

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ÇELİK KİRİŞ-KOLON ELEMANLARIN EUROCODE 3 VE AISC 360-05
STANDARTLARINA GÖRE İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş. Müh. Cihan ÇELİK

Anabilim Dalı: İnşaat Mühendisliği

Programı: Yapı Mühendisliği

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Cavidan YORGUN

Ekim 2011

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ÇELİK KİRİŞ-KOLON ELEMANLARIN EUROCODE 3 VE AISC 360-05
STANDARTLARINA GÖRE İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş. Müh. Cihan ÇELİK

501081019

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 23 Eylül 2011

Tezin Savunulduğu Tarih : 04 Ekim 2011

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Cavidan YORGUN (İTÜ)

Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Nesrin YARDIMCI (YÜ)

Y. Doç. Dr. Mecit ÇELİK (İTÜ)

Ekim 2011

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasında, iki eksenine göre simetrik I kesitlerin eksenel basınç ve iki eksende eğilme etkisi altında olması durumu Eurocode 3 ve AISC 360-05 standartlarında ele alınmış ve tasarım konuları incelenmiştir.

Yüksek lisans öğrenimim sırasında değerli bilgileriyle her zaman yol gösteren, tez çalışmam süresince bana değerli vakitlerini ayıran ve her konuda yardımını esirgemeyen danışman hocam Sayın Prof. Dr. Cavidan Yorgun' a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Kaynak araştırması ve konuların irdelenmesi sırasında verdiği ilginç fikirlerle destek olan meslektaş arkadaşım Sayın İnş. Yük. Müh. Turgay Yıldız' a; tez çalışmam ile ilgili fikir ve görüşlerini esirgemeyen mesai arkadaşım Sayın İnş. Yük. Müh. İhsan Doğan' a; bu çalışma esnasında her türlü olanakları kullanmamı sağlayan ve yeterli esnekliği gösteren müdürüm Sayın İnş. Yük. Müh. Kubilay Savaşeri' ye teşekkürlerimi sunarım.

Hayatımın her safhasında, kararlarım saygı gösterip daima destek veren aileme yanımda oldukları için minnettarım.

Mayıs 2011

Cihan ÇELİK

İnş. Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ.....	iii
KISALTMALAR	vii
SEMBOL LİSTESİ	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
ŞEKİL LİSTESİ.....	xiii
ÖZET.....	xv
SUMMARY	xvii
1. GİRİŞ	1
2. ÇELİK YAPILARDA EĞİLME VE NORMAL KUVVET ETKİSİNDEKİ ELEMENLARIN DAVRANIŞI.....	3
2.1 Kiriş-kolon Elemanları Genel Yaklaşım.....	3
2.2 Kiriş-Kolon Elemanda Düzlemde Eğilme	4
2.2.1 Elastik kiriş-kolonlar	5
2.2.2 Tam plastik kiriş-kolonlar	10
2.2.3 Sınır dayanım	12
2.2.3.1 Genel	12
2.2.3.2 Kiriş-kolon eleman elasto-plastik dayanımı.....	12
2.3 Kiriş-kolon Elemanda Eğilmeden Dolayı Oluşan Burulma Burkulması	14
2.3.1 Elastik kiriş-kolonlar	14
2.3.1.1 Eşit uç momentli kiriş-kolonlar.....	14
2.3.1.2 Eşit olmayan uç momentli kiriş-kolonlar	16
2.3.2 Elastik olmayan kiriş-kolonlar	18
2.3.3 Son dayanım (Kapasite)	19
2.4 Kiriş-Kolon Elemanda İki Eksenli Eğilme	20
3. EUROCODE3’ TE İKİ EKSENİNE GÖRE SİMETRİK İ KESİTLİ ELEMENLARIN TASARIMI.....	23
3.1 Kesitlerin Sınıflandırılması ve Sınıflandırma Kriterleri	23
3.2 Eleman Kesit Dayanımı İçin Sınır Durumu	24
3.2.1 Genel	24
3.2.2 Kesit dayanımı	24
3.2.2.1 Dış yükün yalnızca eksenel basınç olması durumu	24
3.2.2.2 Dış yükün yalnızca eğilme momenti olması durumu.....	25
3.2.2.3 Dış yükün eğilme momenti ve eksenel kuvvet olması durumu	25
3.2.3 Başlık ve gövde elemanlarının burkulma dayanımı.....	27
3.2.3.1 Basınç altındaki üniform elemanlar	27
3.2.3.2 Eğilme etkisindeki üniform elemanlar	29
3.2.3.3 Eğilme ve eksenel basınç etkisindeki üniform elemanlar	31
4. İKİ EKSENLİ EĞİLME VE EKSENEL BASINÇ KUVVETİ ETKİSİNDEKİ BİR ELEMANIN EC3’ TE DEĞERLENDİRİLMESİ	33
5. AISC 360-05 ‘ TE İKİ EKSENLİ EĞİLME VE EKSENEL BASINÇ ETKİSİNDEKİ ETKİSİNDEKİ ELEMENLARIN TASARIMI VE KONTROLÜ.....	45
5.1 Yerel Burkulma Durumları İçin Kesitlerin Sınıflandırılması	45
5.1.1 Eleman açıklığı boyunca her başlıklar bir kenardan gövde parçasına sürekli birleşen elemanlar	46

5.1.2 Mesnetler arası boyunca yanal yönde iki kenardan sürekli tutulu elemanlar.....	46
5.2 İkinci Mertebe Analiz Yöntemleri	48
5.2.1 İkinci mertebe elastik analiz genel yaklaşım.....	48
5.2.2 Yükseltilmiş birinci mertebe elastik analiz kullanılarak ikinci mertebe analiz yaklaşımları	48
5.3 Eğilme Elemanlarının Kapasitesi ve Tasarımı	50
5.3.1 Genel kurallar	51
5.3.2 İki eksenine göre simetrik kompakt I kesitlerde kuvvetli eksen e eğilme	52
5.3.2.1 Akma	52
5.3.2.2 Yanal-burulma burkulması.....	52
5.3.3 Kompakt gövdeli ve kompakt olmayan veya narin başlıklı iki eksenine göre simetrik I kesitli elemanlarda kuvvetli eksen e eğilme.....	54
5.3.3.1 Yanal burulma burkulması	54
5.3.3.2 Basınç başlığı yerel burkulması	54
5.3.4 Kompakt veya kompakt olmayan gövdeli iki eksenine göre simetrik diğer kesitlerde kuvvetli eksen e eğilme	54
5.3.4.1 Basınç başlığı akması	55
5.3.4.2 Yanal-burulma burkulması.....	55
5.3.4.3 Basınç başlığı yerel burkulması	57
5.3.4.4 Çekme başlığında akma	58
5.3.5 Narin gövdeye sahip tek veya iki eksenine göre simetrik I kesitli elemanlarda kuvvetli eksen e eğilme	58
5.3.5.1 Basınç başlığında akma gerilmesi oluşması.....	59
5.3.5.2 Yanal-burulma burkulması.....	59
5.3.5.3 Basınç başlığı yerel burkulması	59
5.3.5.4 Çekme başlığında akma gerilmesi oluşması	60
5.3.6 Zayıf ekseninde eğilme etkisindeki I kesitli profiller.....	60
5.3.6.1 Akma gerilmesi	60
5.3.6.2 Flanş yerel burkulması	60
5.4 AISC 360-05 Bileşke Kuvvetler ve Burulma Etkisi Altındaki Elemanların Tasarımı	61
5.4.1 İki eksenine göre simetrik kesitli elemanlarda eksenel kuvvet ve eğilme etkisi.....	61
5.4.1.1 İki eksenine göre simetrik kesitli elemanda eğilme ve basınç etkisinin birlikte olması durumu.....	61
5.4.1.2 İki Eksenine Göre Simetrik Kesitte Bir Eksen e Eğilme ve Basınç..	62
6. İKİ EKSEN Lİ EĞİLME VE EKSENEL BASINÇ KUVVETİ ETKİSİNDEKİ BİR ELEMANIN AISC 360-05' DE DEĞERLENDİRİLMESİ.....	65
7. SONLU ELEMANLAR PROGRAMI İLE ÇÖZÜMLEME.....	73
7.1 Data Girdileri.....	73
7.2 Program Çıktıları.....	75
8. SONUÇLAR.....	79
KAYNAKLAR.....	81
EKLER.....	83
ÖZGEÇMİŞ.....	93

KISALTMALAR

EC3 : Eurocode 3
AISC 360-05 : Steel Design Code (American Institute of Steel Construction)
AISC LRFD : Load and Resistance Factor Design
AISC ASD : Allowable Strenght Design
SAP2000 : Structural Analysis Programme

SEMBOL LİSTESİ

α	: Hata faktörü
β_m	: Uç momentleri oranı
bf	: Kesit flanş genişliği
Cb	: Yanal burulma faktörü
δ	: Deplasman
Φ	: Dayanım faktörü
F_y	: Çelik malzeme karakteristik akma gerilmesi
$\gamma_{m1,m2}$	: Yapı tipine göre değişen kısmi faktörler
G	: Kayma modülü
i_p	: Polar atalet yarıçapı
I_t	: Polar atalet momenti
χ	: Boyutsuz narilik oranı
k_c	: Ek 4' te düzeltme faktörü
$k_{yy,yz}$	: Etkileşim faktörleri
L_{cr}	: Düzlemeki burkulma uzunluğu
$M_{A,B,C}$	: Çubuk boyunca 1/4 , 2/4 ve 3/4 oranlarındaki momentler
M_{cr}	: Yanal burulma burkulması için kritik elastik moment
$M_{c,Rd}$	: Eğilme momenti kapasitesi
M_{Ed}	: Tasarım eğilme momenti
M_{pl}	: Plastikleşme momenti
N_{cr}	: Elastik burkulma yükü
$N_{c,Rd}$	: Eksenel basınç kapasitesi
N_{Ed}	: Eksenel basınç tasarım yükü
Ω	: Güvenlik faktörü
Pr	: LRFD yük kombinasyonlarına göre gerekli eksenel basınç mukavemeti
Ra	: Gerekli tasarım mukavemeti
Rm	: Kesitin bir eksen simetriklik parametresi
Rn	: Karakteristik mukavemet
$S_{x,y}$	: Mukavemet momenti
tf	: Kesit flanş kalınlığı
v	: yx düzlemindeki y yönlü deplasman
w	: zx düzlemindeki z yönlü deplasman
$W_{el,min}$	: Elastik mukavemet momenti
W_{pl}	: Plastik mukavemet momenti

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Çizelge 3.1 : Burkulma eğrilikleri için hata faktörleri.....	28
Çizelge 3.2 : Yanal burulma burkulması eğrileri için önerilen hata faktörü	30
Çizelge 3.3 : Çizelge 3.2 için önerilen değerler.....	30
Çizelge 3.4 : Denklem 3.24 için önerilen değerler	31
Çizelge 3.5 : N_{Rk} , $M_{i,Rk}$ değerleri.....	32
Çizelge 5.1: Basınç başlığının bir kenarı boyunca sürekli mesnetli ve basınç etkisi altındaki elemanlarda genişlik-kalınlık oranı sınırlandırması	47
Çizelge 5.2 : F bölümü eleman tahkik seçim tablosu	50
Çizelge 8.1 : Analiz sonuçları.....	80

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1 : Kiriş-kolon davranışı.....	4
Şekil 2.2 : Kiriş-kolon elemanı düzlemsel davranışı.....	5
Şekil 2.3 : Kiriş-kolon elemanda düzlemde eğilme momenti dağılımı.....	6
Şekil 2.4 : Elastik kiriş-kolon eleman maksimum moment ve deplasmanlar.....	7
Şekil 2.5 : Merkez tekil yük etkisinde kiriş-kolon elemanı için yaklaşık değerler.....	8
Şekil 2.6 : Düzgün yayılı yük etkisindeki kiriş-kolonda yaklaşık değerler.....	9
Şekil 2.7 : Eşit olmayan moment etkisindeki kiriş-kolon elemanda ilk akma.....	10
Şekil 2.8 : Tam plastikleşmiş kesit.....	11
Şekil 2.9 : Uzunluğu sıfır elemanların etkileşim eğrisi.....	11
Şekil 2.10: Son dayanım etkileşim eğrileri.....	13
Şekil 2.11: Etkileşim formülü.....	13
Şekil 2.12: Kiriş-kolonda eğilmeli burulmalı burkulma.....	15
Şekil 2.13: Eşit uç moment etkisinde elastik burkulma yük kombinasyonları.....	16
Şekil 2.14: Kiriş-kolon elemanda ekivalent uç momentleri.....	17
Şekil 2.15: Denklem 3.47' de eğilme-burulma burkulması katsayıları $1/\alpha_{bc}$	18
Şekil 2.16: Kiriş-kolon elemanda elastik olmayan eğilme-burulma burkulması.....	19
Şekil 2.17: İki eksenli eğilmede etkileşim eğrileri.....	22
Şekil 4.1 : Yükleme Durumu ve Eleman Mesnet Şartları.....	33
Şekil 4.2 : Yükleme Durumları.....	34
Şekil 6.1 : Moment dağılım diyagramı.....	68
Şekil 7.1 : Analiz elemanları üç boyutlu görünüş.....	73
Şekil 7.2 : Yükleme bilgileri perspektif görünüş.....	74
Şekil 7.3 : Yükleme bilgisi y-z düzlemi.....	75
Şekil 7.4 : EC3-2005 tasarım kontrolü çıktısı.....	76
Şekil 7.5 : AISC 360-05 LRFD tasarım kontrolü çıktısı.....	77

ÇELİK KİRİŞ-KOLON ELEMANLARIN EUROCODE 3 VE AISC 360-05 STANDARTLARINA GÖRE İNCELENMESİ

ÖZET

Yapı elemanları incelendiğinde, en sık karşılaşılan durum olan iki eksenli eğilme ve eksenel yük etkisindeki elemanlarda iki eksenine göre simetrik kesitler karşımıza çıkmaktadır. Bu tez çalışmasında, belirtilen yükleme durumundaki elemanlar için standartlarda verilen tasarım sınırları yalnızca Eurocode 3 ve AISC 360-05 standartlarında incelenmiştir.

Yedi bölümden oluşan bu çalışmanın birinci bölümünde, konuya giriş yapılmış ve her iki standartın son halleri ile ilgili bilgiler verilmiş olup gelişim süreçleri açıklanmıştır.

İkinci bölümde, iki eksenli eğilme ve eksenel basınç etkisi altındaki çift simetrik I kesitli elemanlar üzerinde yapılan araştırmalar gösterilmiştir. Dış etkilerin düzlemde etki etmesi durumu öncelikli olarak irdelenmiş olup daha sonra diğer ekseninde de etki eden yüklerin süperpoze edilmesiyle kesitin dayanımındaki değişim gösterilmiştir. Gerilme-deformasyon eğrileri ile kapasite sınır durumları incelenmiştir.

Üçüncü bölümde, aynı yükleme durumu için Eurocode 3 standardı incelenip sınır durum şartları ve kapasite hesapları özetlenmiştir. Kesit dayanımları için izlenecek adımlar ele alınıp, standart tasarım esasları belirtilmiştir.

Dördüncü bölümde, ele alınan örnekler Eurocode 3 standardında incelenmiş ve kesit dayanımları sayısal olarak belirlenmiştir.

Beşinci bölümde, AISC 360-05 standardında iki eksenli eğilme ve eksenel basınç etkisindeki kiriş-kolon elemanları için tasarım şartları ve kapasite sınır durumları incelenmiş olup özetlenmiştir.

Altıncı bölümde, Eurocode 3 standardı için incelenen örnekler AISC 360-05 standardı için incelenmiş olup tasarım kapasiteleri sayısal olarak hesaplanmıştır.

Yedinci bölümde, örnek SAP2000 v.14 sonlu elemanlar analiz programında incelenerek her iki standartta tasarım kontrolü yapılmıştır.

Sekizinci bölümde, her iki şartnameden elde edilen sonuçlar kıyaslanmış ve analiz programının çıktıları da eklenmiştir.

COMPERATIVELY ASSESMENT OF BEAM-COLUMN MEMBERS IN EUROCODE 3 AND AISC 360-05 STANDARDS

SUMMARY

Mostly researches show that beam-columns are main members of structural systems in buildings and can be come across frequently in systems. In this thesis it explains limit states and design criterias of beam-columns subjected axial compression and end moments in Eurocode 3 and AISC 360-05 code.

At the first section of this four sectioned thesis, the topic has been started and it is explained the contents of last editions of codes which were developed.

At the second section, the researches about doubly symmetric I shaped members subjected axial compression and moment directed both axis are explained briefly. At the beginning of this section, in plane behaviour of beam columns is shown firstly. Then, the behaviour of beam-column were investigated while subjected biaxial bending moment. Stress-strain diagrams has shown at the end of this section.

In the third section, beam-column design criteria in Eurocode 3 is summrized shortly and stressed the procedure of design.

At the fourth section, some examples about the topic were solved in Eurocode 3 and ratios of members at limit state were calculated.

At the fifth section, beam-column design criteria in AISC 360-05 is summrized shortly and stressed the procedure of design.

At the sixth section, some examples about the topic were solved in AISC 360-05 and ratios of members at limit state were calculated.

At the seventh section, examples were solved in SAP2000 analysis programme at the eighth section, the codes have been compared.

1. GİRİŞ

Günümüzde, mühendislik bilgi ve becerilerinin gelişmesiyle medeniyet göstergesi olan mühendislik yapıları ön plana çıkmıştır. Önceleri yalın, sade ve yalnızca ihtiyacı karşılayan yapılar inşa edilirken, son zamanlarda daha karmaşık ve sistematik taşıyıcıları olan yüzlerce metre yükseklikli yapılar karşımıza çıkmaktadır. Yapıların yatay ve düşey taşıyıcıları deprem, rüzgar, hareketli yükler, yapı öz ağırlıkları gibi statik ve dinamik yükleri güvenli olarak yapı zeminine aktararak mühendislik yapılarının duraylılığını sağlamaktadır.

Teknolojinin yakın zamanda ivmeli gelişmesi sonucunda, mühendislik yazılımları oluşturulmuş ve bunun neticesinde sistem taşıyıcı elemanlarının kapasiteleri hesaplanabilmektedir. Yapıların öngörülen dış etkiler altında belirli bir davranışı ve kapasiteyi sağlayabilmesi için, çeşitli standartlar hazırlanmış ve tasarım üst sınırı olan ekonomiklik arasında bir bölge belirlenip tasarımların bu seviyeler arasında kalması istenmiştir. Avrupa ve Amerika’ da yürütülen araştırmalar neticesinde oluşturulan standartlar, dünya genelinde kabul görüp yaygın olarak kullanılmaktadır. Amerikan çelik şartnamesi AISC 360-05 LRFD-ASD (American Institute of Steel Construction)’ e karşılık avrupada Eurocode 3 (bundan sonra EC3 olarak geçecektir) standardı çelik yapıların tasarımında kullanılmaktadır. Her iki standart uzun araştırmalar sonucu oluşturulmuştur ve son güncellemeleri 2005 yılında tamamlamıştır.

EC3’ ün yayınlanmasından sonra şartname kullanılmaya başlanmış ve Almanya’ da yapılan araştırmalarda, eksenel basınç ve eğilme etkisindeki elemanlar için etkileşim formüllerinin birleştirildiği görülmüştür [1]. Ancak özellikle iki eksenli eğilme ve eksenel basınç etkisi altındaki elemanlarda yapılan araştırmalarda ise bu yaklaşımın fazla güveni bölgede kaldığı ve ekonomiklikten uzak olduğu anlaşılmıştır [2]. Bu durumu düzeltebilmek için Prof. J. Lindner başkanlığında yapılan çalışma ile Avrupa Yapısal Çelik Birliği (ECCS-TC8) bir tasarım metodu yayınlamıştır. Bu metoda göre etkileşim formülleri 2 seviyede elde edilmiştir. Seviye 1 için yapılan araştırmayı Avustur ve Almanlardan oluşan takım gerçekleştirmiştir. Tamamen teorik olan

yaklaşım, yapılan testlerle eşzamanlı birleştirilerek elde edilmiştir[3]. Aynı zamanda geometrik süreksizlik, mesnet kusurları ve artık gerilmeler etkilerini yapı elemanı doğrultusu boyunca ele alıp elemanın elasto-plastik davranışını hesaplayan sayısal simülasyonlar oluşturulmuş, buradan elde edilen çıktılar istatistik olarak değerlendirilmiştir. Göz önünde bulundurulan bu stabilite sorunlarının katsayıya çevirilmesiyle Seviye 1 metodunun kullanımını oldukça pratikleşmesini sağlamıştır. Fransız ve Belçikalı araştırma grubunun, başlangıçta üzerinde daha çok durduğu konular olan düzlemdeki elastik davranış ve ikinci mertebe etkileri ise araştırmanın gelişmesiyle, daha sonraları düzlem dışı ve elasto-plastik davranış konuları olarak sonlanmıştır [4]. Bu yaklaşımda diğer yaklaşımdan farklı olarak, stabiliteyi doğrudan etkileyen her temel etki için bir katsayı belirlenmiştir. Bu da yaklaşımın fiziksel açıdan oldukça şeffaf ve anlaşılır olmasını sağlamıştır. Çalışmalar tamamlandıktan sonra bu iki yaklaşım da yeni standarda dahil edilerek Seviye 2 için Metod 1 ve Seviye 1 için ise Metod 2 bölümleri verilmiştir. AISC 360-05' te ise EC3 standardının aksine çok daha yalın doğrusal etkileşim formülü ile olası sınır durumları incelenebilmektedir [5]. Kesit dayanımı ve burkulma dayanımı gibi sayısal değerler ayrı ayrı hesaplanmaktadır.

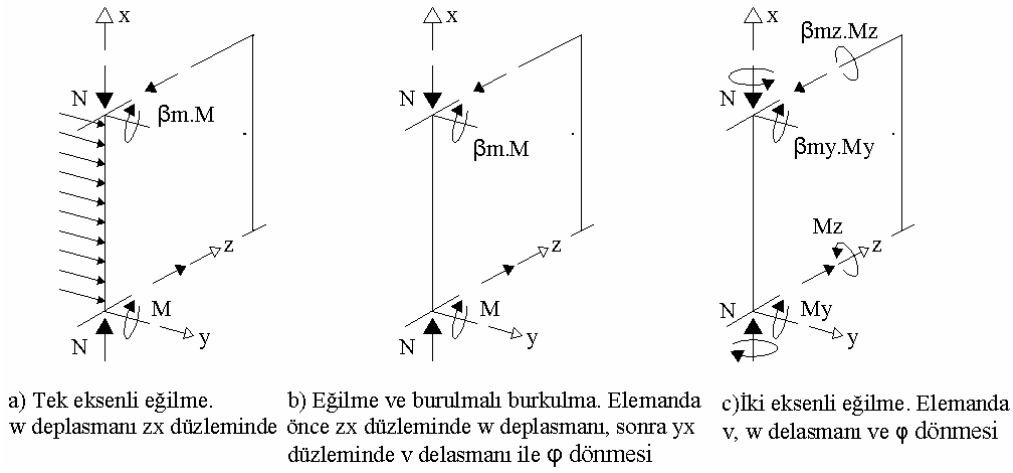
Bu tez çalışmasında, 2005 yılında yayınlanan EC3 kullanılarak, iki eksenine göre simetrik ve sıcakta şekillendirilmiş I kesitlerde iki ekseninde eğilme ve normal kuvvet etkisi sayısal örneklerle incelenmiştir. Eleman kesitinin dayanım kapasiteleri aynı örnekler için AISC 360-05 standardı ile hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar irdelenerek iki standart mukayese edilmiştir.

2. ÇELİK YAPILARDA EĞİLME VE NORMAL KUVVET ETKİSİNDEKİ ELEMANLARIN DAVRANIŞI

Bir yapıların taşıyıcı sistemini oluşturan elemanlar yükleme durumlarına göre yatay (kiriş) ve düşey (kolon) olmak üzere iki ana sınıfta toplanabilirler. Eleman doğrultusuna dik yönde etki eden dış yükler, elemanda moment oluşturarak eğilme hareketine neden olur. Bir yapı içerisindeki kirişler bu yüklere maruz kalıp eğilme hareketi yaparlar. Eleman doğrultusuna paralel yükler altındaki elemanlar ise eksenel iç kuvvetinin çekme ve basınç olmasına bağlı olarak sınıflandırılırlar. Yapılarda en çok karşılaşılan düşey taşıyıcı elemanlardan olan kolonlar, eksenel basınç etkisindeki durum için genel bir örnektir. Kolonlarda, eksenel kuvvet etkisi sebebiyle basınç gerilmeleri oluşması ile birlikte belirli bir bölgede kısmi ya da kesitte burkulma hareketi oluşabilir. Bunun oluşması elemanların uzunlukları, yük ekzantrisitesi gibi parametreler ile doğrudan ilişkilidir.

2.1 Kiriş-kolon Elemanları Genel Yaklaşım

Yapı elemanlarını incelediğimizde en genel durum olarak eksenel basınç ve eğilme momenti kombinasyonu etkisi karşımıza çıkmaktadır. Eksenel kuvvetin çekme olması elemanın eğilme momentini azaltacağı için eksenel kuvvetin basınç olduğu durum elemanların tasarımı açısından en olumsuz durum olmaktadır. Böyle bir yükleme durumundaki elemanlar ise kirişler ile kolonların bir birleşimi olacaktır. Kısaca kiriş-kolon denilen bu elemanlar, yanal kuvvet veya moment etkisindeki bir kiriş ile eksenel kuvvet (basınç veya çekme kuvveti) etkisindeki bir elemanın birleşimi sayılabilir. Teorik olarak, basınç etkisindeki bütün yapı elemanları kiriş-kolon eleman olarak düşünülebilir. Bu kısımda basınç etkisindeki kiriş-kolon elemanların davranışı incelenecektir.



Şekil 2.1: Kiriş-kolon davranışı

Bir örnek olarak rijit bir sistemde, dışmerkez basınç etkisindeki uçları basit olarak tutulu kiriş-kolonlar göz önüne alınıp davranışı incelenebilir. Kiriş-kolon elemanları düzlemde (tek eksenli), eğilmeli burulma etkisinde ve iki eksenli eğilme etkisi altında olmak üzere üç kısımda incelemek en doğru yaklaşım olacaktır. Bir kiriş-kolon elemanı zayıf eksen doğrultusunda eğildiğinde veya yanal burkulması tutulu olarak kuvvetli eksen yönünde eğildiğinde (bkz. Şekil 2.1a) eğilme sadece bir düzlemde sınırlandırılmış olur. Eğer eleman yanal doğrultuda tutulu değilse (bkz. Şekil 2.1b) eleman eğilme düzlemi dışına yanal yönde burkulma ve dönme oluşur [6]. Genel olarak, kiriş-kolon elemanı Şekil 2.1c’ de görüldüğü gibi iki eksenli yönünde de eğilebilir. Bu iki eksenli eğilme genellikle üç boyutlu rijit çerçeve elemanlarında görülür.

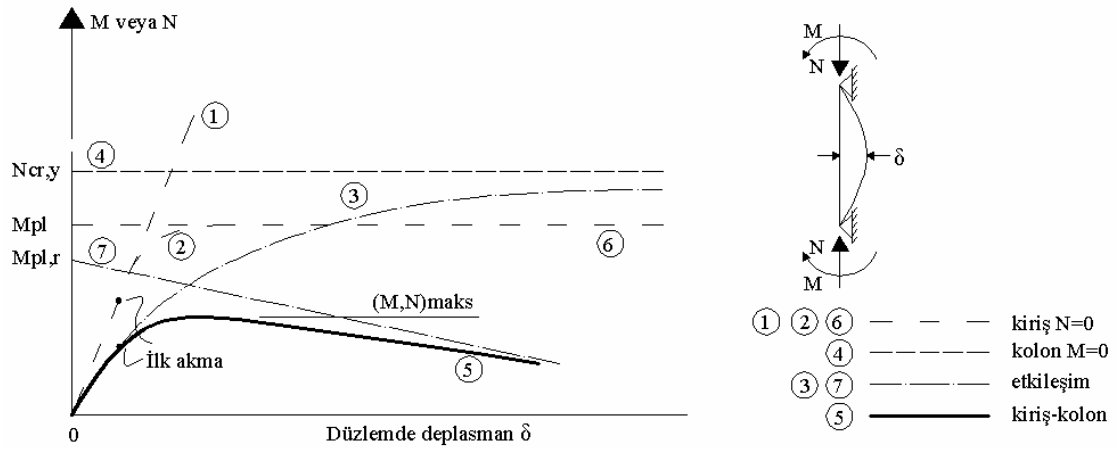
2.2 Kiriş-Kolon Elemanda Düzlemde Eğilme

İlk olarak düzlemde eğilme durumunu gözönüne alırsak kiriş-kolon elemanın deplasmanı düzlemde olacaktır (bkz. Şekil 2.1a) ve dolayısıyla eğilme ve basınç etkisiyle oluşan burkulma etkileşimi gözlenebilecektir. Burada eksenel normal kuvvet ile moment değişimi arasındaki etkileşimi analiz edebilmek için Şekil 2.2’ ye bakılırsa, 1 doğrusunun elastik kirişin doğrusal davranışını, 6 doğrusu ise rijit-plastik kirişin M_{pl} plastik moment etkisindeki sınır davranışını gösterdiği görülmektedir. Diyagramdaki 2 eğrisi ise gerçek elasto-plastik kirişin 1 doğrusundan 6 doğrusuna geçişini göstermektedir. Dışmerkez basınç elemanında oluşan bu elastik burkulmada sınır olan $N_{cr,y}$ 4 doğrusunda gösterilmiştir. 3 eğrisi elastik bir elemanın eğilme ve

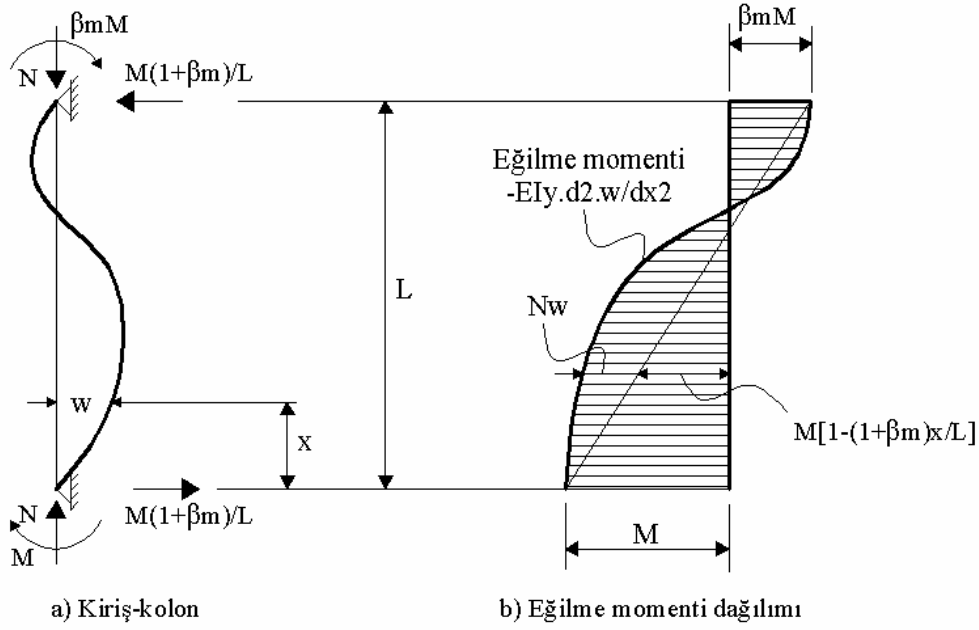
burkulma etkileşimini göstermekte olup N eksenel kuvvetin $N.\delta$ ek momenti karşılar. 7 eğrisi tam plastikleşen elemanın eğilme momenti ve eksenel yük arasındaki etkileşimi göstermektedir. Bu eğri M_{pl} plastikleşme momentinden, N eksenel yük sonucu $N.\delta$ ek momentinin oluşturduğu etki ile $M_{pl,y}$ plastikleşme momentine düşüşü göstermektedir. Bu iki eğri biraraya getirildiğinde, kiriş-kolon elemanın gerçek davranışı olan 5 eğrisi, 3 eğrisindeki elastik eleman ile 7 doğrusundaki tam plastik eleman arasındaki etkileşimin birleşimi olarak gösterilmiştir.

2.2.1 Elastik kiriş-kolonlar

Düzlemde eğilme incelemesine örnek olarak Şekil 2.1a ve Şekil 2.3a' da β_m değeri -1 (tek eğrilikli eğilme olduğunda) ile +1 (iki eğrilikli eğilme olduğunda) arasında değişen, $\beta_m.M$ eğilme momenti ve N eksenel yükü etkisindeki bir kiriş-kolon elemanı gösterilmiştir. Kiriş-kolon elemanın zayıf ekseninde düzlem dışı eğilmesi önlendiği ve yüklemmeden önce elemanın doğrusal olduğu kabulü yapılmıştır. Uçları tutulu kiriş-kolon elemanda düşünülenin aksine uç moment değerleri deplasmandan bağımsızdır ve $N_{cr,y} = \pi EI_y / L^2$ elastik burkulma yüküne etkisi yoktur.



Şekil 2.2 : Kiriş-kolon elemanı düzlemsel davranışı



Şekil 2.3: Kiriş-kolon elemanda düzlemde eğilme momenti dağılımı

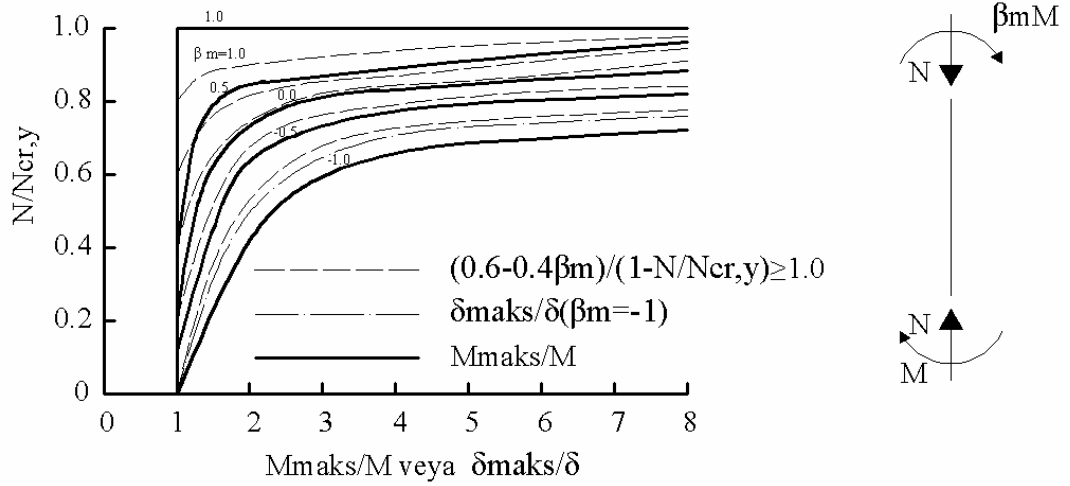
Kiriş-kolon elemanda uç momentleri ve uç kesme kuvvetleri etkisiyle oluşan eğilme momenti $M - M(1+\beta_m)x/L$ momentlerinin toplamı olacaktır. Birbirine eşit ve zıt yönlü uç momentleri etkisinde ($\beta_m = -1$) tek eğriliği eğilme oluşan kiriş-kolonlarda ise maksimum deplasman δ_{maks}

$$\frac{\delta_{maks}}{\delta} = \frac{8/\pi^2}{N/N_{cr,y}} \left[\sec \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{N}{N_{cr,y}}} - 1 \right] \quad (2.1)$$

$N=0$ olduğunda δ_{maks} değeri $\delta = ML^2/8EI_y$ değerini alır. Maksimum moment ise

$$M_{maks} = M \cdot \sec \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{N}{N_{cr,y}}} \quad (2.2)$$

olur. Bu iki denklem boyutsuz olarak Şekil 2.4' de gösterilmiştir.



Şekil 2.4: Elastik kiriş-kolon eleman maksimum moment ve deplasmanlar

Kiriş-kolon elemanlarda eşit olmayan uç momentleri için ($\beta_m > -1$) M_{maks} değeri yaklaşık olarak

$$\frac{M_{maks}}{M} = \frac{C_m}{1 - N/N_{cr,y}} \geq 1.0 \quad (2.3)$$

olarak alınabilir. Burada

$$C_m = 0.6 - 0.4\beta_m \quad (2.4)$$

Bu yaklaşımlar Şekil 2.4' te daha kesin olarak görünmektedir. $\beta_m > 0$ olduğu durumda bu değerler genelde güvenli taraftadır ve korunumludur. Sadece küçük $\beta_m < 0$ değerlerinde güvenli tarafta değildir.

Zıt yönde yüklenmiş kiriş-kolon elemanda maksimum moment M_{maks} yaklaşım olarak

$$M_{maks} = \delta \cdot M_{maks,0} \quad (2.5)$$

olarak tayin edilebilir. Burada $M_{maks,0}$ değeri $N=0$ olduğundaki maksimum moment değeridir.

$$\delta = \frac{\gamma_m (1 - \gamma_s \cdot N/N_{cr})}{(1 - \gamma_n \cdot N/N_{cr})} \quad (2.6)$$

$$N_{cr} = \pi^2 EI / (k_{cr}^2 \cdot L^2) \quad (2.7)$$

şeklinde elde edilir. $k_{cr} = L_{cr}/L$ değeri ise efektif uzunluk oranıdır. M_{maks} tanımı, γ_m , γ_n , γ_s değerleri ile k_{cr} değerleri; merkezi Q tekil yük etkisindeki kiriş-kolon elemanı için

Şekil 2.5’ te, q düzgün yayılı yük etkisindeki kiriş-kolon elemanı için Şekil 2.6’ da verilmiştir.

Kiriş-kolon elemanda maksimum gerilme σ_{maks} eksenel yükten oluşan gerilme ile en büyük moment M_{maks} etkisinde oluşan maksimum eğilme gerilmesinin (eğilme yönünde elemanın kesitinde pozitif ve negatif gerilme oluşur) toplamıdır. Yani

$$\sigma_{maks} = \sigma_{ac} + \sigma_{bcy} \frac{M_{maks}}{M} \quad (2.8)$$

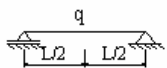
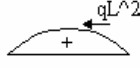
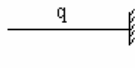
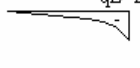
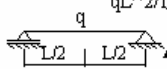
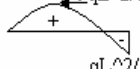
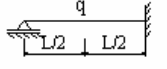
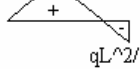
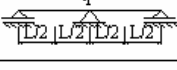
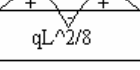
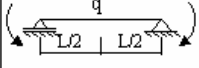
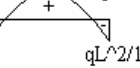
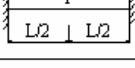
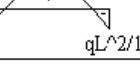
Burada $\sigma_{ac}=N/A$ ve $\sigma_{bc,y}=M/W_{el,y}$ ’ dir. Eğer elemanda artık gerilmeler yoksa σ_{maks} akma gerilmesi f_y ’ den az olduğu sürece eleman elastik olarak kalacaktır. Böylece Şekil 2.5 ve Şekil 2.6’ daki değerler

$$\frac{N}{N_y} + \frac{M}{M_y} \frac{M_{maks}}{M} \leq 1.0 \quad (2.9)$$

olduğu koşullarda geçerlidir. $N_y=A.f_y$ basınç kuvveti ve $M_y= f_y.W_{el}$ karakteristik ilk akma momenti ilk akma momentidir. Bu tip için elastik sınır Şekil 2.2’ deki 3 eğrisinde ilk akma noktasıdır.

Kiriş-kolon	Birinci derece moment (N=0)	kcr	γ_m	γ_n	γ_s	$M_{maks,0}$
		1.0	1.0	1.0	0.18	QL/4
		2.0	1.0	1.0	0.19	QL
		1.0	5/6	1.0	0.45	3QL/16
		0.7	1.0	1.0	0.28	3QL/16
		1.0	1.0	0.49	0.14	3QL/16
		1.0	1.0	1.0	0.62	QL/8
		0.5	1.0	1.0	0.18	QL/8

Şekil 2.5 : Merkez tekil yük etkisinde kiriş-kolon elemanı için yaklaşık değerler

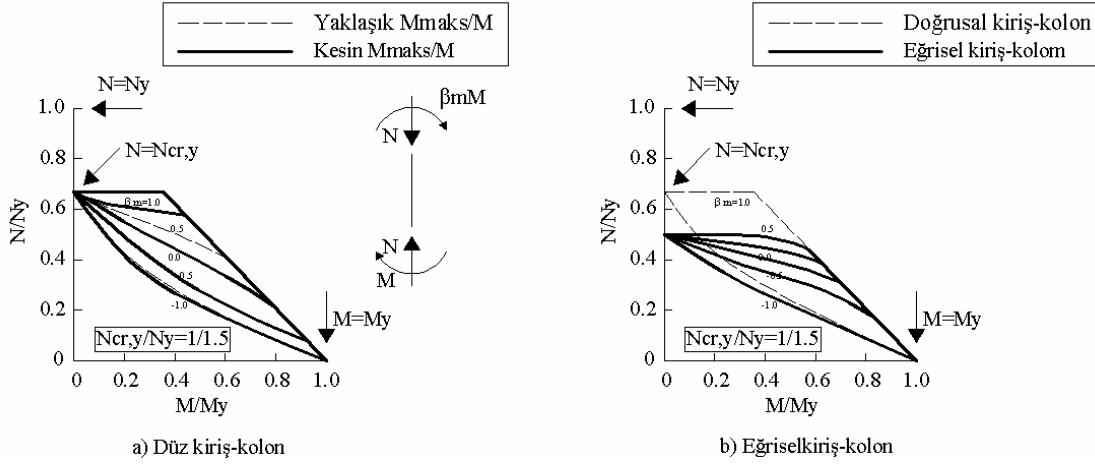
Kiriş-kolon	Birinci derece moment (N=0)	kcr	γ_m	γ_n	γ_s	Mmaks,0
		1.0	1.0	1.0	-0.03	$qL^2/8$
		2.0	1.0	1.0	0.4	$qL^2/2$
		1.0	9/16	1.0	0.29	$qL^2/8$
		0.7	1.0	1.0	0.36	$qL^2/8$
		1.0	1.0	0.49	0.18	$qL^2/8$
		1.0	0.5	1.0	0.4	$qL^2/12$
		0.5	1.0	1.0	0.37	$qL^2/12$

Şekil 2.6 : Düzgün yayılı yük etkisindeki kiriş-kolonda yaklaşık değerler

Denklem 2.9' daki N/N_y oranının M/My oranına göre birinci akma noktası değerleri ve β_m değerleri Şekil 2.7a' de $N_{cr,y}=N_y/1.5$ oranına kadar verilmiştir. İki eğrilikli eğilme etkisindeki kiriş-kolon elemanı için ($\beta_m=-1$) $M_{maks}=M$ ve N değeri $N_{cr,y}$ değerine kadar M ile doğrusal orantılı olarak değişir. Üniform eğilme davranışındaki ($\beta_m=-1$) kiriş-kolon elemanında, N ile M arasındaki ilişki eksenel kuvvetin etkisi ile M momentinin M_{maks} momentine ulaşması sırasında doğrusal olmayan konkav bir eğri üzerinde devam eder. Denklem 2.3 ve 2.4' deki yaklaşımları kullanarak Denklem 2.9' da elde edilen sonuçlar Şekil 2.7a' da görölmektedir. Bu değerler Denklem 2.3 ve 2.4' ün daha hassas ve kesin sonuçlar vereceğini göstermektedir. Eksenel yük etkisinde basınç etkisi yerine, çekme gerilmesi oluşan elastik elemanların düzlemsel davranışı da incelenebilir. Bu elemanda maksimum moment M değerini asla aşamaz. Bu durumda güvenli tarafta kalmak üzere elastik sınır

$$\frac{N}{N_y} + \frac{M}{M_y} \leq 1.0 \quad (2.10)$$

denkleminde bulunabilir.



Şekil 2.7 : Eşit olmayan moment etkisindeki kiriş-kolon elemanda ilk akma

2.2.2 Tam plastik kiriş-kolonlar

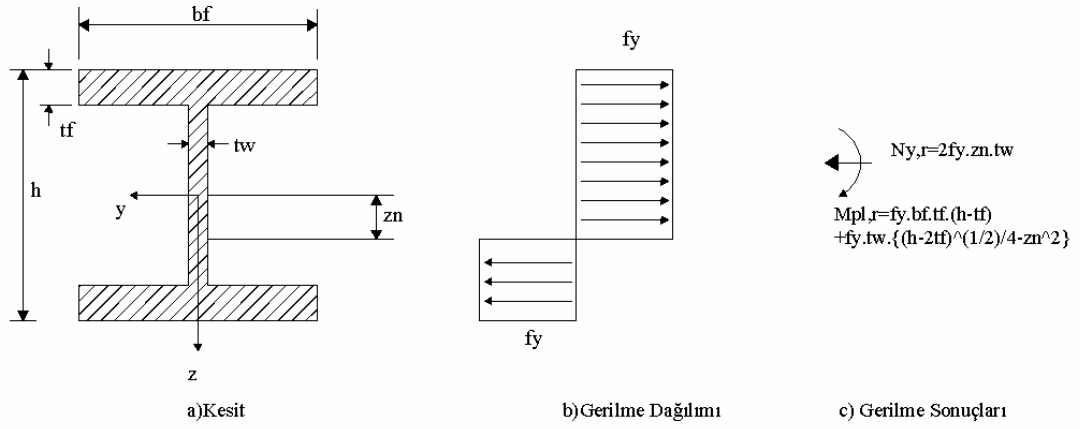
Kuvvetli eksenini yönünde eğilme yapan bir I kesitinde dayanım, kesiti tamamen plastikleştirilen $M_{pl,r}$ eğilme momenti ve $N_{y,r}$ aksenal kuvvetinin kombinasyonu yapılarak bulunabilir. Bu moment ve kuvvet kombinasyonu sadece eğilme etkisindeki elemanda ($N=0$) iki uç kombinasyonu arasında değişkenlik gösterir. Bu plastik moment

$$M_{pl} = f_y b_f t_f (h - t_f) + f_y t_w \left(\frac{h - 2t_f}{2} \right)^2 \quad (2.11)$$

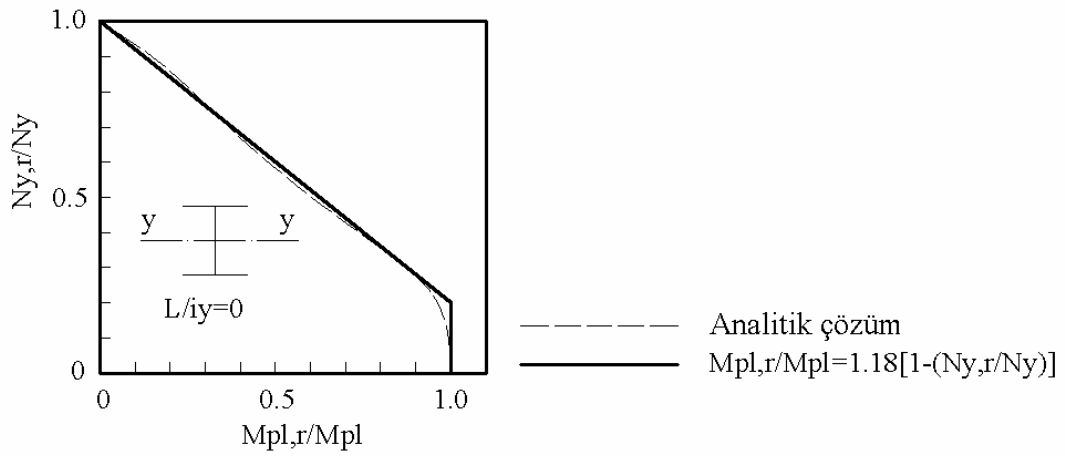
dir ve sadece aksenal yük etkisindeki ($M=0$) elemanda tam plastikleşme anında

$$N_y = f_y [2b_f t_f + (h - 2t_f)t_w] \quad (2.12)$$

olur. $M_{pl,r}$ ve $N_{y,r}$ değerleri Şekil 2.9' da etkileşim eğrisinde görülmektedir. Bu kombinasyonlar tam plastikleşmiş kesitteki eğilme momenti uç moment M' ye yaklaşık eşit olan çok küçük kiriş-kolon eleman için doğrudan kullanılabilir.



Şekil 2.8 : Tam plastikleşmiş kesit



Şekil 2.9 : Uzunluğu sıfır elemanların etkileşim eğrisi

$$\frac{M_{pl,r,y}}{M_{pl,y}} = 1.18 \left[1 - \frac{N_{y,r}}{N_y} \right] \leq 1.0 \quad (2.13)$$

Denklemin $N_{y,r} \sim 0.15 N_y$ ve maksimum hatanın %5 olması durumunda kesine yakın sonuç verir.

Buna benzer bir örnek I kesitli kiriş-kolon elemanın zayıf eksende eğilmesidir. Bu halde plastikleşme yükü ve momenti yaklaşımı için

$$\frac{M_{pl,r,z}}{M_{pl,z}} = 1.19 \left[1 - \left(\frac{N_{y,r}}{N_y} \right)^2 \right] \leq 1.0 \quad (2.14)$$

denklemini kullanılabilir.

Genel olarak, kiriş-kolon eleman için tam plastikleşme yükü ve momentini bulmak için doğrusal etkileşim denklemi olarak

$$\frac{M_{pl,r,z}}{M_{pl,z}} = 1 - \frac{N_{y,r}}{N_y} \quad (2.15)$$

kullanılabilir.

Daha uzun bir kiriş-kolon elemanında ise stabilitenin bozulması durumu önemli hale gelir ve elemanın herhangi bir kesitinde plastikleşme momentine ulaşmadan göçme olur. Elemanın δ deplasmanı yapması ile maksimum momenti M' den $M+N\delta$ değerine yükselir. Böylece tam plastikleşme momenti M

$$M = M_{pl,r} - N\delta \quad (2.16)$$

değerine düşer. δ değeri arttıkça M momenti $M_{pl,r}$ değerinden gittikçe azalır. Şekil 2.2' de 7 eğrisinde de görüldüğü gibi bu azalma maksimum dayanımı aştıktan sonra görülmeye başlar.

2.2.3 Sınır dayanım

2.2.3.1 Genel

Kiriş-kolon elemanı, sınır dayanım yüküne ilk akma yükünden daha büyük bir değerde ulaşır (bkz. 2.2.1). Ancak bu değer aynı zamanda kesitin tam plastikleşme momentinden küçüktür (bkz. 2.2.2 ve Şekil 2.2).

2.2.3.2 Kiriş-kolon eleman elasto-plastik dayanımı

Doğrusal kiriş-kolon elemanın artık gerilmelerle birlikte dayanımı, nümerik analiz ile doğrusal olmayan elasto-plastik davranışı incelenerek bulunabilir. Bu dayanımlardan bazıları Şekil 2.10' da gösterilmiştir. Şekil 2.10a' da eşit ve zıt uç momentleri etkisindeki ($\beta_m=-1$) kiriş-kolon elemanın kuvvetli eksenindeki narinlik oranı L/i_y oranına bağlı olarak son dayanım N ve M uç momentleri; Şekil 2.10b' de ise $L/i_y=60$ olan elemanın β_m oranına bağlı olarak sınır dayanım değerlerinin değişimi gösterilmektedir.

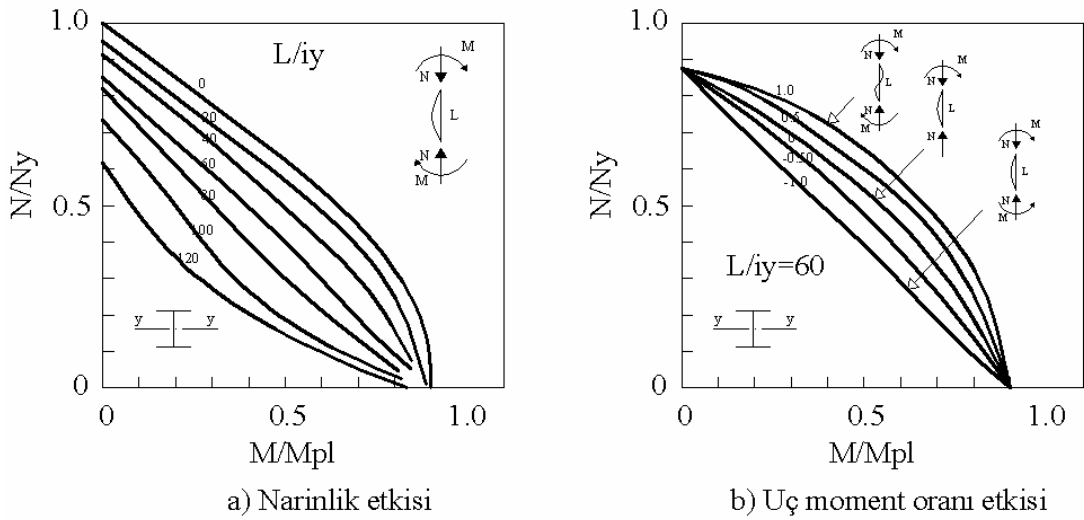
Sınır durum için taşıma gücü bulunurken N ve M değerlerinin denklem 2.13 ve

$$\frac{N}{N_{b,y,Rd}} + \frac{C_m}{(1-N/N_{cr,y})} \frac{M}{M_{pl,y}} \leq 1 \quad (2.17)$$

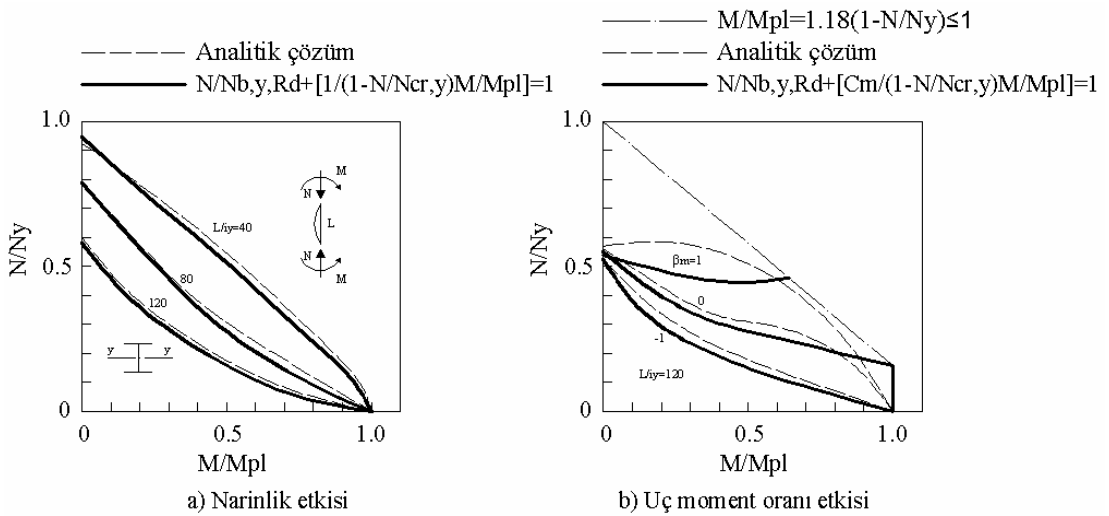
denklemleri kullanılarak bulunur. Burada $N_{b,y,Rd}$ düzgün yayılı yüklenmiş ve kuvvetli ekseninde deplasman yapan kiriş-kolon elemanın ($M=0$) maksimum sınır dayanımı; $N_{cr,y}$ ise düzgün yayılı yüklenmiş kolon elemanın kuvvetli eksen elastik burkulma yüküdür.

$$C_m = 0.6 - 0.4\beta_m \geq 0.4 \quad (2.18)$$

Denklem 2.13 azaltılmış plastikleşme momenti $M_{pl,r}$ 'nin M uç momentinden daha fazla olamayacağını ve bazı çok eğrilikli eğilme etkisindeki ($\beta_m > 0$) çok kısa elemanların ($L/i_y > 0$) (bkz. Şekil 2.11) dayanımını göstermektedir.



Şekil 2.10 : Son dayanım etkileşim eğrileri



Şekil 2.11 : Etkileşim formülü

C_m katsayısı eşit olmayan uç momentleri eşit ve zıt $C_m M$ momentlere dönüştürür. Her ne kadar bu sadece düzlemsel davranış için geçerli gibi görünse de eşit olmayan uç momenti etkisindeki düzlem dışı burkulma yapan kirişler için de benzer dönüşüm yapılabilir.

2.3 Kiriş-kolon Elemanda Eğilmeden Dolayı Oluşan Burulma Burkulması

Bir kiriş-kolon elemanı kuvvetli ekseninde eğilme etkisindeyken düzlemsel eğilme sırasındaki maksimum yüke ulaşmadan yanal deplasman ve kesit dönmesi yapılabilir. Bu eğilme-burulma burkulması, eleman elastik bölgede veya eğilme ve basınç etkisiyle kesitte plastikleşmenin başladığı akma bölgesinde oluşabilir (bkz. Şekil 2.12).

2.3.1 Elastik kiriş-kolonlar

2.3.1.1 Eşit uç momentli kiriş-kolonlar

Birbirine eşit ve zıt M uç momentleri ($\beta_m = -1$) ve N aksenal kuvveti etkisindeki doğrusal elastik bir kiriş-kolon elemanı ele alalım. Elemanın mesnet noktaları basit mesnet ve burulma dönmelerine karşı tutulu; eleman kesiti iki simetri eksenine sahip ve kayma merkezi ile ağırlık merkezi çakışık olsun.

Dış yükler ve momentler, elastik burkulma yükü sınır değerleri olan $N_{cr,MN}$ ve $M_{cr,MN}$ değerlerine ulaştığında deplasman ve dönme dengesi durumu ortaya çıkar. Bu durumda

$$v = \frac{M_{cr,MN}}{N_{cr,z} - N_{cr,MN}} \phi = \delta \sin \frac{\pi x}{L} \quad (2.19)$$

denklemini oluştur. Burada δ merkez deplasmanın büyüklüğüdür. Elastik burkulma kombinasyonu $N_{cr,MN}$ ve $M_{cr,MN}$

$$\frac{M_{cr,MN}^2}{i_p^2 \cdot N_{cr,z} \cdot N_{cr,T}} = \left(1 - \frac{N_{cr,MN}}{N_{cr,z}}\right) \left(1 - \frac{N_{cr,MN}}{N_{cr,T}}\right) \quad (2.20)$$

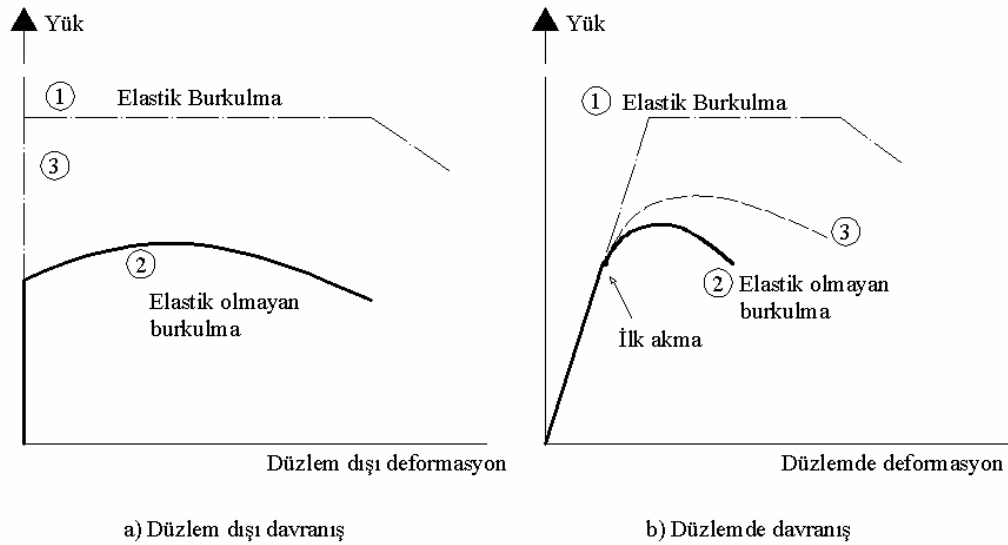
denkleminde dönüşür. Burada $i_p = \sqrt{\left[(I_y + I_z)/A\right]}$ polar atalet yarıçapı ve

$$N_{cr,z} = \pi^2 EI_z / L^2 \quad (2.21)$$

$$N_{cr,T} = \frac{GI_t}{i_p^2} \left(1 + \frac{\pi^2 EI_w}{GI_t L^2} \right) \quad (2.22)$$

ise eksenel yüklü elastik kolonun zayıf ekseninde eksenel ve burulma burkulması yükü ifadeleridir. $M_{cr,MN}=0$ olduğunda kiriş-kolon elemanı $N_{cr,z}$ ve $N_{cr,T}$ değerlerden daha küçük değerlerde burkulur ve $N_{cr,MN}=0$ olduğunda ise elastik burkulma momentindeki kiriş elemanı gibi burkulur. Bu değer

$$M_{cr} = M_{zx} = \sqrt{\left(\frac{\pi^2 EI_z}{L^2} \right) \left(GI_t + \frac{\pi^2 EI_w}{L^2} \right)} = i_p \sqrt{N_{cr,z} N_{cr,T}} \quad (2.23)$$



Şekil 2.12 : Kiriş-kolonda eğilmeli burulmalı burkulma

Denklem (3.37) $N_{cr,MN}$ $M_{cr,MN}$ elastik burkulma kombinasyonunda

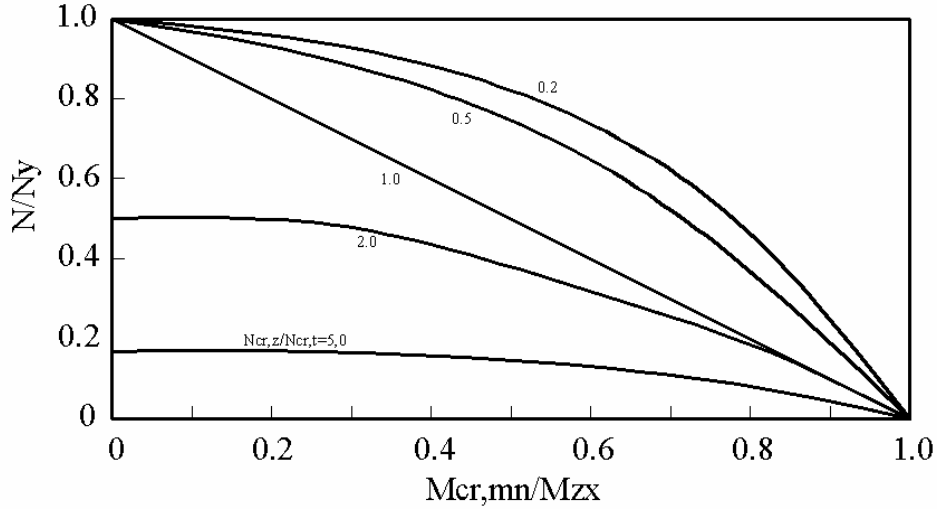
$$\frac{M_{cr,MN}^2}{i_p^2 \cdot N_{cr,z} \cdot N_{cr,T}} = \left(1 - \frac{N_{cr,MN}}{N_{cr,y}} \right) \left(1 - \frac{N_{cr,MN}}{N_{cr,z}} \right) \left(1 - \frac{N_{cr,MN}}{N_{cr,T}} \right) \quad (2.24)$$

değerini alır. $N_{cr,MN}$ olası maksimum değeri $N_{cr,y}$, $N_{cr,z}$ ve $N_{cr,T}$ değerinin en düşük değerler aldığı anda elde edilir. Çoğu kesitler için bu değer $N_{cr,y}$ ' den çok daha az değerlerdedir ve Denklem 2.25 Denklem 2.21 değerine çok yakın olur. Sıcakta şekil verilmiş çoğu kesitte $N_{cr,z}$ değeri $N_{cr,T}$ değerinden daha az olur ve böylece

$$\left(1 - \frac{N_{cr,MN}}{N_{cr,T}} \right) > \left(1 - \frac{N_{cr,MN}}{N_{cr,z}} \right) \left(1 - \frac{N_{cr,MN}}{N_{cr,y}} \right) \text{ eşitsizliği sağlanır. Bu durumda Denklem 2.25}$$

$$\frac{N_{cr,MN}}{N_{cr,z}} + \frac{1}{\left(1 - \frac{N_{cr,MN}}{N_{cr,y}}\right)} \frac{M_{cr,MN}}{M_{zx}} = 1 \quad (2.25)$$

denkleminde dönüşür.



Şekil 2.13: Eşit uç moment etkisinde elastik burkulma yük kombinasyonları

2.3.1.2 Eşit olmayan uç momentli kiriş-kolonlar

Kuvvetli eksen yönünde ve eşit olmayan M ve $\beta_m M$ uç momentleri etkisindeki basit mesnetli kiriş-kolon elemanların elastik eğilme-burulma burkulmaları nümerik olarak incelenirse çeşitli sonuçlar bulunur. Korunumlu etkileşimde

$$\left(\frac{M/\sqrt{F}}{M_E} \right) + \left(\frac{N}{N_{cr,z}} \right) = 1 \quad (2.26)$$

olup, burada

$$M_E^2 = \pi^2 EI_z GI_t / L^2 \quad (2.27)$$

dir. Denklem 2.27' deki $1/\sqrt{F}$ faktörü Şekil 2.14' de gösterildiği gibi uç momentleri $\beta_m M$ ile değişir. Böylece eşit olmayan uç momentleri ekivalent eşit $M/\sqrt{F}$ uç momentlerine dönüşür. Böylece, eşit olmayan uç momentleri etkisindeki kiriş-kolon elemanın elastik burkulması Denklem 2.21' de düzenlenirse

$$\frac{\left(M_{cr,MN}/\sqrt{F} \right)^2}{M_{zx}^2} = \left(1 - \frac{N_{cr,MN}}{N_{cr,z}} \right) \left(1 - \frac{N_{cr,MN}}{N_{cr,T}} \right) \quad (2.28)$$

olur. Eğilme-burulma burkulması yapan kiriş-kolon elemanda $1/\sqrt{F}$ faktörü değişimi $1/\alpha_m$ sabitine çok yakındır.

$$\alpha_m = 1.75 + 1.05\beta_m + 0.3\beta_m^2 \leq 2.56 \quad (2.29)$$

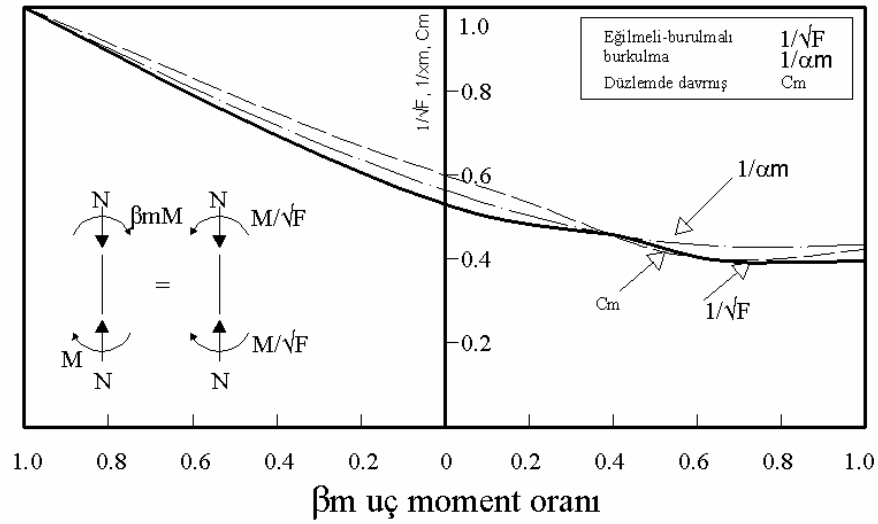
Bu katsayı eğilme-burulma burkulması yapan kirişler için kullanılır ve kiriş-kolon elemanların düzlemsel davranışlarında C_m katsayısına çok yakındır.

Ancak Şekil 2.15' daki sonuçlara bakılırsa elastik eğilmeli-burulmalı burkulma etkisindeki kiriş-kolon elemanda yapılan son araştırmalar göstermiştir ki; eşit olmayan uç momentlerini denk uç momentlerine dönüştürme faktörü, β_m ile olduğu kadar $N/N_{cr,z}$ oranı ile de değişmektedir. Daha hassas tahminlerde bulunmak için incelenmesi gereken bir diğer eşitlikler ise

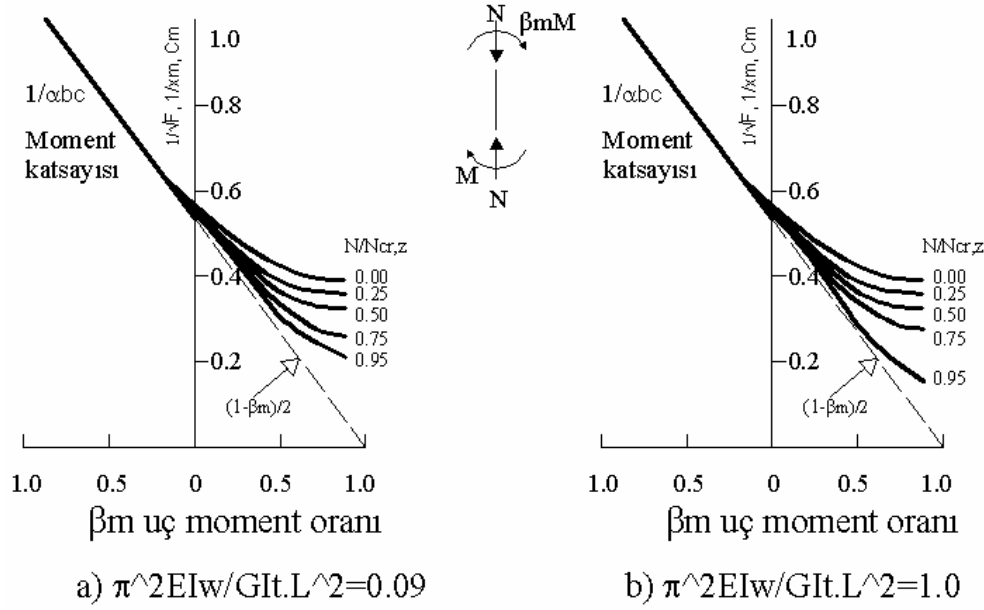
$$\left(\frac{M_{cr,MN}}{\alpha_{bc} M_{zx}} \right)^2 = \left(1 - \frac{N_{cr,MN}}{N_{cr,z}} \right) \left(1 - \frac{N_{cr,MN}}{N_{cr,T}} \right) \quad (2.30)$$

ve

$$\frac{1}{\alpha_{bc}} = \left(\frac{1 - \beta_m}{2} \right) + \left(\frac{1 + \beta_m}{2} \right)^3 \left(0.40 - 0.23 \frac{N_{cr,MN}}{N_{cr,z}} \right) \quad (2.31)$$



Şekil 2.14 : Kiriş-kolon elemanda ekivalent uç momentleri



Şekil 2.15 : Denklem 3.47’ de eğilme-burulma burkulması katsayıları $1/\alpha_{bc}$

2.3.2 Elastik olmayan kiriş-kolonlar

Bir önceki bölümde eğilmeli-burulmalı burkulma etkisindeki doğrusal kiriş-kolon elemanın davranışını yalnızca elastik bölgede kalması durumu için incelemiştik. Elemanda artık gerilmeler olması durumunda ise elemanın bazı kesitlerinde etkili rijitlik yayırlar. Bu durumda burkulma yükü; düzlemsel yüklenmiş elemanın elastik burkulma yükü değerinden daha az olur (Şekil 2.12).

Şekil 2.16’ de I kesitli artık gerilmeli ve eşit olmayan uç mometi etkisindeki kiriş-kolon elemanın elastik olmayan burkulması görülmektedir. Denklem 2.31 ve 2.32 elastik denklemleri düzenlenerek

$$\left(\frac{M}{\alpha_{bcl} M_{lu}} \right)^2 = \left(1 - \frac{N}{N_{lz}} \right) \left(1 - \frac{N}{N_{cr,T}} \right) \quad (2.32)$$

denklemini elde edilir. Burada

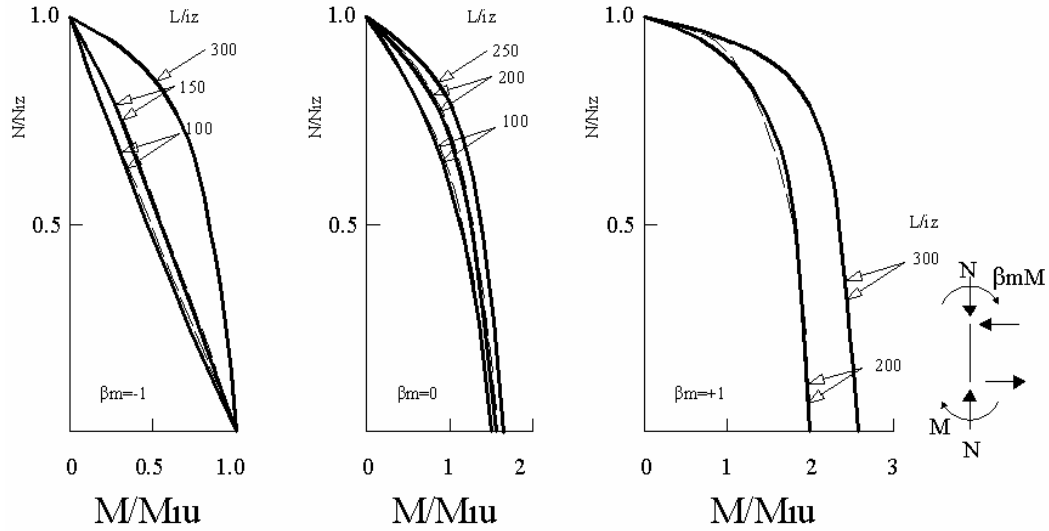
$$\frac{1}{\alpha_{bcl}} = \left(\frac{1-\beta_m}{2} \right) + \left(\frac{1+\beta_m}{2} \right)^3 \left(0.40 - 0.23 \frac{N}{N_{lz}} \right) \quad (2.33)$$

$$M_{lu} / M_{pl} = 1.008 - 0.245 M_{pl} / M_{zx} \leq 1.0 \quad (2.34)$$

denklemleri düzgün eğilme etkisindeki bir kiriş için elastik olmayan burkulma yaklaşımlarıdır.

$$\frac{N_{Iz}}{N_y} = 1.035 - 0.181 \sqrt{\frac{N_y}{N_{cr,z}}} - 0.128 \frac{N_y}{N_{cr,z}} \leq 1.0 \quad (2.35)$$

yaklaşımı ise kolonun elastik olmayan burkulması için kullanılacaktır.



Şekil 2.16 : Kiriş-kolon elemanda elastik olmayan eğilme-burulma burkulması

2.3.3 Son dayanım (Kapasite)

Gerçekte eğilme-burulma burkulması oluşan kiriş-kolon elemanların sınır taşıma güçleri uç noktalarının geometrik kusurlarına bağlı olarak elastik ve plastik burkulma yüklerinden daha azdır.

Bir düzlemde eğilme için bu dayanım azalmasının tesbiti için yaklaşım etkileşim denkleminde düzeltme yapılarak

$$\frac{N}{N_{b,z,Rd}} + \frac{C_{my}}{(1 - N/N_{cr,y})} \frac{M_y}{M_{b0,y,Rd}} \leq 1 \quad (2.36)$$

elde edilir. Burada $N_{b,z,Rd}$ merkezi yüklenmiş ($M_y=0$) kolonun zayıf eksen mukavemeti, $M_{b0,y,Rd}$ eşit ve zıt moment etkisindeki ($\beta_m=-1$) kirişin dayanımıdır ($N=0$). Ayrıca bu kirişte, düzlemde $M_{pl,y}$ plastikleşme momentinde göçme veya eğilme-burulma burkulması oluşur. Denklem 2.43 ile Denklem 2.26 arasındaki benzerlik eşit ve zıt yönlü ($\beta_m=-1$) uç momenti etkisindeki elastik eğilme-burulma burkulması yapan kiriş-kolon eleman için açıkça görülmektedir. Düzlemde eğilmede

C_m katsayısı ile eğilme-burulma burkulmasında $1/\sqrt{F}$ ve $1/\alpha_m$ katsayıları ile basitleştirilebilir.

$$\left(\frac{M}{\alpha_{bcu} M_{b0,y,Rd}} \right)^2 = \left(1 - \frac{N}{N_{b,z,Rd}} \right) \left(1 - \frac{N}{N_{cr,T}} \right) \quad (2.37)$$

$$\frac{1}{\alpha_{bcu}} = \left(\frac{1-\beta_m}{2} \right) + \left(\frac{1+\beta_m}{2} \right)^3 \left(0.40 - 0.23 \frac{N}{N_{b,z,Rd}} \right) \quad (2.38)$$

2.4 Kiriş-Kolon Elemanda İki Eksenli Eğilme

Çerçeve yapıların çoğunun geometrisi ve yük etkileri üç boyutludur. Böyle bir yapının tipik elemanı basınç, iki eksenli eğilme ve burulma etkisi altındadır. (Şekil 2.1c). Elemanların zayıf eksenlerindeki eğilme ve burulma rijitlikleri oldukça küçük olduğundan, genel olarak kuvvetli eksenlerinde eğilme yapacak şekilde tasarlanırlar. Elemanında oluşan deplasmanlarla artan $N.\delta$ moment değeri, aynı deplasmanların artmasına neden olur.

Bu durumlar gözönüne alındığında, her iki ekseninde eşit ve zıt yönlü uç momentleri etkisindeki kiriş-kolon elemanı analiz edildiğinde çözümlerin basitleştirilebilmesi için yaklaşımlar yapılması gerektiği çıkarımı yapılmıştır. Bu analizde, elemanın iki eksenli elastik eğilme altındaki davranışının düzlemdeki davranışına benzediği; yüklemenin başlamasından itibaren iki eksen de deplasman ve dönmelerin ivmeli olarak arttığı, bu durumun ise zayıf eksen de eğilme ve burulma etkisi olmadan oluşan elastik burkulma yüküne ulaşana kadar sürdüğü gözlemlenmiştir. Eşit olmayan uç momentleri etkisindeki elemanlarda ise $1/\sqrt{F}$ dönüşüm faktörü ile eşdeğer uç momentlerine dönüşüm yaparak eğilme-burulma burkulması kapasiteleri araştırılabilmiştir.

Narin elemanların ilk akma başlangıcı değeri tahmin edilebilse de bazı elemanlarda göçme olmadan hemen önce akma oluşur.

Elastik olmayan kiriş-kolon elemanların dayanımı için geliştirilen yaklaşımlardan en basiti olan doğrusal yaklaşım ile

$$\frac{N}{N_{b,Rd}} + \frac{C_{my}}{(1-N/N_{cr,y})} \frac{M_y}{M_{b0,y,Rd}} + \frac{C_{mz}}{(1-N/N_{cr,z})} \frac{M_z}{M_{c0,z,Rd}} \leq 1 \quad (2.39)$$

denklemini, düzlemde eğilme ve eğilme-burulma burkulması için geçerlidir. Bu uzantıda $M_{b0,y,Rd}$ elemanın $\beta_m=-1$ olması durumunda $N=M_z=0$ olduğunda son momenttir. $M_{c0,z,Rd}$ de benzer şekilde tanımlanır. Böylece Denklem 2.46 düzlemde $M_y=0$ iken Denklem 2.17' e, eğilmeli-burulmalı burkulma için ise $M_z=0$ iken Denklem 2.43' e indirgenmiş olur. Denklem 2.46

$$\frac{M_y}{M_{pl,r,y}} + \frac{M_z}{M_{pl,r,z}} \leq 1 \quad (2.40)$$

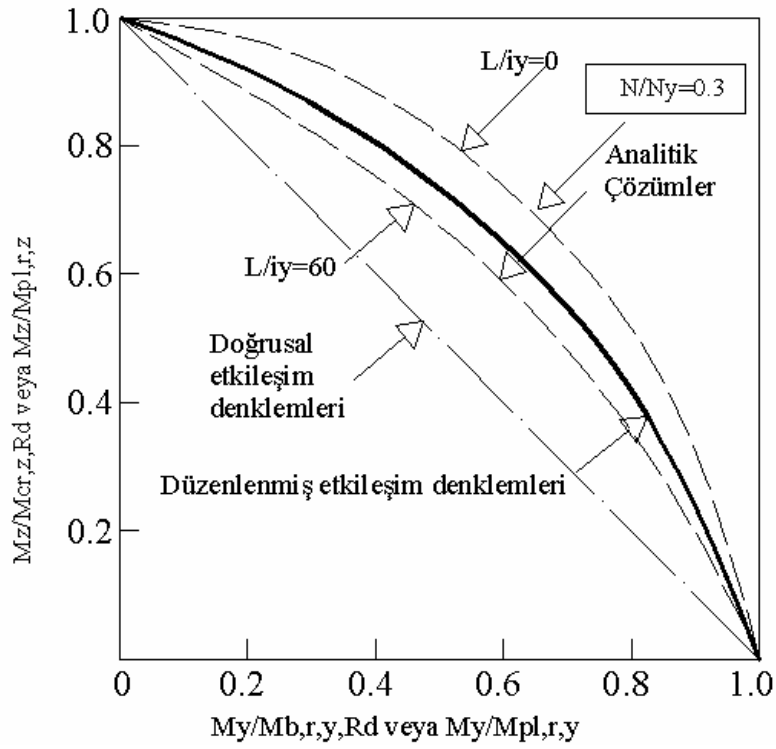
ile birlikte kullanılır. $M_{pl,r,y}$ Denklem 2.13' den, $M_{pl,r,z}$ ise Denklem 2.14' den bulunur. Denklem 2.47, iki eksenli eğilmede tam plastik limit için doğrusal yaklaşımı gösterirken $M_y=0$ veya $M_z=0$ olması durumunda tek eksenli eğilme durumu oluşup tam plastikleşme momenti Denklem 2.13 veya 2.14' deki değerleri alır.

Sıcakta şekillendirilmiş I kesitlerde Deklem 2.47' deki tam plastikleşme momenti

$$\left(\frac{M_y}{M_{pl,r,y}} \right)^{a_0} + \left(\frac{M_z}{M_{pl,r,z}} \right)^{a_0} \leq 1 \quad (2.41)$$

denklemindeki değerlere dönüşür. $M_{pl,r,y}$ and $M_{pl,r,z}$ Denklem 2.13 ve 2.14' de verilmiştir.

$$\alpha_o = 1.60 - \frac{N/N_y}{2 \ln(N/N_y)} \quad (2.42)$$



Şekil 2.17 : İki eksenli eğilmede etkileşim eğrileri

Bununla beraber Denklem 2.46 değişerek

$$\left(\frac{M_y}{M_{b,r,y,Rd}} \right)^{\alpha_L} + \left(\frac{M_z}{M_{c,r,z,Rd}} \right)^{\alpha_L} \leq 1 \quad (2.43)$$

denklemine dönüşür. $M_{b,r,y,Rd}$ $M_z=0$ ve $N \neq 0$ iken M_y ' nin maksimum değeridir. $M_{c,r,z,Rd}$ ise Denklem 2.17' den elde edilir. α_L ise

$$\alpha_L = 1.40 + \frac{N}{N_y} \quad (2.44)$$

3. EUROCODE3' TE İKİ EKSENİNE GÖRE SİMETRİK I KESİTLİ ELEMANLARIN TASARIMI

Tasarım elemanları standartlar dahilinde incelenirken belirli bir yol izlenerek sonuca ulaşılır. Ele aldığımız EC3 için ise tasarımda izlenecek yol, kesitlerin sınıflandırılması ile başlıyor. Tasarım elemanlarının başlık ve gövde kalınlık-genişlik oranları kullanılarak kesitlerin sınıflandırılması yapılmaktadır. Kesitin sınıflandırılması yapıldıktan sonra dayanım iki kısımda incelenir. Öncelikle tüm kesitin taşıma kapasitesi hesaplanarak tasarım değerleri ile mukayese edilir. Kesitin tamamında dayanım sınırı aşılmamış ise profil başlık ve gövde elemanlarında yerel burkulmaların güvenliği kontrol edilir. Bütün bu şartları sağlayan kesitin kapasitesi mevcut tasarım için yeterli olacaktır. İki eksenine göre simetrik I kesitler incelendiği için standardın yalnızca konu ile ilgili kısmı açıklanacaktır.

3.1 Kesitlerin Sınıflandırılması ve Sınıflandırma Kriterleri

(1) Kesitlerin yerel burkulma dayanımlarında sınır dayanım ve dönme kapasiteleri etkili olduğu için kesitler sınıflandırılmıştır. Dört sınıf oluşturulmuştur. Bunlar:

Sınıf 1 : Dayanım azaltılması olmadan yapılan plastik analizde plastik mafsallık oluşabilen kesitler.

Sınıf 2 : Plastik moment dayanımları artabilen ancak yerel burkulmalardan ötürü sınırlı dönme kapasitesine sahip kesitler.

Sınıf 3 : Kesitte, uç kısımlardaki elastik gerilmelerin akma sınırını geçebildiği ancak yerel burkulmaların plastik moment kapasitesi arttırımına engel olan kesitler.

Sınıf 4 : Akma dayanımına henüz ulaşmadan kesitin bir veya daha fazla yerinde yerel burkulmalar oluşan kesitler.

(2) Kesit sınıflandırması, kesitin basınç etkisi altındaki bölümlerinin genişlik-kalınlık oranları ile belirlenir.

(3) Kesitin basınç parçaları farklı sınıflarda olabilir.

- (4) Kesiti genel sınıfı, parçalarının sınıflandırılmasından en büyük olanıdır.
- (5) Basınç parçaları limit oranları Ek 1' den elde edilecektir.
- (6) Madde (7) hariç, Sınıf 4 olan kısımlar Sınıf 3 olarak alınabilir. Ancak bunun için genişlik-kalınlık oranı; Sınıf 3 için sınır değerlerin $\sqrt{(f_y / \gamma_{m0}) / \sigma_{com,Ed}}$ ile artırılmış ε değeri ile bulunacak yeni sınır değerlerden az olmalıdır.
- (7) Tasarım burkulma dayanımı bulunurken Sınıf 3 için limit oranlar daima Ek 1' den alınmalıdır.
- (8) Gövde parçasının eğilme momenti ve eksenel kuvvet almadığı, yalnızca kesme kuvveti aktardığı kabul edilen durumlarda flanş sınıfı ile doğrudan ilgili, kesit Sınıf 2,3,4 olarak tasarım yapılabilir.

3.2 Eleman Kesit Dayanımı İçin Sınır Durumu

3.2.1 Genel

Yapı tiplerine göre değişen ve tasarım kontrollerinde kullanılacak olan γ_{M0} , γ_{M1} , γ_{M2} kısmi faktörleri binalar için şu değerleri alır:

$$\gamma_{M0} = 1.00$$

$$\gamma_{M1} = 1.00$$

$$\gamma_{M2} = 1.25$$

3.2.2 Kesit dayanımı

İki eksenine göre simetrik I kesitler için kesit dayanımı hesapları standardın ilgili bölümünden alınmıştır. İki ekseninde eğilme momenti ve eksenel basınç kuvvetinin etkimesi konusu incelendiği için şartnamenin bu konu ile ilgili kısımları açıklanmıştır.

3.2.2.1 Dış yükün yalnızca eksenel basınç olması durumu

- (1) Bütün kesitlerde, eksenel basınç tasarım yükü N_{Ed}

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1.0 \quad (3.1)$$

koşulunu sağlamalıdır.

(2) Üniform basınç altındaki kesitin tasarım kapasitesi $N_{c,Rd}$ şu şekilde tanımlanır:

$$\text{Sınıf 1,2 veya 3 kesitleri için} \quad N_{c,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}} \quad (3.2)$$

$$\text{Sınıf 4 kesitleri için} \quad N_{c,Rd} = \frac{A_{eff} f_y}{\gamma_{M0}} \quad (3.3)$$

3.2.2.2 Dış yükün yalnızca eğilme momenti olması durumu

(1) Bütün kesitler için tasarım eğilme momenti M_{Ed}

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1.0 \quad (3.4)$$

koşulunu sağlamalıdır.

(2) Eksenlere göre kesit tasarım eğilme kapasitesi $M_{c,Rd}$ şu şekilde tanımlanır:

$$\text{Sınıf 1 veya 2 kesitleri için} \quad M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} f_y}{\gamma_{M0}} \quad (3.5)$$

$$\text{Sınıf 3 kesitleri için} \quad M_{c,Rd} = M_{el,Rd} = \frac{W_{el,min} f_y}{\gamma_{M0}} \quad (3.6)$$

$$\text{Sınıf 4 kesitleri için} \quad M_{c,Rd} = \frac{W_{eff,min} f_y}{\gamma_{M0}} \quad (3.7)$$

3.2.2.3 Dış yükün eğilme momenti ve eksenel kuvvet olması durumu

Sınıf 1 ve Sınıf 2 kesitleri:

(1) Sınıf 1 ve 2 kesitleri şu kriteri sağlamalıdır:

$$M_{Ed} \leq M_{N,Rd} \quad (3.8)$$

Burada $M_{N,Rd}$ değeri N_{Ed} eksenel kuvvetinden dolayı azaltılmış tasarım plastik momenti dayanımıdır.

(2) İki eksenine göre simetrik I ve H profillerde aşağıdaki iki şart sağlandığında eksenel kuvvetin y-y eksenini plastik moment kapasitesine etkisi ihmal edilebilir:

$$N_{Ed} \leq 0.25 N_{pl,Rd} \quad (3.9)$$

ve

$$N_{Ed} \leq \frac{0.5h_w t_w f_y}{\gamma_{M0}} \quad (3.10)$$

(3) İki eksenli eğilme durumunda:

$$\left[\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}} \right]^\alpha + \left[\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}} \right]^\beta \leq 1 \quad (3.11)$$

şartı sağlanmalıdır. Burada α ve β sabitleri korunumlu olarak 1 alınabilir. Diğer şekillerde I ve H profiller için;

$$\alpha = 2; \beta = 5n (\beta \geq 1)$$

$$n = N_{Ed} / N_{pl,Rd}$$

Sınıf 3 kesitleri:

(1) Kesme kuvvetinin olmadığı durumlarda, boyuna gerilmeler şu kriteri sağlamalıdır:

$$\sigma_{x,Ed} \leq \frac{f}{\gamma_{M0}} \quad (3.12)$$

Burada $\sigma_{x,Ed}$ moment ve eksenel kuvvetten dolayı oluşan boyuna yerel gerilmedir.

Sınıf 4 kesitleri:

(1) Kesme kuvvetinin olmadığı durumlarda, boyuna gerilmeler şu kriteri sağlamalıdır:

$$\sigma_{x,Ed} \leq \frac{f}{\gamma_{M0}} \quad (3.13)$$

Burada $\sigma_{x,Ed}$ moment ve eksenel kuvvetten dolayı oluşan boyuna yerel gerilmedir.

(2)

$$\frac{N_{Ed}}{A_{eff} f_y / \gamma_{M0}} + \frac{M_{y,Ed} + N_{Ed} e_{Ny}}{W_{eff,y,min} f_y / \gamma_{M0}} + \frac{M_{z,Ed} + N_{Ed} e_{Nz}}{W_{eff,z,min} f_y / \gamma_{M0}} \leq 1 \quad (3.14)$$

A_{eff} : Üniform basınç etkisindeki efektif kesit alanı

$W_{eff,min}$: Efektif mukavemet momenti

e_N : Basınç etkisi ile oluşa eksen yer değiştirmesi

3.2.3 Başlık ve gövde elemanlarının burkulma dayanımı

Profil gövde ve başlık elemanlarında yerel burkulmaların kontrolü, incelenen durum için şartnamenin ilgili bölümünden alınmıştır.

3.2.3.1 Basınç altındaki üniform elemanlar

Burkulma Dayanımı:

(1) Basınç elemanı

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1.0 \quad (3.15)$$

koşulunu sağlamalıdır. Burada:

N_{Ed} : Basınç kuvveti tasarım değeri

$N_{b,Rd}$: Basınç parçası tasarım burkulma dayanımı

(2) Tasarım burkulma dayanımında şu ifadeler kullanılmalıdır:

$$\text{Sınıf 1,2 ve 3 kesitlerde} \quad N_{b,Rd} = \frac{\chi A f_y}{\gamma_{M1}} \quad (3.16)$$

$$\text{Sınıf 4 kesitlerde} \quad N_{b,Rd} = \frac{\chi A_{eff} f_y}{\gamma_{M1}} \quad (3.17)$$

Burada χ burkulma moduna göre azaltma faktörüdür.

Burkulma Eğrileri:

(1) Eksenel basınç etkisi altındaki elemanlarda χ değeri uygun olan boyutsuz narinlik $\bar{\lambda}$ ' ya bağlı olarak şu şekilde tanımlanır:

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \leq 1 \quad (3.18)$$

Burada $\Phi = 0.5 \left[1 + \alpha (\bar{\lambda} - 0.2) + \bar{\lambda}^2 \right]$ ve

$$\text{Sınıf 1,2,3 kesitlerinde} \quad \bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A f_y}{N_{cr}}}$$

Sınıf 4 kesitlerinde
$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{eff} f_y}{N_{cr}}}$$

α : hata faktörü

N_{cr} : Bütüt kesitte burkulma moduna karşılık gelen kritik elastik kuvvet.

(2) Hata faktörü α için Çizelge 3.1 ve Ek 2' den uygun burkulma eğrisine karşılık gelen değerler alınacaktır.

Çizelge 3.1 : Burkulma eğrilikleri için hata faktörleri

Burkulma Eğriliği	a_0	a	b	c	d
Hata faktörü α	0.13	0.21	0.34	0.49	0.76

(3) Azaltma faktörü χ değerleri, $\bar{\lambda}$ ' ya bağlı olarak Ek 3' ten alınabilir.

(4) $\bar{\lambda} \leq 0.2$ veya $\frac{N_{Ed}}{N_{cr}} \leq 0.04$ durumunda burkulma etkileri ihmal edilebilir ve bu durumda yalnızca kesit kontrolü yapılır.

Eğilme burkulması için narinlik:

(1) Boyutsuz narinlik:

Sınıf 1,2 ve 3 kesitleri
$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A f_y}{N_{cr}}} = \frac{L_{cr}}{i} \frac{1}{\lambda_1} \quad (3.19)$$

Sınıf 4 kesitleri
$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{eff} f_y}{N_{cr}}} = \frac{L_{cr}}{i} \frac{\sqrt{\frac{A_{eff}}{A}}}{\lambda_1} \quad (3.20)$$

L_{cr} : Düzlemdeki burkulma uzunluğu

i : Bütüt enkesit için düzlemdeki eğrilik yarıçapı

$$\lambda_1 = \pi \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 93.9\varepsilon$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} \text{ (N / mm}^2\text{)}$$

3.2.3.2 Eğilme etkisindeki üniform elemanlar

Burkulma dayanımı:

(1) Kuvvetli ekseninde eğilme etkisinde ve yanal yönde tutulu olmayan elemanlarda;

$$\frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} \leq 1.0 \quad (3.21)$$

denklemini sağlanmalıdır. Burada M_{Ed} tasarım moment değeri ve $M_{b,Rd}$ ise tasarım eğilme burkulması moment kapasitesidir.

(2) Yanal yönde tutulmamış kirişte burkulma tasarım burkulma kapasitesi momenti:

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} W_y \frac{f_y}{\gamma_{M1}} \quad (3.22)$$

Burada W_y mukavemet momenti olup:

$$\text{Sınıf 1 ve 2 kesitlerinde} \quad W_y = W_{pl,y}$$

$$\text{Sınıf 3 kesitlerinde} \quad W_y = W_{el,y}$$

$$\text{Sınıf 4 kesitlerinde} \quad W_y = W_{eff,y}$$

χ_{LT} : Yanal burulma burkulması azaltma katsayısıdır.

Yanal burulma burkulması eğrileri - Genel durum:

(1) Sabit kesitli eğilme elemanlarında χ_{LT} değeri $\bar{\lambda}_{LT}$ boyutsuz narinliğe bağlı olarak

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} \leq 1.0 \quad (3.23)$$

Burada;

$$\Phi_{LT} = 0.5 \left[1 + \alpha_{LT} (\bar{\lambda}_{LT} - 0.2) + \bar{\lambda}_{LT}^2 \right]$$

α_{LT} : hata faktörü

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y f_y}{M_{cr}}}$$

M_{cr} : Yanal burulma burkulması için kritik elastik moment.

Çizelge 3.2 : Yanal burulma burkulması eğrileri için önerilen hata faktörü

Burkulma eğrisi	a	b	c	d
Hata faktörü α_{LT}	0.21	0.34	0.49	0.76

Çizelge 3.3 : Çizelge 3.2 için önerilen değerler

Profil kesiti	Sınırlar	Burkulma eğrisi
I kesitler	$h / b \leq 2$	a
	$h / b > 2$	b
Kaynaklı I kesitler	$h / b \leq 2$	c
	$h / b > 2$	d
Diğer kesitler	-	d

(2) $\bar{\lambda}_{LT} \leq \bar{\lambda}_{LT,0}$ veya $\frac{M_{Ed}}{M_{cr}} \leq \bar{\lambda}_{LT,0}^2$ durumunda yanal burulma burkulması etkileri

ihmal edilebilir ve yalnızca kesit kontrolü yapılır.

Yanal burulma burkulması eğirleri:

$$(1) \chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \beta \bar{\lambda}_{LT}^2}} \quad (3.24)$$

$$\chi_{LT} \leq 1.0; \chi_{LT} \leq \frac{1}{\bar{\lambda}_{LT}^2}$$

$$\Phi_{LT} = 0.5 \left[1 + \alpha_{LT} (\bar{\lambda}_{LT} - \bar{\lambda}_{LT,0}) + \beta \bar{\lambda}_{LT}^2 \right]$$

$$\bar{\lambda}_{LT,0} = 0.4 (\text{maks})$$

$$\beta = 0.75 (\text{maks})$$

Çizelge 3.4 : Denklemler 3.24 için önerilen değerler

Profil kesiti	Sınırlar	Burkulma eğrisi
Hadde I kesitler	$h / b \leq 2$	b
	$h / b > 2$	c
Kaynaklı I kesitler	$h / b \leq 2$	c
	$h / b > 2$	d

(2) Yanal yönde tutulu mesnetler arasındaki moment dağılımını da hesaba dahil etmek için χ_{LT} değeri modifiye edilirse;

$$\chi_{LT,mod} = \frac{\chi_{LT}}{f} \leq 1.0 \quad (3.25)$$

$$f = 1 - 0.5(1 - k_c) \left[1 - 2.0(\bar{\lambda}_{LT} - 0.8)^2 \right] \leq 1.0$$

k_c : Ek 4' de düzeltme faktörü

3.2.3.3 Eğilme ve eksenel basınç etkisindeki üniform elemanlar

(1) Eğilme ve eksenel basınç etkisindeki elemanlar şu şartları sağlamalıdır:

$$\frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{yy} \frac{\frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{y,Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{yz} \frac{\frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}}}{\gamma_{M1}} \leq 1.0 \quad (3.26)$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1.0 \quad (3.27)$$

$N_{Ed}, M_{y,Ed}, M_{z,Ed}$: Tasarım kuvvet ve momentleri.

$\Delta M_{y,Ed}, \Delta M_{z,Ed}$: Sınıf 4 kesitleri için eksenel yer değiştirmeden ötürü oluşan ek momentler.

χ_y, χ_z : Eğilme burkulmasına bağlı azaltma faktörleri.

χ_{LT} : Yanal burulma burkulması azaltma faktörü.

$k_{yy}, k_{yz}, k_{zy}, k_{zz}$: Etkileşim faktörleri

Çizelge 3.5 : $N_{Rk}, M_{i,Rk}$ değerleri

Sınıf	1	2	3	4
A_i	A	A	A	A_{eff}
W_y	$W_{pl,y}$	$W_{pl,y}$	$W_{el,y}$	$W_{eff,y}$
W_z	$W_{pl,z}$	$W_{pl,z}$	$W_{el,z}$	$W_{eff,z}$
$\Delta M_{y,Ed}$	0	0	0	$e_{N,y} N_{Ed}$
$\Delta M_{z,Ed}$	0	0	0	$e_{N,z} N_{Ed}$

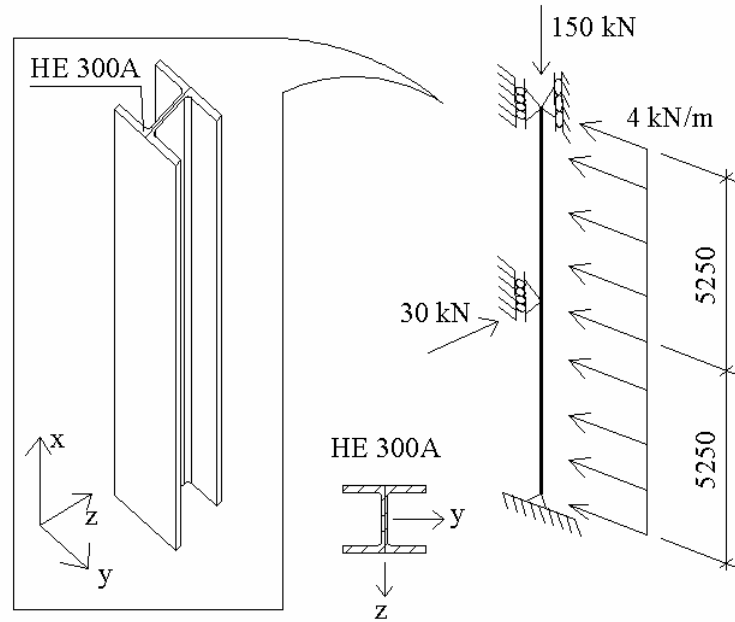
Burulma deformasyonları tahmin edilemeyen elemanlarda $\chi_{LT} = 1.0$ alınacaktır.

$k_{yy}, k_{yz}, k_{zy}, k_{zz}$ etkileşim faktörleri iki yaklaşımın da türevleridir. Bu değerler Ek 5, 7 ve 8' den alınacaktır.

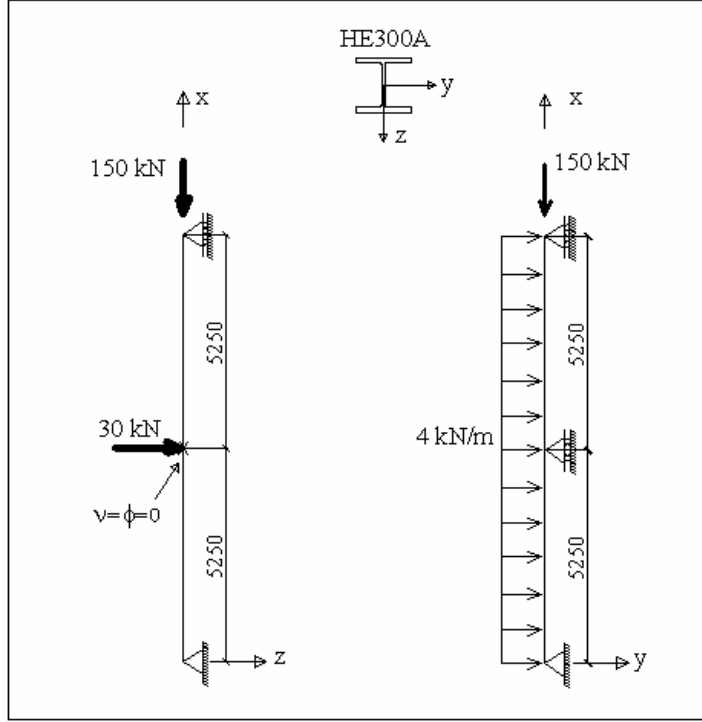
4. İKİ EKSENLİ EĞİLME VE EKSENEL BASINÇ KUVVETİ ETKİSİNDEKİ BİR ELEMANIN EC3' TE DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu bölümde, belirli mesnet şartlarında ve yükleme durumlarındaki kesitler Eurocode3' e göre çözülecektir.

4.1 Örnek



Şekil 4.1 : Yükleme Durumu ve Eleman Mesnet Şartları



Şekil 4.2 : Yükleme Durumları

Şekil 4.2’de gösterilen bir yapı içindeki kenar kolonda, belirtilen dış yükler etkimektedir. HE300 A kesitlikolonda kapasite kontrolünü yapalım.

$$\varepsilon = \sqrt{235 / f_y} = 0.924 \quad (4.1)$$

$$c_f / (t_f \varepsilon) = \left[(300 - 8.5 - 2 \times 27) / 2 \right] / (14 \times 0.924) = 9.18 > 9 \quad (4.2)$$

Ek 1’ den başlık, sınıf-2 grubuna girer.

$$c_w = 290 - 2 \times (14 + 27) = 208 \text{ mm} \quad (4.3)$$

Gövde basınç oranı:

$$\alpha = \left(\frac{h}{2} - (t_f + r) + \frac{1}{2} \frac{N_{Ed}}{t_w f_y} \right) / c_w \quad (4.4)$$

$$= \left(\frac{290}{2} - 14 - 27 + \frac{1}{2} \frac{150 \times 10^3}{8.5 \times 275} \right) / 208 = 0.654 > 0.5$$

$$c_w / (t_w) = \frac{208}{8.5} = 24.47 < \frac{396\varepsilon}{13\alpha - 1} = 48.71 \quad (4.5)$$

Ek 1’ den gövde, sınıf-1 grubuna girer. Böylece kesit sınıf-II grubuna girer.

$$M_{c,y,Rd} = f_y \times W_{pl,y} \times 10^3 = 380.3 \text{ kNm} \quad (4.6)$$

$$M_{c,z,Rd} = f_y \times W_{pl,z} = 275 \times (641.2 \times 10^3) / 1.0 = 176.3 \text{ kNm} \quad (4.7)$$

$$M_{y,Ed} = \frac{30 \times 10.5}{4} = 78.75 \text{ kNm} \quad (4.8)$$

$$M_{z,Ed} = \frac{qL^2}{8} = \frac{4(5.25^2)}{8} = 13.78 \text{ kNm} \quad (4.9)$$

Basitleştirilmiş durumda;

$$\frac{150 \times 10^3}{112.5 \times 10^2 \times 275 / 1.0} + \frac{78.75}{380.3} + \frac{13.78}{176.33} = 0.333 < 1 \quad (4.10)$$

Olduğundan kesit yeterlidir.

Basitleştirilmiş yaklaşım (EC3-Annex B)

k_{yy} hesabı:

$$\lambda_1 = 93.9 \times \varepsilon, \quad \varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \times f_y}{N_{cr,y}}} = \frac{L_{cr,y}}{i_y} \frac{1}{\lambda_1} = \frac{10500}{12.74 \times 10} \frac{1}{(93.9 \times 0.924)} \quad (4.11)$$

$$\bar{\lambda}_y = 0.95$$

Ek 2' den $h/b=290/300=0.97$ ve $tf=14$ için y-y ekseninde burkulma eğrisi “b” eğrisi olarak okunur. Çizelge 3.1' den ise b eğrisi için hata faktörü $\alpha=0.34$ olarak okunur.

$$\Phi_y = 0.5 \left[1 + \alpha (\bar{\lambda}_y - 0.2) + \bar{\lambda}_y^2 \right] = 0.5 \left[1 + 0.34 (0.95 - 0.2) + 0.95^2 \right] = 1.08 \quad (4.12)$$

Burkulma eğrisi χ_y ;

$$\chi_y = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{1.08 + \sqrt{1.08^2 - 0.95^2}} = 0.627 \leq 1.0 \quad (4.13)$$

olarak bulunur. Sınıf I için tasarım burkulma dayanımı ;

$$N_{b,y,Rd} = \frac{\chi A f_y}{\gamma_{M1}} = 0.627(112.5 \times 10^2) 275 / 1.0 = 1941.2 \text{ kN} > 150 \text{ kN} = N_{Ed} \quad (4.14)$$

Ek 9’ da sistem elemanımızda oluşan moment diyagramı ile eşleşen 3. satırda;

$M_h = 0, \alpha_h = M_h / M_s = 0, \psi = 0$ (iki ucu moment mafsallı mesnetlerden dolayı)
olduğundan

$$C_{my} = 0.90 + 0.10 \alpha_h = 0.90 \quad (4.15)$$

Bu değerler Ek 7’ de yerine konulursa;

$$k_{yy} = C_{my} \left(1 + (\bar{\lambda}_y - 0.2) \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right) \leq C_{my} \left(1 + 0.8 \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right) \quad (4.16)$$

$$k_{yy} = 0.90 \left(1 + (0.95 - 0.2) \frac{150 \times 10^3}{0.627(112.5 \times 10^2) 275 / 1.0} \right) \\ \leq 0.90 \left(1 + 0.8 \frac{150 \times 10^3}{0.627(112.5 \times 10^2) 275 / 1.0} \right)$$

$$k_{yy} = 0.952 \leq 1.081$$

k_{zz} hesabı:

$$\bar{\lambda}_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} \frac{1}{\lambda_1} = \frac{5250}{7.49 \times 10} \frac{1}{93.9 \times 0.924} = 0.808 \quad (4.17)$$

$h/b=0.97 < 1.2$ ve $tf=14\text{mm} < 100\text{mm}$ için Ek 2’

den “c” eğrisi seçilir, $\alpha=0.49$ olur.

$$\Phi_z = 0.5 \left[1 + \alpha (\bar{\lambda}_y - 0.2) + \bar{\lambda}_y^2 \right] = 0.5 \left[1 + 0.49(0.808 - 0.2) + 0.808^2 \right] = 0.975 \quad (4.18)$$

$$\chi_z = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{0.975 + \sqrt{0.975^2 - 0.808^2}} = 0.658 < 1.0 \quad (4.19)$$

olduğu için $\chi_z = 0.658$ alınacaktır.

$$N_{b,z,Rd} = \frac{\chi_z A f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0.658(112.5 \times 10^2) 275}{1.0} = 2036 \text{ kN} < 150 \text{ kN} = N_{z,Ed} \quad (4.20)$$

Moment diyagramı ise Ek 9’ da ikinci satırda gösterilen moment diyagramı ile eşleştiği için;

$$M_h = \frac{qL^2}{8} = \frac{4 \times 5.25^2}{8} = -13.8 \text{ kNm} \quad (4.21)$$

$$M_s = \frac{L \times q \times l^2}{128} = \frac{10.5 \times 4 \times 5.25^2}{128} = 9.04 \text{ kNm} \quad (4.22)$$

$$\alpha_s = M_h / M_s = 9.04 / -13.8 = -0.655 \quad (4.23)$$

$\psi = 0$ için;

$$C_{mz} = 0.1 - 0.8\alpha_s \geq 0.4 \quad (4.24)$$

$$= 0.1 - 0.8(-0.655) = 0.624 \geq 0.4$$

Ek 7’ de k_{zz} için;

$$k_{zz} = C_{mz} \left(1 + (2\bar{\lambda}_z - 0.6) \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right) \leq C_{mz} \left(1 + 1.4 \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right) \quad (4.25)$$

$$= 0.624 \left(1 + (2 \times 0.808 - 0.6) \frac{150 \times 10^2}{0.658 (112.5 \times 10^2) 275 / 1.0} \right)$$

$$\leq 0.624 \left(1 + 1.4 \frac{150 \times 10^3}{0.658 (112.5 \times 10^2) 275 / 1.0} \right)$$

$$k_{zz} = 0.670 \leq 0.688$$

k_{zy} hesabı:

Elastik burkulma momenti;

Ek 10’ dan α_m ’ e bakılırsa $a=0$ için $\alpha_m=1.35$ olur.

$$M_{zx} = \sqrt{\left(\frac{\pi^2 EI_z}{L^2} \right) \left(GI_t + \frac{\pi^2 EI_w}{L^2} \right)} \quad (4.26)$$

$$= \sqrt{\left(\frac{\pi^2 210000 (63102 \times 10^4)}{5250^2} \right) \left(81000 (85.17 \times 10^4) + \frac{\pi^2 210000 (1200 \times 10^9)}{5250^2} \right)}$$

$$= 870 \text{ kNm}$$

$$M_{cr} = \alpha_m M_{zx} = 1.35 \times 870 = 1173.4 \text{ kNm}$$

$$h/b=290/300=0.97 < 2$$

Çizelge 3.2’ de burkulma eğrisi için “b” ve hata faktörü $\alpha_m=0.34$ olarak okunur.

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{(1260 \times 10^3) 275}{1173.4 \times 10^3}} = 0.543 \quad (4.27)$$

Ek 4’ te düzeltme faktörü $k_c=0.86$ okunur.

$$f = 1 - 0.5(1 - k_c) \left(1 - 2.0(\bar{\lambda}_{LT} - 0.8)^2 \right) \quad (4.28)$$

$$= 1 - 0.5(1 - 0.86) \left(1 - 2.0(0.543 - 0.8)^2 \right) = 0.939$$

Denklem 3.23’ den;

$$\Phi_{LT} = 0.5 \left[1 + \alpha_{LT} (\bar{\lambda}_{LT} - 0.2) + \bar{\lambda}_{LT}^2 \right] = 0.5 \left[1 + 0.34(0.543 - 0.2) + 0.543^2 \right] \quad (4.29)$$

$$= 0.705$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{0.705 + \sqrt{0.705^2 - 0.543^2}} = 0.866 \quad (4.30)$$

$$\beta = 1.0(\min 0.75)$$

$$\frac{M_{b,Rd} \gamma_{M1}}{W_y f_y} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \beta \bar{\lambda}_{LT}^2}} \quad (4.31)$$

$$M_{b,Rd} = \frac{346.5}{0.705 + \sqrt{0.705^2 - 0.543^2}} = 300 \text{ kNm}$$

$$M_{b,Rd, \text{modifiye}} = \frac{300}{f} = \frac{300}{0.939} = 319 \text{ kNm} \quad (4.32)$$

Ek 9’ da $\psi=0$ için;

$$C_{m,LT} = 0.6 + 0.4\psi = 0.6 > 0.4 \quad (4.33)$$

Ek 8’ den;

$$k_{zy} = \left[1 - \frac{0.1 \bar{\lambda}_z}{(C_{m,LT} - 0.25)} \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right] \geq \left(1 - \frac{0.1}{(C_{m,LT} - 0.25)} \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right) \quad (4.34)$$

$$= \left[1 - \frac{0.1(0.808)}{(0.6 - 0.25)} \frac{150 \times 10^3}{0.658(112.5 \times 10^2) 275 / 1.0} \right] = 0.983 \geq 0.979$$

olduğu için $k_{zy}=0.983$ kullanılacaktır.

$$k_{yz} = 0.6 \times k_{zz} = 0.6 \times 0.67 = 0.402 \quad (4.35)$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,y,Rd}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed}}{M_{b,Rd}} + k_{yz} \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} = \frac{150}{1941.2} + 0.974 \frac{78.75}{319} + 0.402 \frac{13.78}{176.3} = 0.35 < 1 \quad (4.36)$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,z,Rd}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed}}{M_{b,Rd}} + k_{zz} \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} = \frac{150}{2036} + 0.98 \frac{78.75}{319} + 0.667 \frac{13.78}{176.3} = 0.367 < 1 \quad (4.37)$$

Her iki yönde de kapasite yeterlidir.

Daha kesin yaklaşım (EC3-Annex A)

$$\bar{\lambda}_y = 0.475, \bar{\lambda}_z = \bar{\lambda}_{maks} = 0.808$$

$$M_{zx} = 870 \text{ kNm}$$

$$\bar{\lambda}_o = \sqrt{\frac{M_{c,y,Rd}}{M_{zx}}} = \sqrt{\frac{380.3}{870}} = 0.661 \quad (4.38)$$

$$i_p = \sqrt{(I_y + I_z) / A} = \sqrt{(18260 \times 10^4 + 6310 \times 10^4) / (112.5 \times 10^2)} = 147.8 \text{ mm} \quad (4.39)$$

Denklem 2.22' den;

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_p^2} \left(GI_t + \frac{\pi^2 EI_w}{L_{cr,T}^2} \right) \quad (4.40)$$

$$= \frac{1}{147.8^2} \left(81000(85.17 \times 10^4) + \frac{\pi^2 210000(1200 \times 10^9)}{5250^2} \right) = 7289 \text{ kN}$$

$\beta=0$ olduğu için $\alpha_m = C_1 = 1.75$ olur.

$$\bar{\lambda}_o = 0.661 > 0.2 \sqrt{C_1} \sqrt{\left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}} \right) \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,T}} \right)} \quad (4.41)$$

$$= 0.661 > 0.2 \sqrt{1.75} \sqrt{\left(1 - \frac{150}{4745} \right) \left(1 - \frac{150}{7289} \right)} = 0.261$$

$$a_{LT} = 1 - \frac{I_t}{I_y} = 1 - \frac{85.17}{18260} = 0.995 \geq 0 \quad (4.42)$$

$$\varepsilon_y = \frac{M_{y,Ed}}{N_{Ed}} \frac{A}{W_{el,y}} = \frac{78.75 \times 10^6}{150 \times 10^3} \frac{112.5 \times 10^2}{1260 \times 10^3} = 4.69 \quad (4.43)$$

$$N_{cr,z} = \pi^2 EI / L_{cr,z}^2 = \pi^2 (210000) (6310 \times 10^4) / 5250^2 = 4745 \text{ kN} \quad (4.44)$$

$$N_{cr,y} = \pi^2 EI / L_{cr}^2 = \pi^2 (210000) (18260 \times 10^4) / 10500^2 = 3432.7 \text{ kN} \quad (4.45)$$

Ek 6' dan;

$$C_{my,0} = 1 - 0.18 \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}} = 1 - 0.18 \frac{150}{3432.7} = 0.992 \quad (4.46)$$

$$C_{my} = C_{my,0} + (1 - C_{my,0}) \frac{\sqrt{\varepsilon_y} a_{LT}}{1 + \sqrt{\varepsilon_y} a_{LT}} = 0.992 + (1 - 0.992) \frac{\sqrt{4.69 \times 0.995}}{1 + \sqrt{4.69 \times 0.995}} \quad (4.47)$$

$$= 0.997$$

$$C_{mLT} = C_{my}^2 \frac{a_{LT}}{\sqrt{\left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}\right) \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,T}}\right)}} = 0.997^2 \frac{0.995}{\sqrt{\left(1 - \frac{150}{4745}\right) \left(1 - \frac{150}{7289}\right)}} = 1.02 > 1 \quad (4.48)$$

$$w_y = \frac{W_{pl,y}}{W_{el,y}} = \frac{1383}{1260} = 1.098 \quad (4.49)$$

$$n_{pl} = \frac{N_{Ed}}{N_{Rk} / \gamma_{M1}} = \frac{150 \times 10^3}{(112.5 \times 10^2) 275 / 1} = 0.05 \quad (4.50)$$

$$|\delta_x| = \frac{qL^4}{185EI_z} = \frac{4 \times (5250^4)}{185(210000)(6310 \times 10^4)} = 1.24 \text{ mm} \quad (4.51)$$

$$|M_{z,Ed}(x)| = 13.78 \text{ kNm} \quad (4.52)$$

Ek 6' dan;

$$C_{mz} = C_{mz,0} = 1 + \left[\frac{\pi^2 EI_z |\delta_x|}{L^2 |M_{z,Ed}(x)|} \right] \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}} \quad (4.53)$$

$$= 1 + \left[\frac{\pi^2 (210000) (6310 \times 10^2) (1.24)}{5250^2 (13.78 \times 10^6)} - 1 \right] \frac{150}{4745} = 0.982$$

$$w_z = \frac{W_{pl,z}}{W_{el,z}} = \frac{641.2}{420.6} = 1.524 > 1.5 \quad (4.54)$$

olduğu için $w_z=1.5$ alınacaktır.

$$n_{pl} = \frac{N_{Ed}}{N_{Rk} / \gamma_{M1}} = \frac{150 \times 10^3}{112.5 \times 10^2 (275) / 1.0} = 0.048 \quad (4.55)$$

$$\mu_z = \frac{1 - N_{Ed} / N_{cr,z}}{1 - \chi_z N_{Ed} / N_{cr,z}} = \frac{1 - 150 / 4745}{1 - 0.718 (150 / 4745)} = 0.99 \quad (4.56)$$

$$b_{LT} = 0.5 a_{LT} \bar{\lambda}_o^2 \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{pl,y,Rd}} \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,z,Rd}} = 0.5 (0.995) (0.661^2) \frac{78.75}{(0.866) 319} \frac{13.78}{176.3} \quad (4.57)$$

$$= 0.0048$$

$$c_{LT} = 10 a_{LT} \frac{\bar{\lambda}_o}{5 + \bar{\lambda}_z^4} \frac{M_{y,Ed}}{C_{my} \chi_{LT} M_{pl,y,Rd}} = 10 \frac{(0.995) (0.661^2)}{5 + 0.808^4} \frac{78.75}{(0.997) (0.866) 319} \quad (4.58)$$

$$= 0.229$$

$$d_{LT} = 2 a_{LT} \frac{\bar{\lambda}_o}{0.1 + \bar{\lambda}_z^4} \frac{M_{y,Ed}}{C_{my} \chi_{LT} M_{pl,y,Rd}} \frac{M_{z,Ed}}{C_{mz} M_{pl,z,Rd}} \quad (4.59)$$

$$= 2 (0.995) \frac{0.661}{0.1 + (0.808)^4} \frac{78.75}{(0.997) (0.876) 319} \frac{13.78}{(0.982) 176.3} = 0.054$$

$$e_{LT} = 1.7 a_{LT} \frac{\bar{\lambda}_o}{0.1 + \bar{\lambda}_z^4} \frac{M_{y,Ed}}{C_{my} \chi_{LT} M_{pl,y,Rd}} \quad (4.60)$$

$$= 1.7 (0.995) \frac{0.661}{0.1 + 0.808^4} \frac{78.75}{0.997 (0.866) (176.3)} = 1.047$$

$\chi_y = 0.627$ için;

$$\mu_y = \frac{1 - 150 / 3432.7}{1 - 0.627 (150) / 3432.7} = 0.983 \quad (4.61)$$

$$C_{yy} = 1 + (w_y - 1) \left[\left(2 - \frac{1.6}{w_y} C_{my}^2 \bar{\lambda}_{maks} - \frac{1.6}{1.12} C_{my}^2 \bar{\lambda}_{maks}^2 \right) n_{pl} - b_{LT} \right] \geq \frac{W_{el,y}}{W_{pl,y}} \quad (4.62)$$

$$= 1 + (1.098 - 1) \left[\left(2 - \frac{1.6}{1.098} 0.997^2 (0.808) - \frac{1.6}{1.12} 0.997^2 (0.808^2) \right) 0.05 - 0.0048 \right]$$

$$= 0.999 \geq 0.911$$

$$C_{yz} = 1 + (w_z - 1) \left[\left(2 - 14 \frac{C_{mz}^2 \bar{\lambda}_{maks}^2}{w_z^5} \right) n_{pl} - c_{LT} \right] \geq 0.6 \sqrt{\frac{w_z}{w_y}} \frac{W_{el,z}}{W_{pl,z}} \quad (4.63)$$

$$= 1 + (1.5 - 1) \left[\left(2 - 14 (0.982^2) \frac{0.808^2}{1.5^5} \right) 0.05 - 0.19 \right] \geq 0.6 \sqrt{\frac{1.5}{1.098}} (0.911)$$

$$= 0.838 \geq 0.644$$

$$C_{zz} = 1 + (w_z - 1) \left[\left(2 - \frac{1.6}{w_z} C_{mz}^2 \bar{\lambda}_{maks} - \frac{1.6}{w_z} C_{mz}^2 \bar{\lambda}_{maks}^2 \right) n_{pl} - e_{LT} \right] \geq \frac{W_{el,z}}{W_{pl,z}} \quad (4.64)$$

$$= 1 + (1.5 - 1) \left[\left(2 - \frac{1.6}{1.5} (0.982^2) (0.808) - \frac{1.6}{1.5} (0.982^2) (0.808)^2 \right) 0.05 - 1.047 \right]$$

$$= 0.480 < 0.911$$

olduğu için $C_m = 0.911$ alınacaktır.

$$k_{yy} = C_{my} C_{mLT} \frac{\mu_y}{1 - N_{Ed} / N_{cr,y}} \frac{1}{C_{yy}} = 0.997 (1.020) \frac{0.983}{1 - 150 / 3432.7} \frac{1}{0.999} = 1.05 \quad (4.65)$$

$$k_{yz} = C_{mz} \frac{\mu_y}{1 - N_{Ed} / N_{cr,z}} \frac{1}{C_{yz}} (0.6) \sqrt{\frac{w_z}{w_y}} = 0.982 \frac{0.983}{\left(1 - \frac{150}{4745} \right) 0.838} (0.6) \sqrt{\frac{1.5}{1.098}} \quad (4.66)$$

$$= 0.834$$

$$k_{zy} = C_{my} C_{mLT} \frac{\mu_z}{1 - N_{Ed} / N_{cr,y}} \frac{1}{C_{yz}} (0.6) \sqrt{\frac{w_y}{w_z}} \quad (4.67)$$

$$= 0.997 (1.020) \frac{0.99}{1 - 150 / 3432.7} \frac{1}{0.838} (0.6) \sqrt{\frac{1.098}{1.5}} = 0.645$$

$$k_{zz} = C_{mz} \frac{\mu_z}{1 - N_{Ed} / N_{cr,z}} \frac{1}{C_{zz}} = 0.982 \frac{0.99}{1 - 150 / 4745} \frac{1}{0.911} = 1.102 \quad (4.68)$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,y,Rd}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed}}{M_{b,Rd}} + k_{yz} \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} = \frac{150}{1941.2} + 1.05 \frac{78.75}{319} + 0.834 \frac{13.78}{176.3} = 0.402 < 1 \quad \textbf{(4.69)}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,z,Rd}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed}}{M_{b,Rd}} + k_{zz} \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} = \frac{150}{2221} + 0.645 \frac{78.75}{319} + 1.102 \frac{13.78}{176.3} = 0.313 < 1 \quad \textbf{(4.70)}$$

5. AISC 360-05 ‘ TE İKİ EKSENLİ EĞİLME VE EKSENEL BASINÇ ETKİSİNDEKİ ETKİSİNDEKİ ELEMANLARIN TASARIMI VE KONTROLÜ

Yapı elemanının tasarımı, Yük ve Dayanım Faktörü Tasarımı (Load and Resistance Factor Design, buradan sonra LRFD olarak kısaltılacaktır) veya İzin Verilebilir Dayanım Tasarımı (Allowable Strength Design, buradan sonra ASD olarak kısaltılacaktır) hükümleri doğrultusunda yapılacaktır. LRFD kullanılarak yapılacak dayanım tasarımında;

$$R_u \leq \phi R_n \quad (5.1)$$

şartı aranmaktadır. Burada R_u gerekli olan tasarım mukavemetini; R_n karakteristik dayanımı ve ϕ ise dayanım faktörünü gösterir. Benzer şekilde, ASD kullanılarak yapılacak tasarımda ise;

$$R_a \leq R_n / \Omega \quad (5.2)$$

Şartı aranmaktadır. Burada R_a gerekli olan tasarım mukavemeti; R_n karakteristik mukavemeti ve Ω ise güvenlik faktörüdür.

İki eksenli eğilme ve eksenel basınç etkisi altında kesit dayanımı AISC 360-05 standardında incelenebilmesi için öncelikle eleman kesitinin flanş genişlik-kalınlık ve gövde yükseklik-kalınlık oranları kullanılarak sınıflandırılma yapılması gerekmektedir. Daha sonra devam edilecek tasarım kontrolleri, bu sınıflandırma çerçevesinde yapılacak olup buradan elde edilecek tasarım değerleri kesitin dayanım değerleri olarak kullanılabilir.

5.1 Yerel Burkulma Durumları İçin Kesitlerin Sınıflandırılması

Profil kesitleri kompakt, kompakt olmayan ve narin olmak üzere üç sınıfa ayrılmıştır. Bir kesitin başlık veya başlıkları gövde kısmına sürekli birleştiği ve basınç başlığı genişlik-kalınlık oranı λ_p tablodaki sınır değerini aşmadığı koşulu olması durumunda kesit kompakt olarak düşünülür. Ancak genişlik-kalınlık oranı λ_p

ile λ_r değerleri arasında olursa kesit kompakt olmayan, λ_r değerini aşması durumunda ise narin kesit olarak isimlendirilir.

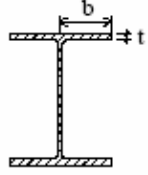
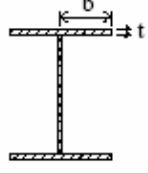
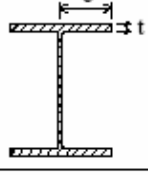
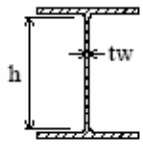
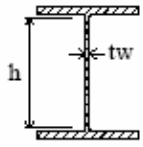
5.1.1 Eleman açıklığı boyunca her başlıklar bir kenardan gövde parçasına sürekli birleşen elemanlar

İki eksenine göre simetrik I kesitli elemanlarda, gövde parçası başlık genişlinin ortasından başlık parçasına birleşmektedir. Bu durumda başlık parçasının yarısını ele aldığımızda, parçanın bir kenarı sürekli olarak gövde parçasıyla mesnetlenmiştir ve diğer kenarı ise boş uç olmaktadır. Dolayısıyla bu durumda flanş genişliği olarak b_f nin yarısı alınmalıdır.

5.1.2 Mesnetler arası boyunca yanal yönde iki kenardan sürekli tutulu elemanlar

İki eksenine göre simetrik I kesitli elemanlarda, eleman açıklığı boyunca gövde parçası alt ve st başlıklar arasında sürekli olarak flanşlar tarafından mesnetlenmiştir. Bu elemanlarda gövde yüksekliği h , gövde ile flanş birleşiminin olduğu yerdeki boyun kısmının haricindeki temiz yüksekliktir. h_c ise eleman kesit merkezinden boyun kısmı hariç yüksekliğin 2 katıdır.

Çizelge 5.1: Basınç başlığının bir kenarı boyunca sürekli mesnetli ve basınç etkisi altındaki elemanlarda genişlik-kalınlık oranı sınırlandırması

	Durum	Eleman Açıklaması	Genişlik-kalınlık oranı	Sınırlar		
				λ_p kompakt	λ_p kompakt olmayan	Örnek
Tutulmuş olmayan kısım	1	Sıcakta şekil verilmiş kesitli I ve C kesitli elemanlarda başlıkta eğilme	b/t	$0.38(E/F_y)^{1/2}$	$1.0(E/F_y)^{1/2}$	
	2	Tek eksen ve çift eksen simetrikli yapma profil I kesitli elemanlarda başlıkta eğilme	b/t	$0.38(E/F_y)^{1/2}$	$0.95(E/F_y)^{1/2}$	
	3	Sıcakta şekil verilmiş kesitli I ve C kesitli elemanlarda başlıkta üniform basınç	b/t	NA	$0.95(E/F_y)^{1/2}$	
Tutulmuş olan kısım	4	Sıcakta şekil verilmiş kesitli I ve C kesitli elemanlarda gövdede üniform eğilme	h/tw	$3.76(E/F_y)^{1/2}$	$5.70(E/F_y)^{1/2}$	
	5	Tek eksen ve çift eksen simetrikli yapma profil I kesitli elemanlarda başlıkta üniform basınç	h/tw	NA	$1.49(E/F_y)^{1/2}$	

[a]: $k_c = 4/\sqrt{h/t_w}$ değeri 0.35' den küçük 0.76' dan büyük alınamaz (2. Durum).

[b]: $F_L = 0.7 \cdot F_y$ olarak zayıf eksene göre eğilmede kullanılacaktır (2. Durum).

5.2 İkinci Mertebe Analiz Yöntemleri

5.2.1 İkinci mertebe elastik analiz genel yaklaşım

P- Δ ve P- δ etkilerini ele alan herhangi ikinci mertebe elastik analiz yöntemleri kullanılabilir. Çaprazlı, moment aktaran ya da her iki türü de içeren ikinci mertebe elastik analiz yöntemlerinde, yükseltilmiş birinci mertebe elastik yöntem kullanılabilir.

5.2.2 Yükseltilmiş birinci mertebe elastik analiz kullanılarak ikinci mertebe analiz yaklaşımları

Yanal yönde tutulu sistemlerde, gerekli moment ve eksenel yük dayanımı hesaplarında ikinci mertebe analiz için yaklaşımlar incelenmiş olup; ikinci mertebe gerekli eğilme momenti dayanımı M_r ve eksenel kuvvet dayanımı P_r şöyle tanımlanabilir:

$$M_r = \beta_1 M_{nt} + \beta_2 M_{lt} \quad (5.3)$$

M_{nt} : Çerçeve elemanında yanal deplasmanların tutulu olması durumunda birinci mertebe teorisine göre çözümden elde edilen moment.

M_{lt} : Çerçeve elemanında sadece yanal deplasmanlardan dolayı birinci mertebe teorisine göre çözümden elde edilen moment.

$$P_r = P_{nt} + \beta_2 P_{lt} \quad (5.4)$$

P_{nt} : Çerçeve elemanında yanal deplasmanların tutulu olması durumunda birinci mertebe teorisine göre çözümden elde edilen eksenel kuvvet.

Burada;

$$\beta_1 = \frac{C_m}{1 - \alpha \frac{P_r}{P_{el}}} \geq 1 \quad (5.5)$$

β_1 : Düğüm noktaları arasında kalan elemandaki deplasmanlardan dolayı oluşacak ikinci mertebe etkileri (P- δ) içeren büyütme katsayısıdır.

$$C_m = 0.6 - 0.4 \left(\frac{M_1}{M_2} \right) \quad (5.6)$$

C_m : Yanal yönde ötelenmesi önlenmiş çerçeve elemanları için katsayı.

M_1/M_2 : Birinci mertebe çözümden elde edilen; düzlemdeki en büyük ve en küçük moment değerleri.

P_r : İkinci mertebe çözümde gerekli aksenal dayanım.

$$P_{e1} = \frac{\pi^2 EI}{(K_1 L)^2} \quad (5.7)$$

P_{e1} : Yanal yönde uç deplasmanları önlenmiş elemanda kritik elastik burkulma dayanımı.

K_1 : Düzlemde eğilmede efektif uzunluk faktörü, yanal deplasmanı önlenmiş elemanlarda aksi ispatlanmadıkça 1.0 alınabilir.

Moment aktaran çerçevede K_2 kolon burkulma katsayıları tanımlı ise;

$$\sum P_{e2} = \sum \frac{\pi^2 EI}{(K_2 L)^2} \quad (5.8)$$

$\sum P_{e2}$: Yanal yönde uç deplasmanları etkisinde toplam kritik elastik burkulma dayanımı.

K_2 : Yanal burkulma analizinde düzlemde eğilme efektif uzunluk faktörü.

Yanal yönde tutulu tüm sistemlerde;

$$\sum P_{e2} = R_M \frac{\sum H L}{\Delta_H} \quad (5.9)$$

kullanılabilir.

Δ_H : Yanal yüklerden oluşan birinci mertebe ötelenme.

$\sum H$: Yanal yüklerden dolayı oluşan kat kesme kuvveti

R_M : Çaprazlı sistemlerde 1.0, moment aktaran ve karma sistemlerde daha büyük değer olduğu ispatlanmadıkça 0.85 alınacaktır.

L : Eleman uzunluğu.

$$\beta_2 = \frac{1}{1 - \alpha \frac{\sum P_{nt}}{\sum P_{e2}}} \geq 1 \quad (5.10)$$

β_2 : Dügüm noktalarındaki deplasmanlardan dolayı oluşacak ikinci mertebe etkileri (P-Δ) içeren büyütme katsayısıdır.

$\alpha=1.00$ (LRFD), $\alpha=1.60$ (ASD)

5.3 Eğilme Elemanlarının Kapasitesi ve Tasarımı

Bu bölümde bir eksende eğilme etkisindeki elemanlar incelenecektir. Elemanların, kesme kuvveti merkezinden geçen ve kesit simetriklik eksenlerinden birine paralel düzlemde etkiyen yükleme durumu veya yük etkiye noktası ve mesnetlerde dönmesi önlenmiş olduğu varsayımı yapılmıştır.

Çizelge 5.2 : F bölümü eleman tahkik seçim tablosu

Tip	Kesit	Başlık Narinliği	Gövde Narinliği	Limit Durumu
Çift simetrikli kompakt kesitli I ve C kesitli elemanlarda kuvvetli ekseninde eğilme		Kompakt	Kompakt	Akma, Yanal Burulma
Çift simetrikli, kompakt gövdeli, kompakt olmayan veya narin flanşlı I ve C kesitli elemanlarda kuvvetli ekseninde eğilme		Kompakt Olmayan, Narin	Kompakt	Yanal Burulma, Flanş Yanal Burulması
Çift simetrikli, kompakt veya kompakt olmayan gövdeli I kesitli elemanlarda kuvvetli ekseninde eğilme		Kompakt, Kompakt Olmayan, Narin	Kompakt, Kompakt Olmayan	Akma, Yanal Burulma, Flanş Yanal Burulması, Çekme Başlığı Akması
Tek yada çift simetrikli, narin gövdeli I kesitli elemanlarda kuvvetli ekseninde eğilme		Kompakt, Kompakt Olmayan, Narin	Narin	Akma, Yanal Burulma, Flanş Yanal Burulması, Çekme Başlığı Akması
I kesitli elemanlarda zayıf ekseninde eğilme		Kompakt, Kompakt Olmayan, Narin	Bakılmaz	Akma, Flanş Yanal Burulması

5.3.1 Genel kurallar

Tasarım eğilme kapasitesi $\phi_b M_n$ ve izin verilebilir eğilme kapasitesi M_n / Ω_b değerleri için:

$$\phi_b = 0.90 \text{ (LRFD)}$$

$$\Omega_b = 1.67 \text{ (ASD)}$$

sabitleri kullanılacaktır.

İki ucu tutulu bir elemanın düzgün olmayan moment diyagramları için yanal burkulma faktörü C_b ;

$$C_b = \frac{12.5 M_{maks}}{2.5 M_{maks} + 3 M_A + 4 M_B + 3 M_C} R_m \leq 3.0 \quad (5.11)$$

olarak belirlenir. Burada;

M_{maks} : Yanal yönde tutulu olmayan kısmın en büyük değeri (N.mm)

M_A : Yanal yönde tutulu olmayan kısmın dörtte birlik kısmındaki moment değeri (N.mm)

M_B : Yanal yönde tutulu olmayan kısmın merkez noktasındaki moment değeri (N.mm)

M_C : Yanal yönde tutulu olmayan kısmın dörtte üçlük kısmındaki moment değeri (N.mm)

R_M : Kesit bir eksen simetriklik parametresi

: 1.0, çift simetrik olma durumu

: 1.0, tek eğrilikli eğilmeye maruz tek eksenine göre simetrik elemanlar

: $0.5 + 2 \left(\frac{I_{yc}}{I_y} \right)^2$, zıt eğrilikli eğilme etkisindeki tek eksenine göre simetrik elemanlar

I_y : y eksenini atalet momenti (mm^4)

I_{yc} : Basınç başlığının y eksenine göre atalet momenti (mm^4)

Not: İki eksenine göre simetrik elemanlarında, yanal yönde tutulu olan kısımda zıt olmayan yüklemeler olduğu durumda C_b değeri eşit ve zıt yönlü uç momentleri için 2.27' ye; bir uçtaki moment sıfır olduğunda ise 1.67' ye düşer.

5.3.2 İki eksenine göre simetrik kompakt I kesitlerde kuvvetli ekseninde eğilme

Bu bölümde AISC 360-05' de bölüm B4' de tanımlanan kompakt gövde ve flanşa sahip iki eksenine göre simetrik I kesitler irdelencektir.

Karakteristik eğilme momenti M_n sınır akma durumu (plastik moment) ve yanal burulma burkulma değerini aşmamalıdır.

5.3.2.1 Akma

$$M_n = M_p = F_y Z_x \quad (5.12)$$

F_y : Çelik sınıfı karakteristik minimum akma gerilmesi

Z_x : X eksenine göre plastik mukavemet momenti

5.3.2.2 Yanal-burulma burkulması

- $L_b \leq L_p$ durumunda yanal-burulma burkulması limit durumu oluşmaz.
- $L_p < L_b \leq L_r$ durumunda

$$M_n = C_b \left[M_p - (M_p - 0.7 F_y S_x) \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \leq M_p \quad (5.13)$$

- $L_b > L_r$

$$M_n = F_{cr} S_x \leq M_p \quad (5.14)$$

L_b : Basınç başlığı yanal deplasmanı önlenmiş veya kesit dönmesi önlenmiş uzunluk.

$$F_{cr} = \frac{C_b \pi^2 E}{\left(\frac{L_b}{r_{ts}} \right)^2} \sqrt{1 + 0.078 \frac{J_c}{S_x h_o} \left(\frac{L_b}{r_{ts}} \right)^2} \quad (5.15)$$

E: Çelik elastisite modülü (200000 Mpa)

J: Burulma atalet momenti (mm^4)

S_x : X eksenine göre elastik mukavemet momenti (mm^3)

Not: Kareköklü terim 1.0' a eşit alınabilir.

$$L_p = 1.76 r_y \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (5.16)$$

$$L_r = 1.95 r_{ts} \frac{E}{0.7 F_y} \sqrt{\frac{J_c}{S_x h_o}} \sqrt{1 + \sqrt{1 + 6.76 \left(\frac{0.7 F_y}{E} \frac{S_x h_o}{J_c} \right)}} \quad (5.17)$$

$$r_{ts}^2 = \frac{\sqrt{I_y C_w}}{S_x} \quad (5.18)$$

İki eksenine göre simetrik I kesitler için c=1 alınacaktır.

Not: Denklem 5.5' de kareköklü ifade 1 olarak alınırsa Denklem 5.7 ;

$$L_r = \pi r_{ts} \sqrt{\frac{E}{0.7 F_y}}$$

olur. Dikdörtgen geometrili başlığı olan iki eksenine göre simetrik I kesitlerde

$$C_w = \frac{I_y h_o^2}{4}$$

olarak indirgenir. Denklem 5.10 ise;

$$r_{ts}^2 = \frac{I_y h_o}{2 S_x}$$

olur. r_{ts} değeri basınç başlığı atalet yarıçapı ve gövde kalınlığına bağlı olarak yaklaşık;

$$r_{ts} = \frac{b_f}{\sqrt{12 \left(1 + \frac{1}{6} \frac{h t_w}{b_f t_f} \right)}}$$

İfade

edilebilir.

5.3.3 Kompakt gövdeli ve kompakt olmayan veya narin başlıklı iki eksenine göre simetrik I kesitli elemanlarda kuvvetli ekseninde eğilme

Bölüm B4' te belirtilen iki eksenine göre simetrik kesitin kuvvetli ekseninde eğilmesi incelencektir. Karakteristik eğilme mukavemeti M_n yanal burulma burkulması limit durumu ve basınç başlığı yerel burkulma değerlerinden küçük olmalıdır.

5.3.3.1 Yanal burulma burkulması

Yanal burulma burkulması için Bölüm 5.2.2 uygulanabilir.

5.3.3.2 Basınç başlığı yerel burkulması

- Kompakt olmayan flanşı olan kesitlerde

$$M_n = \left[M_p - (M_p - 0.7F_y S_x) \left(\frac{\lambda - \lambda_{pf}}{\lambda_{rf} - \lambda_{pf}} \right) \right] \quad (5.19)$$

- Narin flanşı olan kesitlerde

$$M_n = \frac{0.9E k_c S_x}{\lambda^2} \quad (5.20)$$

olur. Burada;

$$\lambda = \frac{b_f}{2t_f}$$

$\lambda_{pf} = \lambda_p$ Çizelge 5.1' den alınan kompakt başlık narinlik limiti değeri

$\lambda_{rf} = \lambda_r$ Çizelge 5.1' den alınan kompakt olmayan başlık narinlik limiti değeri

$k_c = \frac{4}{\sqrt{h/tw}}$ olmak üzere 0.35' den küçük 0.76' dan büyük değerleri alamaz.

5.3.4 Kompakt veya kompakt olmayan gövdeli iki eksenine göre simetrik diğer kesitlerde kuvvetli ekseninde eğilme

Bu bölümde Çizelge 5.1' de tanımlanan kompakt olmayan gövdeli iki eksenine göre simetrik I kesitli elemanların kuvvetli eksenindeki eğilmesi incelenecektir. Karakteristik eğilme mukavemeti M_n hesaplanırken, basınç başlığı akmaması, yanal

burulma burkulması ile basınç başlığı yerel burkulmaları ve çekme başlığı akması limit durumları göz önünde bulundurulmalıdır.

5.3.4.1 Basınç başlığı akması

$$M_n = R_{pc} M_{yc} = R_{pc} F_y S_{xc} \quad (5.21)$$

5.3.4.2 Yanal-burulma burkulması

i) $L_b \leq L_p$ durumunda yanal burulma burkulması uygulanamaz.

j) $L_p < L_b \leq L_r$ durumunda

$$M_n = C_b \left[R_{pc} M_{yc} - (R_{pc} M_{yc} - F_L S_{xc}) \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \leq R_{pc} M_{yc} \quad (5.22)$$

k) $L_b > L_r$ durumunda ise

$$M_n = F_{cr} S_{xc} R_{pc} \leq M_{yc} \quad (5.23)$$

$$M_{yc} = F_y S_{xc} \quad (5.24)$$

$$F_{cr} = \frac{C_b \pi^2 E}{\left(\frac{L_b}{r_t} \right)^2} \sqrt{1 + 0.078 \frac{J}{S_{xc} h_o} \left(\frac{L_b}{r_t} \right)^2} \quad (5.25)$$

$\frac{I_{yc}}{I_y} \leq 0.23$ olduğu durumlarda J sıfır alınabilir.

F_L gerilmesi ise;

i) $\frac{S_{xt}}{S_{xc}} \geq 0.7$ olması durumunda

$$F_L = 0.7 F_y \quad (5.26)$$

ii) $\frac{S_{xt}}{S_{xc}} < 0.7$ olması durumunda ise

$$F_L = F_y \frac{S_{xt}}{S_{xc}} \geq 0.5 F_y \quad (5.27)$$

Akma sınır durumu için yanal yönde tutulu olma uzunluğu limiti

$$L_p = 1.1 r_t \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (5.28)$$

Elastik olmayan yanal burulma burkulması limit durumu için yanal yönde tutulu olma limit uzunluğu

$$L_r = 1.95 r_t \frac{E}{F_L} \sqrt{\frac{J}{S_{xc} h_o}} \sqrt{1 + \sqrt{1 + 6.76 \left(\frac{F_L}{E} \frac{S_{xc} h_o}{J} \right)^2}} \quad (5.29)$$

Gövde plastikleşme faktörü R_{pc} ise;

$$i) \quad \frac{h_c}{t_w} \leq \lambda_{pw} \text{ durumunda}$$

$$R_{pc} = \frac{M_p}{M_{yc}} \quad (5.30)$$

$$ii) \quad \frac{h_c}{t_w} > \lambda_{pw}$$

$$R_{pc} = \left[\frac{M_p}{M_{yc}} - \left(\frac{M_p}{M_{yc}} - 1 \right) \left(\frac{\lambda - \lambda_{pw}}{\lambda_{rw} - \lambda_{pw}} \right) \right] \leq \frac{M_p}{M_{yc}} \quad (5.31)$$

olur. Burada;

$$M_p = Z_x F_y \leq 1.6 S_{xc} F_y$$

S_{xc} , S_{xt} : Çekme ve basınç başlıkları elastik mukavemet momenti (mm^3).

$$\lambda = \frac{h_c}{t_w}$$

$\lambda_{pw} = \lambda_p$ Çizelge 5.1' den alınacak kompakt gövde için alınacak narinlik limiti.

$\lambda_{rw} = \lambda_r$ Çizelge 5.1' den alınacak kompakt olmayan gövde için alınacak narinlik limiti.

Basınç başlığı dikdörtgen geometrili I profillerde yanal burulma burkulması için etkili eğrilik yarıçapı r_t ;

$$r_t = \frac{b_{fc}}{\sqrt{12 \left(\frac{h_a}{d} + \frac{1}{6} a_w \frac{h^2}{h_o d} \right)}} \quad (5.32)$$

$$a_w = \frac{h_c t_w}{b_{fc} t_{fc}} \quad (5.33)$$

h_c : basınç başlığı genişliği (mm).

t_{fc} : basınç başlığı kalınlığı (mm).

Not: Basınç başlığı dikdörtgen olan I profillerde r_t kısaca;

$$r_t = \frac{b_{fc}}{\sqrt{12 \left(1 + \frac{1}{6} a_w \right)}}$$

olarak tariflenebilir.

5.3.4.3 Basınç başlığı yerel burkulması

a) Kompakt flanşlı kesitlerde yerel burkulma tahkikine gerek yoktur.

b) Kompakt olmayan flanşlı olan kesitlerde;

$$M_n = \left[R_{pc} M_{yc} - (R_{pc} M_{yc} - F_L S_{xc}) \left(\frac{\lambda - \lambda_{pf}}{\lambda_{rf} - \lambda_{pf}} \right) \right] \quad (5.34)$$

c) Narin flanşlı profillerde;

$$M_n = \frac{0.9 E k_c S_{xc}}{\lambda^2} \quad (5.35)$$

F_L Denklem 5.16-17' de tanımlanmıştır.

R_{pc} ise Denklem 5.21' de tanımlanan gövde plastikleşme faktörüdür.

$k_c = \frac{4}{\sqrt{h/t_w}}$ olmak üzere 0.35' den küçük 0.76' dan büyük değerleri alamaz.

$$\lambda = \frac{b_{fc}}{2 t_{fc}}$$

$\lambda_{pf} = \lambda_p$ Çizelge 5.1' den alınacak kompakt başlık için alınacak narinlik limiti.

$\lambda_{rf} = \lambda_r$ Çizelge 5.1' den alınacak kompakt olmayan başlık için alınacak narinlik limiti.

5.3.4.4 Çekme başlığında akma

a) $S_{xt} \geq S_{xc}$ olduğu durumda çekme başlığındaki gerilme akma sınırı altındadır.

b) $S_{xt} < S_{xc}$ durumunda:

$$M_n = R_{pt} M_{yt} \quad (5.36)$$

$$M_{yt} = F_y S_{xt}$$

Çekme başlığı akmasına karşılık gövde plastikleşme faktörü ise;

i) $\frac{h_c}{t_w} \leq \lambda_{pw}$ olduğunda;

$$R_{pt} = \frac{M_p}{M_{yt}} \quad (5.37)$$

ii) $\frac{h_c}{t_w} > \lambda_{pw}$ olduğunda;

$$R_{pt} = \left[\frac{M_p}{M_{yt}} - \left(\frac{M_p}{M_{yt}} - 1 \right) \left(\frac{\lambda - \lambda_{pw}}{\lambda_{rw} - \lambda_{pw}} \right) \right] \quad (5.38)$$

$$\lambda = \frac{h_c}{t_c}$$

$\lambda_{pw} = \lambda_p$ (Çizelge 5.1' den alınacak kompakt gövde için alınacak narinlik limiti.)

$\lambda_{rw} = \lambda_r$ (Çizelge 5.1' den alınacak kompakt olmayan gövde için alınacak narinlik limiti.)

5.3.5 Narin gövdeye sahip tek veya iki eksenine göre simetrik I kesitli elemanlarda kuvvetli ekseninde eğilme

Bu kısım, gövde kısmının flanş ile birleşimi flanş orta noktasında olan kesitler içindir. Karakteristik eğilme mukavemeti M_n basınç başlığında akma gerilmesini oluşturan, yanal burulma burkulmasına sebep olan, basınç başlığı yerel burkulmasına sebep olan ve çekme başlığında akma gerilmesini oluşturan limit değerlerden en küçüğü olacaktır.

5.3.5.1 Basınç başlığında akma gerilmesi oluşması

$$M_n = R_{pg} F_y S_{xc} \quad (5.39)$$

5.3.5.2 Yanal-burulma burkulması

$$M_n = R_{pg} F_{cr} S_{xc} \quad (5.40)$$

a) $L_b \leq L_p$ olduğunda yanal-burulma burkulması oluşmaz.

b) $L_p < L_b \leq L_r$

$$F_{cr} = C_b \left[F_y - (0.3F_y) \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \leq F_y \quad (5.41)$$

c) $L_b > L_r$

$$F_{cr} = \frac{C_b \pi^2 E}{\left(\frac{L_b}{r_1} \right)^2} \leq F_y \quad (5.42)$$

$$L_r = \pi r_1 \sqrt{\frac{E}{0.7F_y}} \quad (5.43)$$

Eğilme mukavemeti azaltma faktörü R_{pg} ise;

$$R_{pg} = 1 - \frac{a_w}{1200 + 300a_w} \left(\frac{h_c}{t_w} - 5.7 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \right) \leq 1.0 \quad (5.44)$$

a_w : Denklem 5.23' te tanımlanan değer 10' dan büyük değer alamaz.

r_1 : Bölüm 5.4.2' te tanımlanan efektif eğrilik yarıçapı.

5.3.5.3 Basınç başlığı yerel burkulması

$$M_n = R_{pg} F_{cr} S_{xc} \quad (5.45)$$

a) Kompakt flanşlı kesitlerde basınç başlığı yerel burkulması oluşmaz.

b) Kompakt olmayan flanşlarda ise;

$$F_{cr} = \left[F_y - (0.30F_y) \left(\frac{\lambda - \lambda_{pf}}{\lambda_{rf} - \lambda_{pf}} \right) \right] \quad (5.46)$$

c) Narin flanşlı kesitlerde;

$$F_{cr} = \frac{0.9Ek_o}{\left(\frac{b_f}{2t_f}\right)^2} \quad (5.47)$$

$$k_c = \frac{4}{\sqrt{h/t_w}} \quad (0.35' \text{ den az } 0.76' \text{ dan büyük değ er alamaz.})$$

$$\lambda = \frac{b_{fc}}{2t_{fc}}$$

$\lambda_{pf} = \lambda_p$ (Çizelge 5.1' de verilen kompakt flanş narinlik limiti)

$\lambda_{rf} = \lambda_r$ (Çizelge 5.1' de verilen kompakt olmayan flanş narinlik limiti)

5.3.5.4 Çekme başlığında akma gerilmesi oluşması

a) $S_{x1} \geq S_{xc}$ olduğu durumlarda çekme başlığında akma gerilmesine ulaş ılmaz.

b) $S_{x1} < S_{xc}$ olduğu durumlarda ise;

$$M_n = F_y S_{x1} \quad (5.48)$$

5.3.6 Zayıf ekseninde eğilme etkisindeki I kesitli profiller

Karakteristik akma dayanımı M_n akma ve flanş yerel burkulmaları limit durumlarından küçük olanıdır.

5.3.6.1 Akma gerilmesi

$$M_n = M_p = F_y Z_y \leq 1.6 F_y S_y \quad (5.49)$$

5.3.6.2 Flanş yerel burkulması

a) Kompakt olmayan flanşlı elemanlarda;

$$M_n = \left[M_p - (M_p - 0.7 F_y S_y) \left(\frac{\lambda - \lambda_{pf}}{\lambda_{rf} - \lambda_{pf}} \right) \right] \quad (5.50)$$

b) Narin başlıklı kesitlerde ise;

$$M_n = F_{cr} S_y \quad (5.51)$$

$$F_{cr} = \frac{0.69E}{\left(\frac{b_f}{2t_f}\right)^2} \quad (5.52)$$

$$\lambda = \frac{b}{t}$$

$\lambda_{pf} = \lambda_p$ (Çizelge 5.1' de verilen kompakt flanş narinlik limiti)

$\lambda_{rf} = \lambda_r$ (Çizelge 5.1' de verilen kompakt olmayan eleman narinlik limiti)

S_y : U kesitler için küçük olan mukavemet momenti alınabilir.

5.4 AISC 360-05 Bileşke Kuvvetler ve Burulma Etkisi Altındaki Elemanların Tasarımı

Bu bölümde elemanlarda tek ya da iki eksende eksenel kuvvet ve eğilme ile burulma veya yalnızca burulma etkisi incelenecektir.

5.4.1 İki eksenine göre simetrik kesitli elemanlarda eksenel kuvvet ve eğilme etkisi

5.4.1.1 İki eksenine göre simetrik kesitli elemanda eğilme ve basınç etkisinin birlikte olması durumu

X ve/veya Y eksenine göre eğilme oluşacak şekilde mesnetlenmiş elemanlarda eğilme-normal kuvvet (basınç) etkileşimi:

$$a) \quad \frac{P_r}{P_c} \geq 0.2 \text{ olması durumunda;}$$

$$\frac{P_r}{P_c} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) \leq 1.0 \quad (5.53)$$

$$b) \quad \frac{P_r}{P_c} < 0.2 \text{ olduğunda;}$$

$$\frac{P_r}{2P_c} + \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) \leq 1.0 \quad (5.54)$$

P_r : Gerekli eksenel basınç mukavemeti (N)

P_c : Uygulanabilir eksenel basınç mukavemeti (N)

M_r : Gerekli olan eğilme mukavemeti (N-mm)

M_c : Uygulanabilir eğilme mukavemeti (N-mm)

x: Güçlü ekseninde eğilme indisi

y: Zayıf ekseninde eğilme indisi

LRFD ‘ de Tasarım:

P_r : LRFD yük kombinasyonlarına göre gerekli eksenel basınç mukavemeti (N)

$P_c = \phi_c P_n$ tasarım eksenel basınç mukavemeti (AISC 360-05 Bölüm E, N)

M_r : LRFD kombinasyonlarında gerekli eğilme mukavemeti (N-mm)

$M_c = \phi_b M_n$ (Bölüm 5’ deki LRFD yükleme kombinasyonlarında gerekli eğilme mukavemeti, N-mm)

ϕ_c : Basınç durumunda dayanım faktörü (0.90)

ϕ_b : Eğilme durumunda dayanım faktörü (0.90)

ASD’ de Tasarım:

$P_r =$ ASD yük kombinasyonlarında gerekli eksenel basınç mukavemeti (N)

$P_c = P_n / \Omega_c$ izin verilebilir eksenel basınç mukavemeti,(AISC 360-05 Bölüm E,N)

$M_r =$ ASD yük kombinasyonlarında gerekli olan eğilme dayanımı (N-mm)

$M_c = M_n / \Omega_b$ (Bölüm 5’ deki izin verilebilir eğilme kapasitesi, N-mm)

Ω_c = Basınç durumunda güvenlik faktörü (1.67)

Ω_b = Eğilme durumunda güvenlik faktörü (1.67)

5.4.1.2 İki Eksenine Göre Simetrik Kesitte Bir Ekseninde Eğilme ve Basınç

Bir ekseninde eğilme etkisindeki elemanlarda iki bağımsız limit durumu göz önüne alınabilir. Düzlemindeki stabilite sorunu ve düzlem dışı burkulma veya eğilmeden dolayı oluşan burulma burkulması limit durumlarıdır.

a) Düzlemdeki stabilite sorununda P_c, M_r ve M_c düzlemde tanımlanmış olup Denklem 5.53-5.54 kullanılacaktır.

b) Düzlem dışı burkulma durumunda;

$$\frac{P_r}{P_{co}} + \left(\frac{M_r}{M_{cx}} \right)^2 \leq 1.0 \quad (5.55)$$

P_{co} : Düzlem dışı burkulma uygulanabilir basınç dayanımı (N)

M_{cx} : Bölüm 5' te tanımlanan kuvvetli eksen eğilmesinde uygulanabilir eğilme-burulma dayanımı (N-mm)

Eğilmenin zayıf ekseninde olması durumunda Denklem 5.533' teki moment oranı gözardı edilebilir.

6. İKİ EKSENLİ EĞİLME VE EKSENEL BASINÇ KUVVETİ ETKİSİNDEKİ BİR ELEMANIN AISC 360-05' DE DEĞERLENDİRİLMESİ

EC3' e göre çözülen örneği AISC 360-05' e göre çözelim.

6.1 Kesitin Sınıflandırılması

Çizelge 5.1 ve 5.2 kullanılarak sınıflandırma yapılırsa;

$$\frac{h}{t_w} = \frac{208}{8.5} = 24.5 < \lambda_p = 3.76 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 3.76 \sqrt{\frac{210000}{275}} = 104 \quad (6.1)$$

olduğu için kompakt gövdelidir.

$$\frac{b}{t} = \frac{150}{14} = 10.71 > \lambda_p = 0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 10.5 \quad (6.2)$$

olduğu için kompakt olmayan başlıklıdır.

6.2 Tasarım Eksenel Basınç Kuvveti

LRFD' ye göre tasarım eksenel kuvvet dayanımı bulunurken ikinci mertebe etkileri de dikkate alınacaktır. Bu sebeple;

$$P_r = P_{nt} + \beta_2 P_{lt} \quad (6.3)$$

olacaktır. Ancak $P_{lt} = 0$ kN (uçların deplasmanından ötürü oluşan eksenel basınç kvveti) olduğu için

$$P_r = P_{nt} = 150 \text{ kN} \quad (6.4)$$

olarak alınacaktır.

$$P_c = \phi_c P_n$$

P_n değeri z ve y yönleri için ayrı ayrı bulunup en küçük değer, aksenal basınç dayanımı olarak alınacaktır. Uçların ötelenmesi önlenmemiş çubuk elemanı olarak düşünülecektir ($K_z=1.2$, $K_y=1$)

x - z düzleminde:

$$L_z = 10500\text{mm}, K_z = 1.2, r_z = 127.4\text{mm}$$

$$\frac{K_z L_z}{r_z} = \frac{10500 \times 1.2}{127.4} = 98.9 < 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 130.2 \quad (6.5)$$

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{K_z L_z}{r_z} \right)^2} = 211.9 \geq 0.44 F_y = 121 \quad (6.6)$$

$$F_{cr} \left[0.658^{F_y/F_e} \right] \times F_y = \left[0.658^{275/211.9} \right] \times 275 = 159.7\text{Mpa} \quad (6.7)$$

$$P_n = F_{cr} A_g = 159.7 (112.5 \times 10^2) = 1797\text{kN} \quad (6.8)$$

$$P_c = 0.90 \times 1797 = 1617\text{kN} \quad (6.9)$$

x - y düzleminde:

$$L_y = 5250\text{mm}, K_y = 1, r_y = 74.9\text{mm}$$

$$\frac{K_y L_y}{r_y} = \frac{5250 \times 1}{74.9} = 70 < 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 130.2 \quad (6.10)$$

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{K_y L_y}{r_y} \right)^2} = \frac{\pi^2 \times 210000}{(70)^2} = 423\text{MPa} \geq 0.44 F_y = 121 \quad (6.11)$$

$$F_{cr} \left[0.658^{F_y/F_e} \right] \times F_y = \left[0.658^{275/423} \right] \times 275 = 209.5\text{Mpa} \quad (6.12)$$

$$P_n = F_{cr} A_g = 209.5 (112.5 \times 10^2) = 2356.7\text{kN} \quad (6.13)$$

$$P_c = 0.90 \times 2356.7 = 2121\text{kN} \quad (6.14)$$

$$P_{c,\text{maks}} = \left\{ \begin{matrix} 1617 \\ 2121 \end{matrix} \right\}_{\min} = 1617\text{kN} \quad (6.15)$$

6.3 Kuvvetli Eksende Eğilme

Tasarım eğilme momenti hesabında ikinci mertebe etkileri de göz önüne alınmalıdır. Bundan dolayı;

$$M_r = \beta_1 M_n + \beta_2 M_{lt} \quad (6.16)$$

$$\beta_1 = \frac{C_m}{1 - \alpha \frac{P_r}{P_{el}}} \geq 1 \quad (6.17)$$

$$\alpha = 1 \text{ (LRFD)} \quad (6.18)$$

$$C_m = 0.6 - 0.4 \left(\frac{M_1}{M_2} \right) = 0.6 - 0.4 \left(\frac{0}{78.75} \right) = 0.2 \quad (6.19)$$

$$P_{el,y} = \frac{\pi^2 EI_y}{(K_y L_y)^2} = \frac{\pi^2 (21000)(18260)}{[(1.2)(1050)]^2} = 2384 \text{ kN} \quad (6.20)$$

$$\beta_{1,y} = \frac{0.2}{1 - (1.0) \frac{150}{2384}} = 0.213 < 1.0 \quad (6.21)$$

olduğundan $\beta_{1,y} = 1.0$ olarak alınacaktır.

$$M_r = (1.0)(78.75) + 0 = 78.75 \text{ kNm} \quad (6.22)$$

Çizelge 5.3' den, flanş kompakt olmayan ve gövde kompakt olduğu için F3 satırı uygun olmaktadır. Yanal burulma burkulması ve flanş yerel burkulması tahkikleri yapılacaktır.

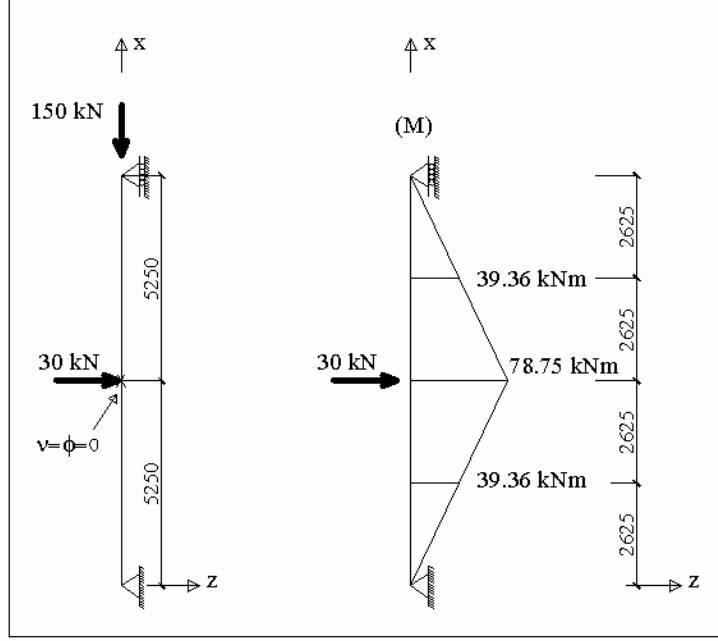
Yanal burulma burkulması:

$$M_n = C_b \left[M_p - (M_p - 0.7 F_y S_y) \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \leq M_p \quad (6.23)$$

C_b sayısı için 5.2.1' e bakarsak;

$$C_b = \frac{12.5 M_{maks}}{2.5 M_{maks} + 3 M_a + 4 M_b + 3 M_c} R_m \leq 3.0 \quad (6.24)$$

$R_m = 1.0$ (Çift simetrik eleman)



Şekil 6.1 : Moment dağılım diyagramı

$$C_b = \frac{12.5(78.75)}{2.5(78.75) + 3(39.36) + 4(78.75) + 3(39.36)}(1) = 1.316 \leq 3.0 \quad (6.25)$$

$$L_p = 1.76r_z \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1.76(74.9) \sqrt{763.6} = 3642.7 \text{ mm} < L_b = 10500 \text{ mm} \quad (6.26)$$

Olduğu için basınç başlığı yanal yönde tutulu değildir.

$$r_{ts}^2 = \frac{I_z h_o}{2S_y} = \frac{6310 \times 10^4 \times 276}{2 \times 1260 \times 10^3} = 6911 \rightarrow r_{ts} = 83.1 \text{ mm} \quad (6.27)$$

$$L_r = 1.95r_{ts} \frac{E}{0.7F_y} \sqrt{\frac{J_c}{S_y h_o}} \sqrt{1 + \sqrt{1 + 6.76 \left(\frac{0.7F_y}{E} \frac{S_y h_o}{J_c} \right)^2}} \quad (6.28)$$

$$= 1.95(83.1) \frac{210000}{0.7 \times 275} \sqrt{\frac{85.17 \times 10^4 (1)}{1260 \times 10^3 (276)}} \sqrt{1 + \sqrt{1 + 6.76 \left(\frac{0.7 \times 275}{210000} \frac{1260 \times 10^3 (276)}{85.17 \times 10^4 (1)} \right)^2}}$$

$$= 13540 \text{ mm}$$

$L_p < L_b < L_r$ olduğundan yanal burulmalı burkulma inelastiktir ve aşağıdaki ifade ile belirlenir:

$$M_p = F_y Z_y = 275(1383 \times 10^3) = 380.3 \text{ kNm} \quad (6.29)$$

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

$$M_n = 1.316 \left[380.3 \times 10^6 - (380.3 \times 10^6 - 0.7(275)(1260 \times 10^3)) \left(\frac{10500 - 3642}{13540 - 3642} \right) \right] \quad (6.30)$$

$$= 374.9 \text{ kNm} < M_p = 380.3 \text{ kNm} \quad (6.31)$$

Basınç başlığı yerel burkulması:

$$\lambda = \frac{b_f}{2t_f} = \frac{150}{2 \times 14} = 5.36 \quad (6.32)$$

$$\lambda_{pf} = \lambda_p = 0.38 \sqrt{E / F_y} = 10.5 \quad (6.33)$$

$$\lambda_{rf} = \lambda_r = 1.0 \sqrt{E / F_y} = 27.6 \quad (6.34)$$

Kompakt olmayan gövdeye sahip olduğu için

$$M_n = \left[M_p - (M_p - 0.7F_y S_y) \left(\frac{\lambda - \lambda_{pf}}{\lambda_{rf} - \lambda_{pf}} \right) \right] \quad (6.35)$$

$$= \left[380.3 \times 10^6 - \left(380.3 \times 10^6 - 0.7(275)(1260 \times 10^3) \left(\frac{5.36 - 10.5}{27.6 - 10.5} \right) \right) \right]$$

= 421.6 kNm > M_p = 380.3 kNm olduğundan M_p olarak alınacaktır.

$$M_{n,\text{maks}} = \left\{ \begin{matrix} 374.9 \\ 421.6 \end{matrix} \right\}_{\min} = 374.9 \text{ kNm} \quad (6.36)$$

$$M_c = \phi_b M_n = 0.9 \times 374.9 = 337.4 \text{ kNm} \quad (6.37)$$

6.4 Zayıf Eksende Eğilme

Tasarım eğilme momenti hesabında ikinci mertebe etkileri de göz önüne alınmalıdır.

Bundan dolayı;

$$M_r = \beta_1 M_n + \beta_2 M_{lt} \quad (6.38)$$

$$\beta_1 = \frac{C_m}{1 - \alpha \frac{P_r}{P_{el}}} \geq 1 \quad (6.39)$$

$$\alpha = 1 \text{ (LRFD)} \quad (6.40)$$

$$C_m = 0.6 - 0.4 \left(\frac{M_1}{M_2} \right) = 0.6 - 0.4 \left(\frac{0}{13.78} \right) = 0.2 \quad (6.41)$$

$$P_{el,z} = \frac{\pi^2 EI_z}{(K_z L_z)^2} = \frac{\pi^2 (21000)(6310)}{[(1.0)(525)]^2} = 4745 \text{ kN} \quad (6.42)$$

$$\beta_{1,z} = \frac{0.2}{1 - (1.0) \frac{150}{4745}} = 0.206 < 1.0 \quad (6.43)$$

olduğundan $\beta_{1,z} = 1.0$ olarak alınacaktır.

$$M_r = (1.0)(13.78) + 0 = 13.78 \text{ kNm}$$

Akma:

$$M_n = M_p = F_y Z_z \leq 1.6 F_y S_z \quad (6.44)$$

$$= 275 (641.2 \times 10^3) \leq 1.6 (275) (420.6 \times 10^3)$$

$$= 176 \text{ kNm} \leq 185 \text{ kNm}$$

Flanş yerel burkulması:

Kompakt olmayan başlıklarda

$$\lambda = \frac{b_f}{t_f} = \frac{150}{14} = 10.71 \quad (6.45)$$

$$\lambda_{pf} = \lambda_p = 0.38 \sqrt{E / F_y} = 10.5 \quad (6.46)$$

$$\lambda_{rf} = \lambda_r = 1.0 \sqrt{E / F_y} = 27.6 \quad (6.47)$$

Kompakt olmayan gövdeye sahip olduğu için

$$M_n = \left[M_p - (M_p - 0.7 F_y S_z) \left(\frac{\lambda - \lambda_{pf}}{\lambda_{rf} - \lambda_{pf}} \right) \right] \quad (6.48)$$

$$= \left[176 \times 10^6 - \left(176 \times 10^6 - 0.7(275)(420.6 \times 10^3) \left(\frac{10.71 - 10.5}{27.6 - 10.5} \right) \right) \right]$$

$$= 174.8 \text{ kNm}$$

$$M_{n,\text{maks}} = \left\{ \begin{matrix} 176 \\ 174.8 \end{matrix} \right\}_{\min} = 174.8 \text{ kNm} \quad (6.49)$$

$$M_c = \phi_b M_n = 0.9 \times 174.8 = 157.3 \text{ kNm} \quad (6.50)$$

$$\frac{P_r}{P_c} = \frac{150}{1617} = 0.093 < 0.2 \quad (6.51)$$

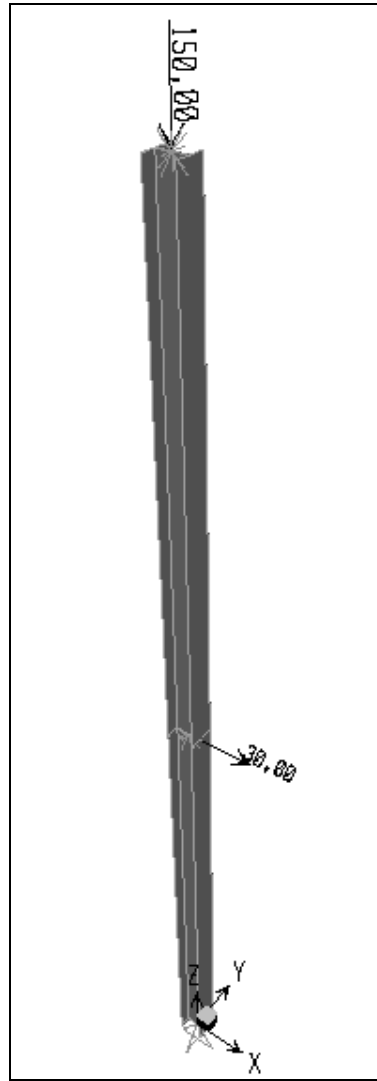
olduğundan

$$\frac{P_r}{2P_c} + \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) = \frac{150}{2 \times 1617} + \frac{13.78}{157.3} + \frac{78.75}{337.4} = 0.367 < 1.0$$

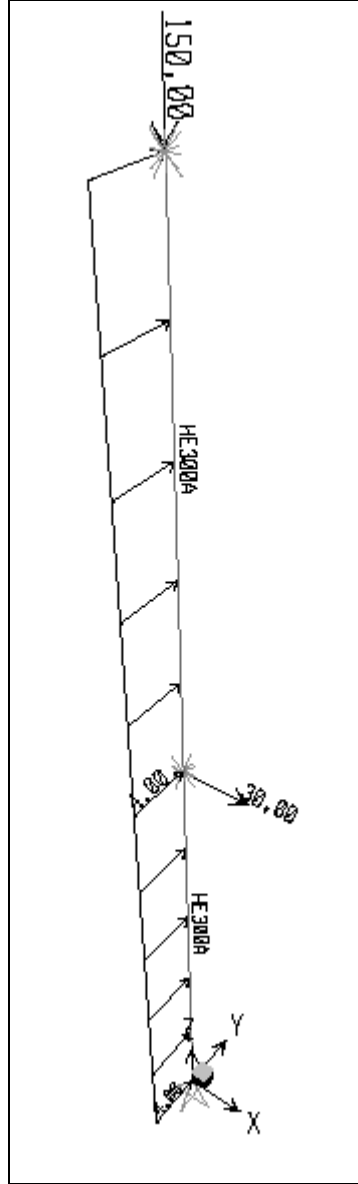
7. SONLU ELEMENLAR PROGRAMI İLE ÇÖZÜMLEME

Sap2000 v.14 sonlu elemanlar analiz programında AISC 360-05 ve EC3 2005 şartnameleri kullanılarak analiz ve tasarım kontrolleri yapılmıştır.

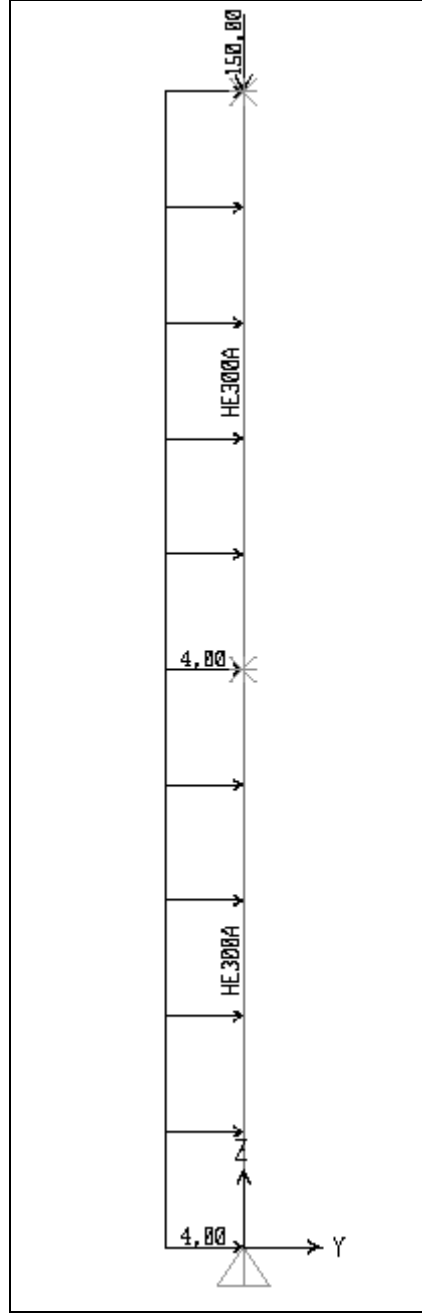
7.1 Data Girdileri



Şekil 7.1 : Analiz elemanları üç boyutlu görünüş



Şekil 7.2 : Yükleme bilgileri perspektif görünüş



Şekil 7.3 : Yükleme bilgisi y-z düzlemi

7.2 Program Çıktıları

Yapılan analiz ve tasarım kontrolleri sonucunda elde edilen sonuçlar incelenmiş ve bununla ilgili rapor

Eurocode 3-2005 STEEL SECTION CHECK						
Combo : GQ						
Units : KN, m, C						
Frame : 2	Design Sect: HE300A					
X Mid : 0,000	Design Type: Column					
Y Mid : 0,000	Frame Type : Moment Resisting Frame					
Z Mid : 7,875	Sect Class : Class 3					
Length : 5,250	Major Axis : 0,000 degrees counterclockwise from local 3					
Loc : 0,000	RLLF : 1,000					
Area : 0,011	SMajor : 0,001	rMajor : 0,127	AVMajor: 0,002			
IMajor : 1,826E-04	SMinor : 4,207E-04	rMinor : 0,075	AVMinor: 0,007			
IMinor : 6,310E-05	EMajor : 0,001	E : 199947978,80				
Ixy : 0,000	SMinor : 6,410E-04	Fy : 275000,000				
STRESS CHECK FORCES & MOMENTS						
Location	P	M33	M22	V2	V3	T
0,000	-154,566	-78,750	13,746	-15,000	13,118	0,000
DMM DEMAND/CAPACITY RATIO						
Governing	Total	P	MMajor	MMinor	Ratio	Status
Equation	Ratio	Ratio	Ratio	Ratio	Limit	Check
(6.2)	0,396	= 0,050	+ 0,227	+ 0,119	0,950	OK
AXIAL FORCE DESIGN						
	Ned	Nc,Rd	Nt,Rd	Nb33,Rd	Nb22,Rd	
	Force	Capacity	Capacity	Major	Minor	
Axial	-154,566	1904,629	3107,500	1904,629	3107,500	
MOMENT DESIGN						
	Med	Mc,Rd	Mv,Rd	Mb,Rd		
	Moment	Capacity	Capacity	Capacity		
Major Moment	-78,750	346,310	346,310	346,310		
Minor Moment	13,746	115,683	115,683			
	K	L	k	kzy	kxz	C1
	Factor	Factor	Factor	Factor	Factor	Factor
Major Moment	1,000	2,000	1,047	0,994		1,880
Minor Moment	1,000	1,000	0,615		0,615	
SHEAR DESIGN						
	Ved	Vc,Rd	Stress	Status	Ted	
	Force	Capacity	Ratio	Check	Torsion	
Major Shear	15,000	391,371	0,038	OK	0,000	
Minor Shear	13,118	1111,399	0,012	OK	0,000	

Şekil 7.4 : EC3-2005 tasarım kontrolü çıktısı

AISC360-05/IBC2006 STEEL SECTION CHECK (Summary for Combo and Station)						
Units : KN, m, C						
Frame : 2	X Mid: 0,000	Combo: GQ	Design Type: Column			
Length: 5,250	Y Mid: 0,000	Shape: HE300A	Frame Type: Special Moment Frame			
Loc : 0,000	Z Mid: 7,875	Class: Non-Compact	Princpl Rot: 0,000 degrees			
Provision: LRFD	Analysis: Direct Analysis		Reduction: Tau-b Fixed			
D/C Limit=0,950	2nd Order: General 2nd Order		EA factor=0,800 EI factor=0,800			
AlphaFr/Fy=0,050	AlphaFr/Fe=0,047	Tau b=1,000	PhiTF=0,750			
PhiB=0,900	PhiC=0,900	PhiTY=0,900				
PhiS=0,900	PhiS-RI=1,000	PhiST=0,900				
A=0,011	I33=1,826E-04	r33=0,127	S33=0,001	Av3=0,007		
J=0,000	I22=6,310E-05	r22=0,075	S22=4,207E-04	Av2=0,002		
E=199947978,8	fy=275000,000	Ry=1,100	z33=0,001	Cw=1,202E-06		
RLLF=1,000	Fu=420000,000		z22=6,410E-04			
STRESS CHECK FORCES & MOMENTS (Combo GQ)						
Location	Pu	Mu33	Mu22	Vu2	Vu3	Tu
0,000	-154,566	-78,750	13,746	-15,000	13,118	0,000
PMM DEMAND/CAPACITY RATIO (H1-1b)						
D/C Ratio: 0,362 = 0,041 + 0,232 + 0,088						
= (1/2) (Pr/Pc) + (Mr33/Mc33) + (Mr22/Mc22)						
AXIAL FORCE & BIAXIAL MOMENT DESIGN (H1-1b)						
Factor	L	K1	K2	B1	B2	Cm
Major Bending	2,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Minor Bending	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
	Lltb	Kltb	Cb			
LTB	1,000	1,000	1,667			
	Pu	phi*Pnc	phi*Pnt			
	Force	Capacity	Capacity			
Axial	-154,566	1878,580	2796,750			
	Mu	phi*Mn				
	Moment	Capacity				
Major Moment	-78,750	338,820				
Minor Moment	13,746	156,248				
SHEAR CHECK						
	Vu	phi*Vn	Stress	Status		
	Force	Capacity	Ratio	Check		
Major Shear	15,000	406,725	0,037	OK		
Minor Shear	13,118	1247,400	0,011	OK		

Şekil 7.5 : AISC 360-05 LRFD tasarım kontrolü çıktısı

8. SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında, iki eksenle simetrik I kesitli bir eleman aksenal basınç yükü ve iki yönde eğilme dış yükleri etkisinde iken eleman tasarım sınır durumları EC3 ve AISC 360-05 standartlarına göre incelenmiş ve sayısal değerlere sahip örnekler irdelenerek her iki şartnamede bir takım sonuçlar elde edilmiştir. Her iki şartnamede aynı örnek tasarımı kontrol edilerek, bu iki şartnamenin benzerlik ve farklılıkları yorumlanmaya çalışılmıştır. Bunlar şöyledir:

1. İlk olarak, EC3' te bütün yükleme durumu için tüm kesit kapasitesi ve burkulma dayanımı olmak üzere iki sınır durumu söz konusudur. Diğer yandan AISC 360-05' te ise bu iki sınır durumu entegre edilerek daha yalın hale getirilmiştir.
2. Her iki şartnamede etkileşim faktörleri kullanılmaktadır. Ancak AISC daha yalın yaklaşım ile iki eksenli eğilmeyi incelerken, EC3' te Method I (Fransız-Belçikalı) ile Method II (Alman-Avustur) olmak üzere iki farklı ve karmaşık yaklaşımlar kullanılmaktadır.
3. Burkulma dayanımı için ikinci mertebe etkiler düşünüldüğünde, EC3' te hata katsayıları ile bu durum gözönüne alınmıştır. Uygulanabilecek yöntemler ise genel yapının analizi, kısmen genel analiz ve stabilite tahkikleri ve son olarak elemanların burkulma sınır uzunluklarının hesaplanması olmaktadır. $P-\Delta$ etkileri ve eleman kusurları göz önünde bulundurulduğunda elemanların ayrı ayrı stabilite kontrolleri yapılmalıdır. AISC 360-05' te ise iç kuvvetler $P-\Delta$ ikinci mertebe etkilerin dahil olduğu durumda hesaplanmalıdır. Burada eleman veya çerçeve kusurları göz önüne alınmamıştır. İkinci mertebe analize gerek kalmadan, birinci mertebeye etkiyen momentler β katsayılarına çarpılarak ikinci mertebe etkilere dönüşüm yapılır [7].

İncelenen örnekte ise, her iki şartnamede de yakın sonuçlar elde edilmiştir. Bu sonuçlar tek bir tabloda özetlenirse:

Çizelge 8.1 : Analiz sonuçları

	Eksenel Kapasite (kN)	Kuvvetli Eksende Eğilme Kapasitesi (kNm)	Zayıf Eksende Eğilme Kapasitesi(kNm)	Gerilme Oranı
EC3-Annex A	1469.5	319	176.3	0.402
EC3-Annex B	1469.5	327.5	176.3	0.390
AISC 360-05 (LRFD)	1901	338.8	156.2	0.367
SAP2000/EC3 (Annex B)	1904	346	115	0.396
SAP2000/ AISC360-05	1878.6	338.8	156.2	0.362

KAYNAKLAR

- [1] **Eurocode 3**, 2005. Design of Steel Structures, Part 1-1: General Rules and Rules and Rules for Buildings, European Committee for Standardization, Brussels.
- [2] **Lindner, J.**, 2003. Design of Beams and Beam Columns, Progress in Structural Engineering and Materials, Berlin.
- [3] **Yong, D. J. ve Lopez A.**, 2006. A Comparative Study of AISC-LRFD and EC3 Approaches to Beam-Column Buckling Resistance, University of Navarra, Spain.
- [4] **Boissonnade N. ve Jaspart J. P.**, Improvement of The Interaction Formulae for Beam-Columns in Eurocode 3: The French-Belgian Approach, Journal of Constructional Steel Research, Oxford.
- [5] **AISC 360-05**, 2005. Specification for Structural Steel Buildings, American Institute of Steel Construction, Chicago.
- [6] **Trahair, N. S. ve Nethercot, D. A.**, 2008. The Behaviour and Design of Steel Structures, Londra ve New York.
- [7] **AISC LRFD**, 1994. Load and Resistance Factor Design, American Institute of Steel Construction, Chicago.

EKLER

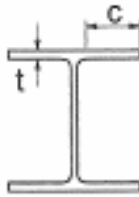
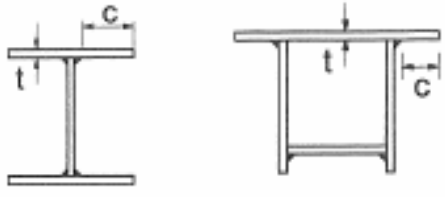
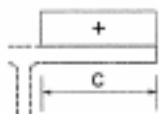
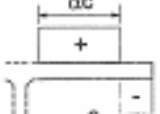
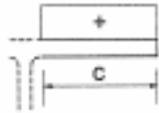
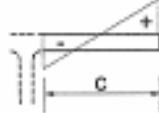
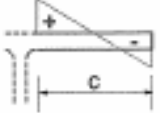
- Ek 1:** EC3' te Kesit Sınıflandırılması
- Ek 2:** EC3' te Kesitlerin Burkulma Eğrileri Seçimi
- Ek 3:** EC3' te Kesitlerin Burkulma Eğrileri
- Ek 4:** EC3' te Moment Düzeltme Faktörleri
- Ek 5:** EC3' te Ek A Etkileşim Faktörleri
- Ek 6:** EC3' te Ek A Üniform Moment Faktörleri
- Ek 7:** EC3' te Ek B Burulma Deformasyonları Tahmin Edilemeyen Kesitler İçin Etkileşim Faktörleri
- Ek 8:** EC3' te Ek B Burulma Deformasyonları Tahmin Edilebilen Kesitler İçin Etkileşim Faktörleri
- Ek 9:** EC3' te Ek B Üniform Moment Faktörleri

EK 1: EC3' te Kesit Sınıflandırılması

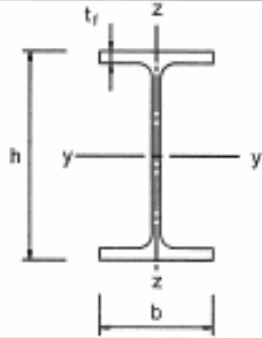
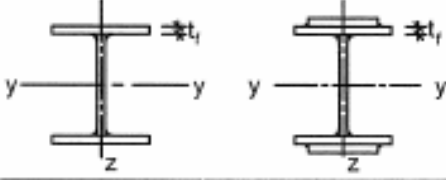
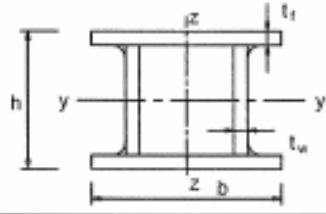
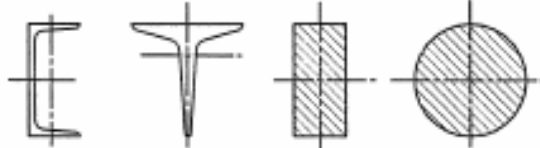
Internal compression parts						
				Axis of bending		
Class	Part subject to bending	Part subject to compression	Part subject to bending and compression			
Stress distribution in parts (compression positive)						
1	$c/t \leq 72\varepsilon$	$c/t \leq 33\varepsilon$	when $\alpha > 0,5$: $c/t \leq \frac{396\varepsilon}{13\alpha - 1}$ when $\alpha \leq 0,5$: $c/t \leq \frac{36\varepsilon}{\alpha}$			
2	$c/t \leq 83\varepsilon$	$c/t \leq 38\varepsilon$	when $\alpha > 0,5$: $c/t \leq \frac{456\varepsilon}{13\alpha - 1}$ when $\alpha \leq 0,5$: $c/t \leq \frac{41,5\varepsilon}{\alpha}$			
Stress distribution in parts (compression positive)						
3	$c/t \leq 124\varepsilon$	$c/t \leq 42\varepsilon$	when $\psi > -1$: $c/t \leq \frac{42\varepsilon}{0,67 + 0,33\psi}$ when $\psi \leq -1^*)$: $c/t \leq 62\varepsilon(1 - \psi)\sqrt{(-\psi)}$			
$\varepsilon = \sqrt{235/f_y}$	f_y	235	275	355	420	460
	ε	1,00	0,92	0,81	0,75	0,71

*) $\psi \leq -1$ applies where either the compression stress $\sigma \leq f_y$ or the tensile strain $\varepsilon_y > f_y/E$

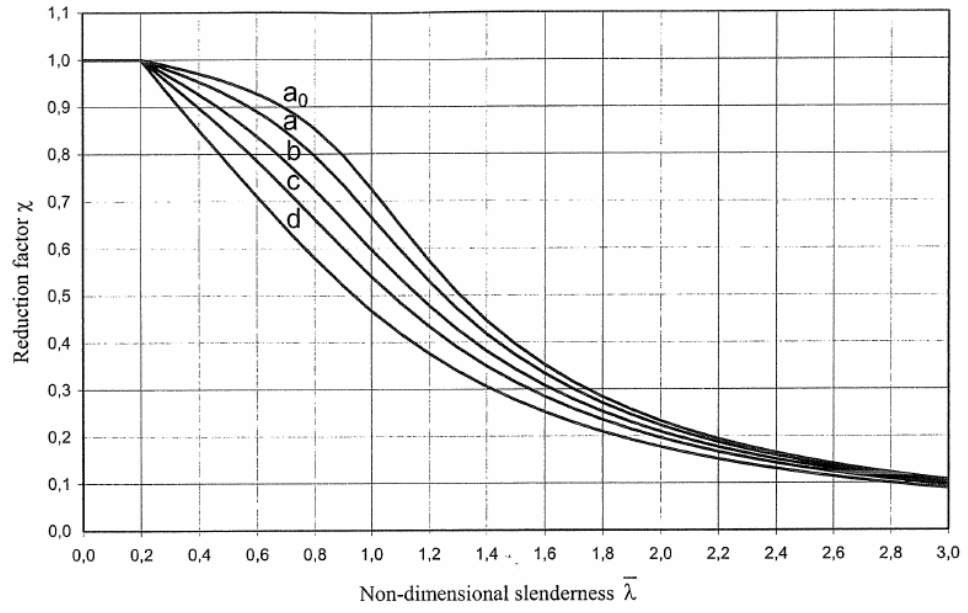
EK 1 (devam): EC3' te Kesit Sınıflandırılması

Outstand flanges						
						
Rolled sections			Welded sections			
Class	Part subject to compression	Part subject to bending and compression				
		Tip in compression		Tip in tension		
Stress distribution in parts (compression positive)						
1	$c/t \leq 9\epsilon$	$c/t \leq \frac{9\epsilon}{\alpha}$		$c/t \leq \frac{9\epsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$		
2	$c/t \leq 10\epsilon$	$c/t \leq \frac{10\epsilon}{\alpha}$		$c/t \leq \frac{10\epsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$		
Stress distribution in parts (compression positive)						
3	$c/t \leq 14\epsilon$	$c/t \leq 21\epsilon\sqrt{k_{\sigma}}$ For k_{σ} see EN 1993-1-5				
$\epsilon = \sqrt{235/f_y}$	f_y	235	275	355	420	460
	ϵ	1,00	0,92	0,81	0,75	0,71

EK 2 : EC3' te Kesitlerin Burkulma Eğrileri Seçimi

Cross section		Limits	Buckling about axis	Buckling curve	
				S 235 S 275 S 355 S 420	S 460
Rolled sections		$h/b > 1,2$	$t_f \leq 40 \text{ mm}$	y - y a z - z b	a_0 a_0
			$40 \text{ mm} < t_f \leq 100$	y - y b z - z c	a a
		$h/b \leq 1,2$	$t_f \leq 100 \text{ mm}$	y - y b z - z c	a a
			$t_f > 100 \text{ mm}$	y - y d z - z d	c c
Welded I-sections		$t_f \leq 40 \text{ mm}$	y - y z - z	b c	b c
		$t_f > 40 \text{ mm}$	y - y z - z	c d	c d
Hollow sections		hot finished	any	a	a_0
		cold formed	any	c	c
Welded box sections		generally (except as below)	any	b	b
		thick welds: $a > 0,5t_f$ $b/t_f < 30$ $h/t_w < 30$	any	c	c
U-, T- and solid sections			any	c	c
L-sections			any	b	b

EK 3 : EC3' te Kesitlerin Burkulma Eğrileri



EK 4 : EC3' te Moment Düzeltme Faktörleri

Moment distribution	k_c
 $\psi = 1$	1,0
 $-1 \leq \psi \leq 1$	$\frac{1}{1,33 - 0,33\psi}$
  	0,94 0,90 0,91
  	0,86 0,77 0,82

EK 5 : EC3' te Ek A – Etkileşim Faktörleri

Interaction factors	Design assumptions	
	elastic cross-sectional properties class 3, class 4	plastic cross-sectional properties class 1, class 2
k_{yy}	$C_{my} C_{mLT} \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}}$	$C_{my} C_{mLT} \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} \frac{1}{C_{yy}}$
k_{yz}	$C_{mz} \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}}$	$C_{mz} \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} \frac{1}{C_{yz}} 0,6 \sqrt{\frac{w_z}{w_y}}$
k_{zy}	$C_{my} C_{mLT} \frac{\mu_z}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}}$	$C_{my} C_{mLT} \frac{\mu_z}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} \frac{1}{C_{zy}} 0,6 \sqrt{\frac{w_y}{w_z}}$
k_{zz}	$C_{mz} \frac{\mu_z}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}}$	$C_{mz} \frac{\mu_z}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} \frac{1}{C_{zz}}$
Auxiliary terms:		
$\mu_y = \frac{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}}{1 - \chi_y \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}}$ $\mu_z = \frac{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}}{1 - \chi_z \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}}$ $w_y = \frac{W_{pl,y}}{W_{el,y}} \leq 1,5$ $w_z = \frac{W_{pl,z}}{W_{el,z}} \leq 1,5$ $n_{pl} = \frac{N_{Ed}}{N_{Rk} / \gamma_{M1}}$ C_{my} see Table A.2 $a_{LT} = 1 - \frac{I_T}{I_y} \geq 0$	$C_{yy} = 1 + (w_y - 1) \left[\left(2 - \frac{1,6}{w_y} C_{my}^2 \bar{\lambda}_{max} - \frac{1,6}{w_y} C_{my}^2 \bar{\lambda}_{max}^2 \right) n_{pl} - b_{LT} \right] \geq \frac{W_{el,y}}{W_{pl,y}}$ with $b_{LT} = 0,5 a_{LT} \frac{\bar{\lambda}_0^2}{\chi_{LT} M_{pl,y,Rd}} \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,z,Rd}}$ $C_{yz} = 1 + (w_z - 1) \left[\left(2 - 14 \frac{C_{mz}^2 \bar{\lambda}_{max}^2}{w_z^5} \right) n_{pl} - c_{LT} \right] \geq 0,6 \sqrt{\frac{w_z}{w_y}} \frac{W_{el,z}}{W_{pl,z}}$ with $c_{LT} = 10 a_{LT} \frac{\bar{\lambda}_0^2}{5 + \bar{\lambda}_z^4} \frac{M_{y,Ed}}{C_{my} \chi_{LT} M_{pl,y,Rd}}$ $C_{zy} = 1 + (w_y - 1) \left[\left(2 - 14 \frac{C_{my}^2 \bar{\lambda}_{max}^2}{w_y^5} \right) n_{pl} - d_{LT} \right] \geq 0,6 \sqrt{\frac{w_y}{w_z}} \frac{W_{el,y}}{W_{pl,y}}$ with $d_{LT} = 2 a_{LT} \frac{\bar{\lambda}_0}{0,1 + \bar{\lambda}_z^4} \frac{M_{y,Ed}}{C_{my} \chi_{LT} M_{pl,y,Rd}} \frac{M_{z,Ed}}{C_{mz} M_{pl,z,Rd}}$ $C_{zz} = 1 + (w_z - 1) \left[\left(2 - \frac{1,6}{w_z} C_{mz}^2 \bar{\lambda}_{max} - \frac{1,6}{w_z} C_{mz}^2 \bar{\lambda}_{max}^2 \right) n_{pl} - e_{LT} \right] \geq \frac{W_{el,z}}{W_{pl,z}}$ with $e_{LT} = 1,7 a_{LT} \frac{\bar{\lambda}_0}{0,1 + \bar{\lambda}_z^4} \frac{M_{y,Ed}}{C_{my} \chi_{LT} M_{pl,y,Rd}}$	

EK 5 (Devam) : EC3' te Ek A – Etkileşim Faktörleri

$$\bar{\lambda}_{\max} = \max \left\{ \bar{\lambda}_y, \bar{\lambda}_z \right\}$$

$\bar{\lambda}_\phi$ = non-dimensional slenderness for lateral-torsional buckling due to uniform bending moment, i.e. $\psi_y = 1,0$ in Table A.2

$\bar{\lambda}_{LT}$ = non-dimensional slenderness for lateral-torsional buckling

If $\bar{\lambda}_\phi \leq 0,2\sqrt{C_1} \sqrt{\left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}\right)\left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,T}}\right)}$:

$$C_{my} = C_{my,0}$$

$$C_{mz} = C_{mz,0}$$

$$C_{mLT} = 1,0$$

If $\bar{\lambda}_\phi > 0,2\sqrt{C_1} \sqrt{\left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}\right)\left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,T}}\right)}$:

$$C_{my} = C_{my,0} + (1 - C_{my,0}) \frac{\sqrt{\varepsilon_y} a_{LT}}{1 + \sqrt{\varepsilon_y} a_{LT}}$$

$$C_{mz} = C_{mz,0}$$

$$C_{mLT} = C_{my}^2 \frac{a_{LT}}{\sqrt{\left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}\right)\left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,T}}\right)}} \geq 1$$

$\varepsilon_y = \frac{M_{y,Ed}}{N_{Ed}} \frac{A}{W_{pl,y}}$ for class 1, 2 and 3 cross-sections

$\varepsilon_y = \frac{M_{y,Ed}}{N_{Ed}} \frac{A_{eff}}{W_{eff,y}}$ for class 4 cross-sections

$N_{cr,y}$ = elastic flexural buckling force about the y-y axis

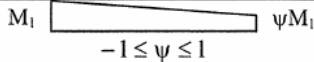
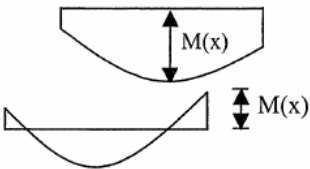
$N_{cr,z}$ = elastic flexural buckling force about the z-z axis

$N_{cr,T}$ = elastic torsional buckling force

I_T = St. Venant torsional constant

I_y = second moment of area about y-y axis

EK 6 : EC3' te Ek A – Üniorm Moment Faktörleri

Moment diagram	$C_{mi,0}$
 M_1 ψM_1 $-1 \leq \psi \leq 1$	$C_{mi,0} = 0,79 + 0,21\psi_i + 0,36(\psi_i - 0,33) \frac{N_{Ed}}{N_{cr,i}}$
 $M(x)$ $M(x)$	$C_{mi,0} = 1 + \left(\frac{\pi^2 EI_i \delta_x }{L^2 M_{i,Ed}(x) } - 1 \right) \frac{N_{Ed}}{N_{cr,i}}$ $M_{i,Ed}(x)$ is the maximum moment $M_{y,Ed}$ or $M_{z,Ed}$ δ_x is the maximum member displacement along the member
	$C_{mi,0} = 1 - 0,18 \frac{N_{Ed}}{N_{cr,i}}$
	$C_{mi,0} = 1 + 0,03 \frac{N_{Ed}}{N_{cr,i}}$

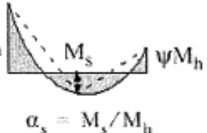
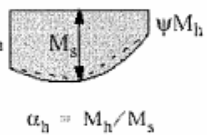
EK 7 : EC3' te Ek B – Burulma Deformasyonları Tahmin Edilemeyen Kesitler İçin Etkileşim Faktörleri

Interaction factors	Type of sections	Design assumptions	
		elastic cross-sectional properties class 3, class 4	plastic cross-sectional properties class 1, class 2
k_{yy}	I-sections RHS-sections	$C_{my} \left(1 + 0,6 \bar{\lambda}_y \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$ $\leq C_{my} \left(1 + 0,6 \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$	$C_{my} \left(1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$ $\leq C_{my} \left(1 + 0,8 \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$
k_{yz}	I-sections RHS-sections	k_{zz}	$0,6 k_{zz}$
k_{zy}	I-sections RHS-sections	$0,8 k_{yy}$	$0,6 k_{yy}$
k_{zz}	I-sections	$C_{mz} \left(1 + 0,6 \bar{\lambda}_z \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$ $\leq C_{mz} \left(1 + 0,6 \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$	$C_{mz} \left(1 + (2\bar{\lambda}_z - 0,6) \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$ $\leq C_{mz} \left(1 + 1,4 \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$
	RHS-sections		$C_{mz} \left(1 + (\bar{\lambda}_z - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$ $\leq C_{mz} \left(1 + 0,8 \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$
For I- and H-sections and rectangular hollow sections under axial compression and uniaxial bending $M_{y,Ed}$ the coefficient k_{zy} may be $k_{zy} = 0$.			

EK 8 : EC3' te Ek B – Burulma Deformasyonları Tahmin Edilebilen Kesitler İçin Etkileşim Faktörleri

Interaction factors	Design assumptions	
	elastic cross-sectional properties class 3, class 4	plastic cross-sectional properties class 1, class 2
k_{yy}	k_{yy} from Table B.1	k_{yy} from Table B.1
k_{yz}	k_{yz} from Table B.1	k_{yz} from Table B.1
k_{zy}	$\left[1 - \frac{0,05 \bar{\lambda}_z}{(C_{mLT} - 0,25)} \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right]$ $\geq \left[1 - \frac{0,05}{(C_{mLT} - 0,25)} \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right]$	$\left[1 - \frac{0,1 \bar{\lambda}_z}{(C_{mLT} - 0,25)} \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right]$ $\geq \left[1 - \frac{0,1}{(C_{mLT} - 0,25)} \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right]$ for $\bar{\lambda}_z < 0,4$: $k_{zy} = 0,6 + \bar{\lambda}_z \leq 1 - \frac{0,1 \bar{\lambda}_z}{(C_{mLT} - 0,25)} \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}}$

EK 9 : EC3' te Ek B – Üniorm Moment Faktörleri

Moment diagram	range	C_{my} and C_{mz} and C_{mLT}		
		uniform loading	concentrated load	
	$-1 \leq \psi \leq 1$	$0,6 + 0,4\psi \geq 0,4$		
 $\alpha_s = M_s/M_h$	$0 \leq \alpha_s \leq 1$	$-1 \leq \psi \leq 1$	$0,2 + 0,8\alpha_s \geq 0,4$	$0,2 + 0,8\alpha_s \geq 0,4$
	$-1 \leq \alpha_s < 0$	$0 \leq \psi \leq 1$	$0,1 - 0,8\alpha_s \geq 0,4$	$-0,8\alpha_s \geq 0,4$
		$-1 \leq \psi < 0$	$0,1(1-\psi) - 0,8\alpha_s \geq 0,4$	$0,2(-\psi) - 0,8\alpha_s \geq 0,4$
 $\alpha_h = M_h/M_s$	$0 \leq \alpha_h \leq 1$	$-1 \leq \psi \leq 1$	$0,95 + 0,05\alpha_h$	$0,90 + 0,10\alpha_h$
	$-1 \leq \alpha_h < 0$	$0 \leq \psi \leq 1$	$0,95 + 0,05\alpha_h$	$0,90 + 0,10\alpha_h$
		$-1 \leq \psi < 0$	$0,95 + 0,05\alpha_h(1+2\psi)$	$0,90 - 0,10\alpha_h(1+2\psi)$
For members with sway buckling mode the equivalent uniform moment factor should be taken $C_{my} = 0,9$ or $C_{mz} = 0,9$ respectively.				
C_{my} , C_{mz} and C_{mLT} should be obtained according to the bending moment diagram between the relevant braced points as follows:				
moment factor	bending axis	points braced in direction		
C_{my}	y-y	z-z		
C_{mz}	z-z	y-y		
C_{mLT}	y-y	y-y		

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyadı : Cihan Çelik

D. Yeri ve Tarihi : Kocaeli, 15 Mayıs 1985

Lisans Üniversite : Yıldız Teknik Üniversitesi, 2008