	Lambda_r	Lambda_s	Compactness
Major/Flange	5.769	9.02	23.736		Compact
/Web	24.571	89.246	135.293	225.352	Compact
Minor/Flange	5.769	9.02	23.736		Compact
/Web	24.571	89.246	135.293	225.352	Compact
Axial/Flange	5.769		13.292		Compact
/Web	24.571		35.366		Compact

AXIAL FORCE & BIAXIAL MOMENT DESIGN (H1-1a)

Factor	L	K1	K2	B1	B2	Cm
Major Bending	1.	1.	1.	1.	1.	0.535
Minor Bending	1.	1.	1.	1.	1.	0.6

	Lt1b	K1tb	Cb
LTB	1.	1.	1.829

	Fu	phi*Pnc	phi*Pnt
	Force	Capacity	Capacity
Axial	-3404.062	5867.293	6965.1

	Mu	phi*Mn	phi*Mn	phi*Mn
	Moment	Capacity	No LTB	Cb=1
Major Moment	325.834	1272.249	1272.249	1246.787
Minor Moment	1.335E-06	382.761		

Şekil B.4. GA Nonlinear 12 numaralı kolon dizayn sonuç detayı

AISC 360-16 STEEL SECTION CHECK (Summary for Combo and Station) Units : KN, m, C

Frame : 7 X Mid: 22.75 Combo: 1.2G+1Q+0.2S-Ex-Design Type: Brace
 Length: 4.95 Y Mid: 0. Shape: TUBO140X140X12 Frame Type: SMF
 Loc : 2.475 Z Mid: 1.75 Class: Compact Princpl Rot: 0. degrees

Provision: LRFD Analysis: Direct Analysis
 D/C Limit=0.95 2nd Order: General 2nd Order Reduction: Tau-b Variable
 AlphaPr/Py=0.429 AlphaPr/Pe=0.532 Tau_b=1. EA factor=0.8 EI factor=0.8

PhiB=0.9 PhiC=0.9 PhiTY=0.9 PhiTF=0.75
 PhiS=0.9 PhiS-RI=1. PhiST=0.9

A=0.006 I33=1.692E-05 x33=0.052 S33=2.418E-04 Av3=0.003
 J=2.817E-05 I22=1.692E-05 x22=0.052 S22=2.418E-04 Av2=0.003
 E=200000000. Fy=275000. Ry=1.1 z33=2.568E-04
 RLLF=1. Fu=430000. z22=2.568E-04

HSS Welding: ERW Reduce HSS Thickness? No

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS (Combo 1.2G+1Q+0.2S-Ex-0.3Ey+0.3Ez)

Location	Fu	Mu33	Mu22	Vu2	Vu3	Tu
2.475	-725.33	3.712	-0.009	-0.182	-0.428	0.

PHM DEMAND/CAPACITY RATIO (H1-1a)
 D/C Ratio: 0.846 = 0.801 + 0.045 + 0.
 = (Pr/Pc) + (8/9) (Mr33/Mc33) + (8/9) (Mr22/Mc22)

COMPACTNESS

Slenderness	Lambda	Lambda_p	Lambda_r	Lambda_s	Compactness
Major/Flange	9.667	30.204	40.182		Compact
/Web	9.667	65.263	153.718		Compact
Minor/Flange	9.667	65.263	153.718		Compact
/Web	9.667	30.204	40.182		Compact
Axial/Flange	9.667		40.182		Compact
/Web	9.667		40.182		Compact

AXIAL FORCE & BIAXIAL MOMENT DESIGN (H1-1a)

Factor	L	K1	K2	B1	B2	Cm
Major Bending	1.	1.	1.	1.	1.	1.
Minor Bending	1.	1.	1.	1.	1.	1.

	Lt1b	K1tb	Cb
LTB	1.	1.	1.153

	Fu	phi*Pnc	phi*Pnt
	Force	Capacity	Capacity
Axial	-725.33	905.302	1520.64

	Mu	phi*Mn	phi*Mn	phi*Mn
	Moment	Capacity	No LTB	Cb=1
Major Moment	3.712	73.205	73.205	73.205
Minor Moment	-0.009	73.205		

Şekil B.5. GA Nonlinear 7 numaralı çapraz dizayn sonuç detayı

Units **KN, m, C** ▾

AISC 360-16 STEEL SECTION CHECK (Summary for Combo and Station)
Units : KN, m, C

Frame : 12 X Mid: 14. Combo: 1.2G+1Q+0.2S+0.3Design Type: Column
Length: 3.5 Y Mid: 7. Shape: HE450B Frame Type: SMF
Loc : 0. Z Mid: 1.75 Class: Compact Princpl Rot: 0. degrees

Provision: LRFD Analysis: Effective Length
D/C Limit=0.95 2nd Order: General 2nd Order

PhiB=0.9 PhiC=0.9 PhiTY=0.9 PhiTF=0.75
PhiS=0.9 PhiS-RI=1. PhiST=0.9

A=0.022 I33=7.985E-04 r33=0.191 S33=0.004 Av3=0.013
J=4.480E-06 I22=1.172E-04 r22=0.073 S22=7.813E-04 Av2=0.006
E=200000000. Fy=355000. Ry=1.1 z33=0.004 Cv=5.267E-06
RLLF=1. Fu=510000. z22=0.001

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS (Combo 1.2G+1Q+0.2S+0.3Ex+1Ey+0.3Ez)

Location	Pu	Mu33	Mu22	Vu2	Vu3	Tu
0.	-3405.641	320.385	3.778E-06	98.304	1.532	8.656E-04

PMI DEMAND/CAPACITY RATIO (H1-1a)
D/C Ratio: 0.804 = 0.59 + 0.224 + 0.
= (Pr/Pc) + (8/9) (Mr33/Mc33) + (8/9) (Mr22/Mc22)

COMPACTNESS

Slenderness	Lambda	Lambda_p	Lambda_r	Lambda_s	Compactness
Major/Flange	5.769	9.02	23.736		Compact
/Web	24.571	89.246	135.293	225.352	Compact
Minor/Flange	5.769	9.02	23.736		Compact
/Web	24.571	89.246	135.293	225.352	Compact
Axial/Flange	5.769		13.252		Compact
/Web	24.571		35.366		Compact

AXIAL FORCE & BIAXIAL MOMENT DESIGN (H1-1a)

Factor	L	K1	K2	B1	B2	Cm
Major Bending	1.	1.	1.9	1.	1.	0.535
Minor Bending	1.	1.	1.	1.	1.	0.6

	Lt/b	Klt/b	Cb
LTB	1.	1.	1.837

	Pu	phi*Pnc	phi*Pnt
	Force	Capacity	Capacity
Axial	-3405.641	5867.293	6965.1

	Mu	phi*Mn	phi*Mn	phi*Mn
	Moment	Capacity	No LTB	Cb=1
Major Moment	320.385	1272.249	1272.249	1246.787
Minor Moment	3.778E-06	382.761		

Şekil B.6. BB Nonlinear 12 numaralı kolon dizayn sonuç detayı

Units **KN, m, C** ▾

AISC 360-16 STEEL SECTION CHECK (Summary for Combo and Station)
Units : KN, m, C

Frame : 7 X Mid: 22.75 Combo: 1.2G+1Q+0.2S-Ex-Design Type: Brace
Length: 4.95 Y Mid: 0. Shape: TUBO140X140X12 Frame Type: SMF
Loc : 2.475 Z Mid: 1.75 Class: Compact Princpl Rot: 0. degrees

Provision: LRFD Analysis: Effective Length
D/C Limit=0.95 2nd Order: General 2nd Order

PhiB=0.9 PhiC=0.9 PhiTY=0.9 PhiTF=0.75
PhiS=0.9 PhiS-RI=1. PhiST=0.9

A=0.006 I33=1.692E-05 r33=0.052 S33=2.418E-04 Av3=0.003
J=2.517E-05 I22=1.692E-05 r22=0.052 S22=2.418E-04 Av2=0.003
E=200000000. Fy=275000. Ry=1.1 z33=2.958E-04
RLLF=1. Fu=430000. z22=2.958E-04

HSS Welding: ERW Reduce HSS Thickness? No

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS (Combo 1.2G+1Q+0.2S-Ex-0.3Ey+0.3Ez)

Location	Pu	Mu33	Mu22	Vu2	Vu3	Tu
2.475	-723.226	2.786	-0.006	-0.144	-0.34	0.

PMI DEMAND/CAPACITY RATIO (H1-1a)
D/C Ratio: 0.833 = 0.795 + 0.034 + 0.
= (Pr/Pc) + (8/9) (Mr33/Mc33) + (8/9) (Mr22/Mc22)

COMPACTNESS

Slenderness	Lambda	Lambda_p	Lambda_r	Lambda_s	Compactness
Major/Flange	9.667	30.204	40.182		Compact
/Web	9.667	65.263	153.718		Compact
Minor/Flange	9.667	65.263	153.718		Compact
/Web	9.667	30.204	40.182		Compact
Axial/Flange	9.667		40.182		Compact
/Web	9.667		40.182		Compact

AXIAL FORCE & BIAXIAL MOMENT DESIGN (H1-1a)

Factor	L	K1	K2	B1	B2	Cm
Major Bending	1.	1.	1.	1.	1.	1.
Minor Bending	1.	1.	1.	1.	1.	1.

	Lt/b	Klt/b	Cb
LTB	1.	1.	1.149

	Pu	phi*Pnc	phi*Pnt
	Force	Capacity	Capacity
Axial	-723.226	905.302	1520.64

	Mu	phi*Mn	phi*Mn	phi*Mn
	Moment	Capacity	No LTB	Cb=1
Major Moment	2.786	73.205	73.205	73.205
Minor Moment	-0.006	73.205		

Tn Tn phi*Tn

Şekil B.7. BB Nonlinear 7 numaralı çapraz dizayn sonuç detayı

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : İsmail KUL

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2019, Sakarya Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği
- **Yüksek lisans** : Devam Ediyor, Sakarya Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yapı Bilim Dalı

MESLEKİ DENEYİM :

- 2021 yılında Düzce Yiğitler Çelik Yapı firmasında İnşaat Mühendisi olarak çalıştı.

TEZDEN TÜRETİLEN MAKALE:

- Çelik Yapılarda Stabilite Tasarım Yöntemlerinin Değerlendirilmesi (Uluslararası Hakemli Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi Sayı 18)