

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ELİK ÇERÇEVELERİN EUROCODE 3'E GÖRE
BOYUTLANDIRILMASINDA KULLANILAN
PLASTİK HESAP YÖNTEMLERİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Macit YURTSEVER**

**Anabilim Dalı: İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
Programı: YAPI MÜHENDİSLİĞİ**

MAYIS 2005

**ÇELİK ÇERÇEVELERİN EUROCODE 3'E GÖRE
BOYUTLANDIRILMASINDA KULLANILAN
PLASTİK HESAP YÖNTEMLERİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Macit YURTSEVER
(501031027)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 09 Mayıs 2005

Tezin Savunulduğu Tarih: 30 Mayıs 2005

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Alpay ÖZGEN (İ.T.Ü.)

Diğer Jüri Üyeleri: Prof. Dr. Gülay ALTAY (B.Ü.)

Doç. Dr. Güliz BAYRAMOĞLU (İ.T.Ü.)

MAYIS 2005

ÖNSÖZ

Bana kurumlarında yüksek lisans eğitimi alma, dolayısıyla mühendislik bilgilerimi geliştirme olanağı sağlayan İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'ne;

Üniversitedeki eğitimim boyunca değerli bilgilerinden istifade ettiğim, bana karşı sabırlı ve ilgili olan, tez çalışmam sırasında yeni hesap teknikleri öğrenmeme vesile olan tez danışmanım Prof. Dr. Alpay ÖZGEN ve değerli hocam Doç. Dr. Güliz BAYRAMOĞLU'na;

Lisans ve yüksek lisans öğrenimim süresince gerek ders içi, gerek ders dışı etkinliklerle, bu tez çalışmasıyla sonuçlanacak bilgi birikimini kazanmama ve kişiliğimin gelişmesine katkıda bulunmuş tüm İnşaat Mühendisliği Bölümü öğretim görevlilerine;

Yüksek lisans öğrenimim sırasında sağladığı burs imkanı ile beni maddi açıdan rahatlatan TÜBİTAK Bilim Adamı Yetiştirme Grubu'na;

Tez çalışmam için elindeki kaynaklardan istifade etmeme izin veren ve konuyla ilgili bilgilerini ve fikirlerini benimle paylaşan Araş. Gör. Cüneyt VATANSEVER ve Araş. Gör. Kutlu DARILMAZ'a;

Yine tez çalışmama katkı yapabilecek kaynaklar bulmamda yardımcı olan ve konuyla ilgili çeşitli hususları tartışmak için bana vakit ayıran değerli arkadaşlarım İnş. Müh. Orhan EKER ve İnş. Müh. Erdem DEMİRKIRAN'a teşekkürü bir borç bilirim.

Son olarak; hayatım boyunca bana ihtiyaç duyabileceğim her türlü desteği veren, sabırlarını, umutlarını ve bana olan güvenlerini asla kaybetmeyen, gerektiğinde büyük özverilerde bulunan, örnek alınacak bir ebeveynlik sergileyen sevgili anneme ve babama minnettarım.

Mayıs 2005

İnş. Müh. Macit YURTSEVER

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	vi
TABLO LİSTESİ	vii
ŞEKİL LİSTESİ	viii
SEMBOL LİSTESİ	xiii
ÖZET	xx
SUMMARY	xxi
1. GİRİŞ VE PROBLEMİN SUNUMU	1
2. ÇELİK ÇERÇEVELERİN EUROCODE 3'E GÖRE ELASTİK/PLASTİK HESAP YÖNTEMLERİ KULLANILARAK BOYUTLANDIRILMASI	4
2.1. Enkesitlerin Sınıflandırılması	6
2.2. Yapılarda Kusurlar	7
2.3. Kullanılabilecek Analiz Yöntemleri	9
2.4. Yanal Deplasman Yapan/Yapmayan Çerçeveler	10
2.4.1. Yanal Deplasmanı Önlenmemiş Çerçevelerin Elastik Analizi	11
2.4.2. Yanal Deplasmanı Önlenmemiş Çerçevelerin Plastik Analizi	11
2.4.3. Plastik Analiz İçin Kolon Gereksinimleri	12
2.5. Stabilite Çaprazlı/Çaprazsız Çerçeveler	13
2.6. Çerçeve Birleşimleri	14
2.6.1. Bulonlu Birleşimler	14
2.6.2. Kaynaklı Birleşimler	17
2.7. Çekme Çubukları	19
2.8. Basınç Çubukları	20
2.8.1. Tek Parçalı Basınç Çubukları	20
2.8.2. Çok Parçalı basınç Çubukları	24
2.9. Kirişler	28
2.10. Normal Kuvvet ve Eğilmeye Maruz Elemanlar	32
3. ÇELİK ÇERÇEVELERİN PLASTİK HESABI İÇİN BİR YÖNTEM	36
3.1. Global Düktilite ile İlgili Tanımlar	36
3.2. Monoton Yükleme Altındaki Yapıda Cevap Parametreleri	39
3.3. Global Düktiliteyi Etkileyen Parametreler	41
3.4. Göçme Mekanizmasının Stabilite Katsayısına Etkisi	44
3.5. Global Düktilitenin Hesaplanması	50

3.5.1. Statik İnelastik Analizle	50
3.5.2. Mekanizma Eğrisi Yöntemiyle	50
3.5.3. Yaklaşık Formüllerle	51
3.6. Göçme Modunun Kontrolü	51
3.7. Dönme Kapasitesi ve Maksimum Ötelenmenin Hesaplanması	53
3.7.1. Teorik yöntemler	53
3.7.1.1. Kritik Gerilmenin Hesabı	57
3.7.2. Yarı – Ampirik Yöntemler	58
3.7.2.1. Kato Metodu	58
3.7.2.2. Mazzolani – Piluso Metodu	59
4. PUSHOVER ANALİZİ	60
4.1. Mafsal Özelliklerinin Tanımlanması	60
4.2. Analiz Özelliklerinin Tanımlanması	66
4.3. Pushover Eğrisi	72
5. UYGULAMALAR	77
5.1. Kısmi Güvenlik Katsayıları Yöntemine İlişkin Bir Uygulama	77
5.1.1. Statik Sistem	77
5.1.2. Yük Analizi	79
5.1.2.1. Çerçeve Sabit Yükleri	79
5.1.2.2. Çerçeve Hareketli Yükleri	79
5.1.2.3. Kar Yüğü	79
5.1.2.4. Rüzgar Yüğü	79
5.1.2.5. Deprem Yüğü	80
5.1.3. Analizde Kullanılacak Yükleme Durumları	80
5.1.3.1. Rüzgar Yüklemesi	80
5.1.3.2. Kar Yüklemesi	80
5.1.3.3. Sabit Yükleme	81
5.1.3.4. Hareketli Yükleme	81
5.1.3.5. Çerçeve Kusurları	81
5.1.3.6. Deprem Yüklemesi	83
5.1.3.7. %5 Ekzantrisite Etkisinin Hesabı	83
5.1.4. Analiz Sonuçları	84
5.1.4.1. Enkesit Sınıfının Kontrolü	85
5.1.4.2. Deprem Yönetmeliğı Ötelenme Şartları	86
5.1.5. Döşeme Kirişlerinin Boyutlandırılması	87
5.1.6. Kolon – Kiriş Birleşimi	91
5.1.7. Kolon Eki Montajı	92
5.1.8. Kolon Ayağı Montajı	93

5.2. Mazzolani & Piluso'nun Plastik Hesap Yöntemine İlişkin Bir Uygulama	95
5.2.1. Katlara Etkiyen Deprem Kuvvetleri	95
5.2.2. Katlara Etkiyen Düşey Çerçeve Kuvvetleri	95
5.2.3. Çerçeveadaki Kirişlerin Moment Dayanımları	95
5.2.4. Çerçeveadaki Kolonların (İndirgenmemiş) Dayanımları	95
5.2.5. Mekanizma Durumları	96
5.2.6. Global Mekanizmada Yatay Ötelenmenin Hesabı	106
5.2.7. Son Kontroller	107
5.2.8. Teknolojik Koşullar	107
5.2.9. Alternatif Bir Kontrol Metodu	109
5.2.10. Global Moda Ait Mekanizma Eğrisinin Çıkartılması	111
5.3. Pushover Analizine İlişkin Bir Uygulama	112
5.3.1. Mafsal Özelliklerinin Tanımlanması	112
5.3.2. Analiz Özelliklerinin Tanımlanması	118
5.3.2.1. Mafsalları Kato Metoduna Göre Tanımlanan Çerçeve İçin	118
5.3.2.2. Mafsalları Mazzolani – Piluso Metoduna Göre Tanımlanan Çerçeve İçin	121
5.3.3. Pushover Eğrileri ve Kapasite Spektrumları	123
5.3.4. Mazzolani–Piluso Yönteminin Sonuçlarıyla Kıyaslama	127
6. SONUÇLAR	129
6.1. Eurocode 3'e İlişkin Yorumlar	130
6.2. Mazzolani ve Piluso'nun Plastik Hesap Yöntemine İlişkin Yorumlar	131
6.3. Pushover Analizine İlişkin Yorumlar	132
KAYNAKLAR	133
EKLER	134
ÖZGEÇMİŞ	191

KISALTMALAR

ADRS	: Acceleration – Displacement Response Spectrum
AISC	: American Institute of Steel Construction
ATC	: Applied Technology Council
CSI	: Computers and Structures Incorporated
EC3	: Eurocode 3
FEMA	: Federal Emergency Management Agency
GV	: Gleichfeste – Vorgespannte verbindung
GVP	: Gleichfeste – Vorgespannte verbindung paß schrauben
LRFD	: Load and Resistance Factor Design
SAP	: Structural Analysis Program
SL	: Scher – Lochleibungs verbindung
SLP	: Scher – Lochleibungs verbindung paß schrauben
TS	: Türk Standartları

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1. Eurocode 3'te yükler ve malzeme dayanımları için verilen kısmi güvenlik katsayıları	
(a) Etkiler (dış yükler) için	5
(b) Mukavemet (dayanım) değerleri için	6
Tablo 2.2. Yaygın kaynak dikişi çeşitleri	17
Tablo 2.3. Çeşitli kesit tipleri için burkulma gerilmesi eğrilerinin tespiti	22
Tablo 2.4. Çeşitli örgü sistemlerinde başlık çubuğunun burkulma boyunun tespiti	26
Tablo 2.5. Çeşitli örgü sistemlerinde örgü çubuklarının kayma rijitliğinin hesabı	27
Tablo 2.6. Taşıyıcı kirişler için tavsiye edilen sehim sınırları	31
Tablo 2.7. Çeşitli enkesit tipleri için eksenel kuvvet ve kesme kuvvetiyle etkileşim sonucunda plastik moment dayanımlarının indirgenmesinde yararlanılan formüller	35
Tablo 4.1. Zemin cinsi ve deprem bölgesine bağlı olarak değişen C_a ve C_v değerleri	74
Tablo A.1. Eurocode 3'te enkesit sınıfının tespitinde kullanılan tablolar	
(a) Gövde levhası kısımları (eğilme eksenine dik kısımlar)	136
(b) Başlık kısımları (eğilme eksenine paralel iç kısımlar)	137
(c) Başlık kısımları (gövde hizasından tasan dış kısımlar)	138
(d) Korniyerler	139
(e) Boru enkesitler	139

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1: Enkesit sınıflarının moment – dönme eğrileri	6
Şekil 2.2: Başlangıç dönme kusurlarının eşdeğer yatay kuvvetlere çevrilmesi	8
Şekil 2.3: Çerçeveler için eşdeğer yatay kuvvetler	8
Şekil 2.4: Çerçeve çaprazları için eşdeğer stabilite kuvveti	8
Şekil 2.5: Rijit-plastik analiz için öngörülen mekanizma	12
Şekil 2.6: Kaynak dikişinde bileşke gerilmenin hesaplanması	18
Şekil 2.7: Korniyerlerin bulonlu birleşim düzenleri	20
Şekil 2.8: Basınç çubukları için kullanılan burkulma gerilmesi eğrileri	21
Şekil 2.9: Yanal ötelenme yapan ve yapmayan çerçevelere ait görsel örnekler	23
Şekil 2.10: Sürekli kolonlar için dağıtma faktörleri	24
Şekil 2.11: Kiriş gövdesinde makaslama kopması kontrolü	30
Şekil 2.12: Kirişlerde sehim kontrolü için göz önüne alınacak deplasmanlar	31
Şekil 2.13: C_1 katsayısının tespiti	34
Şekil 3.1: Akmanın ilk meydana geldiği andaki tepe yatay deplasmanı	37
Şekil 3.2: Göçme yüküne eşit bir yük altındaki elastik deplasman	37
Şekil 3.3: Enerji yutma kapasitelerinin eşitliği baz alınarak α - δ eğrisi üzerinde bilineer yaklaşımla elde edilecek bir akma deplasmanı	37
Şekil 3.4: Yük taşıma kapasitesindeki azalmanın belli bir yüzdeye ulaştığı andaki deplasman	38
Şekil 3.5: Kritik plastik mafsaldaki dönme kapasitesine ulaşıldığı andaki veya önceden belirlenmiş bir yerel hasara tekabül eden dönme kapasitesi sınır değerine ulaşıldığı andaki deplasman ...	38
Şekil 3.6: Grinter çerçevesi	42

Şekil 3.7: Yapılarda gözlemlenebilecek göçme mekanizması türleri	45
Şekil 3.8: Yatay ve düşey virtüel yer değiştirmeler	46
Şekil 3.9: Mekanizma eğrisi	50
Şekil 3.10: Bir gerçek kesitin iki başlıklı ideal kesite dönüştürülmesi	54
Şekil 3.11: Kato Metoduna ait sonuçların deney verileriyle kıyaslanması	59
Şekil 3.12: Mazzolani – Piluso Metoduna ait sonuçların deney verileriyle kıyaslanması	59
Şekil 4.1: Çeşitli birleşim tipleri için moment – dönme eğrileri	61
Şekil 4.2: Mafsal tanımında kullanılan basitleştirilmiş yük – deformasyon eğrisi	62
Şekil 4.3: SAP 2000’de yeni bir plastik mafsal tanımlanırken karşılaşılan pencere	63
Şekil 4.4: Mafsal özelliklerinin girildiği veri penceresi örneği	64
Şekil 4.5: Bir eksenel kuvvet mafsalında kullanılabilecek yük – deformasyon eğrisi	65
Şekil 4.6: Moment ve eksenel kuvvet arasındaki etkileşimin tanımlandığı pencereler	65
Şekil 4.7: PMM tipi mafsal için esas alınan moment – eksenel kuvvet etkileşim eğrisi	66
Şekil 4.8: Yeni bir pushover analizi için girilmesi gereken veriler	67
Şekil 4.9: Save Positive Increments Only seçeneğini açıklayan örnek pushover eğrisi	68
Şekil 4.10: Pushover analizinde kullanılan yükleme deplasman toleransları	69
Şekil 4.11: Restart Using Secant Stiffness metodu ile sırasıyla i’ninci ve i+1’inci hesap adımlarında herhangi bir mafsalda kullanılan moment – dönme eğrileri	71
Şekil 4.12: Analiz sonunda elde edilen bir pushover eğrisi örneği	73
Şekil 4.13: Sismik talep spektrumlarının elde edilişi	74
Şekil 4.14: İndirgenmiş sismik talep spektrumunun elde edilişi	75
Şekil 4.15: β_0 ve κ katsayıları arasındaki bağıntı	76
Şekil 5.1.1: Uygulamada kullanılan statik sistem	77
Şekil 5.1.2: Uygulamada kullanılan sistemin dispozisyon planı	78

Şekil 5.1.3: Çerçevenin teşkilinde tercih edilen enkesitler	82
Şekil 5.1.4: Döşeme kirişlerinin kat kirişlerine birleşimi	87
Şekil 5.1.5: Planlanan çerçeve birleştirme programı	91
Şekil 5.1.6: Tahmini kolon – kiriş birleşimi	92
Şekil 5.1.7: Tahmini kolon eki montajı	93
Şekil 5.1.8: Tahmini kolon ayağı montajı	94
Şekil 5.2.1: Global moda ait mekanizma eğrisi	112
Şekil 5.3.1: Örnek olarak açıklığı 5 m olan HE 220 A profili için sırasıyla Kato Metoduna göre ve Mazzolani – Piluso Metoduna göre girilmesi gereken mafsallık özelliklerini gösteren pencereler	118
Şekil 5.3.2: Örnek olarak HE 500 B için girilmesi gereken etkileşim verileri	118
Şekil 5.3.3: Örnek olarak PUSH2 pushover yüklemesi için belirlenen analiz özellikleri	119
Şekil 5.3.4: <i>Unload Entire Structure</i> seçeneği işaretli iken PUSH2 analizinin sonuç mekanizması	120
Şekil 5.3.5: <i>Apply Local Redistribution</i> seçeneği işaretli iken PUSH2 analizinin sonuç mekanizması	120
Şekil 5.3.6: <i>Restart Using Secant Stiffness</i> seçeneği işaretli iken PUSH2 analizinin sonuç mekanizması	121
Şekil 5.3.7: <i>Unload Entire Structure</i> seçeneği işaretli iken PUSH2 analizinin sonuç mekanizması	123
Şekil 5.3.8: <i>Apply Local Redistribution</i> seçeneği işaretli iken PUSH2 analizinin sonuç mekanizması	123
Şekil 5.3.9: <i>Restart Using Secant Stiffness</i> seçeneği işaretli iken PUSH2 analizinin sonuç mekanizması	124
Şekil 5.3.10: <i>Unload Entire Structure</i> seçeneği işaretli iken Kato Metodu için PUSH2 analizine ait yük – deplasman eğrisi	124
Şekil 5.3.11: <i>Apply Local Redistribution</i> seçeneği işaretli iken Kato Metodu için PUSH2 analizine ait yük – deplasman eğrisi	125

Şekil 5.3.12: <i>Restart Using Secant Stiffness</i> seçeneği işaretli iken Kato	
Metodu için PUSH2 analizine ait yük – deplasman eğrisi	125
Şekil 5.3.13: <i>Unload Entire Structure</i> seçeneği işaretli iken	
Mazzolani – Piluso Metodu için PUSH2 analizine ait	
yük – deplasman eğrisi	125
Şekil 5.3.14: <i>Apply Local Redistribution</i> seçeneği işaretli iken	
Mazzolani – Piluso Metodu için PUSH2 analizine ait	
yük – deplasman eğrisi	126
Şekil 5.3.15: <i>Restart Using Secant Stiffness</i> seçeneği işaretli iken	
Mazzolani – Piluso Metodu için PUSH2 analizine ait	
yük – deplasman eğrisi	126
Şekil 5.3.16: Örnek olarak <i>Apply Local Redistribution</i> seçeneği işaretli	
iken Mazzolani – Piluso Metodu için PUSH2 analizine ait	
kapasite spektrumunun sismik talep spektrumlarıyla	
karşılaştırılması	127
Şekil 5.3.17: Mafsal özelliklerinin ideal elasto-plastik şekle	
dönüştürülmesi	129
Şekil 5.3.18: İdeal elasto-plastik mafsal özellikleriyle elde edilen	
yük – deplasman eğrisi	129
Şekil A.1: Uygulama Çerçevesine Etkiyen Rüzgar Yükleri	140
Şekil A.2: Uygulama Çerçevesine Etkiyen Kar Yükleri	141
Şekil A.3: Uygulama Çerçevesine Etkiyen Sabit Yükler	142
Şekil A.4: Uygulama Çerçevesine Etkiyen Hareketli Yükler	143
Şekil A.5: Uygulama Çerçevesine Etkiyen Deprem Yükleri	144
Şekil A.6: Global Mekanizma ile Göçme Halinde Kolonların	
İndirgenmiş Moment Dayanımlarının Hesaplanması İçin	
Hazırlanan “PLASTIK” Yükleme Durumu	145
Şekil A.7: 1. Tip 2. Kat Mekanizması ile Göçme Halinde Kolonların	
İndirgenmiş Moment Dayanımlarının Hesaplanması İçin	
Hazırlanan “PLAST12” Yükleme Durumu	146
Şekil A.8: 1. Tip 3. Kat Mekanizması ile Göçme Halinde Kolonların	
İndirgenmiş Moment Dayanımlarının Hesaplanması İçin	
Hazırlanan “PLAST13” Yükleme Durumu	147

Şekil A.9: 1. Tip 4. Kat Mekanizması ile Göçme Halinde Kolonların İndirgenmiş Moment Dayanımlarının Hesaplanması İçin Hazırlanan “PLAST14” Yükleme Durumu	148
Şekil A.10: 1. Tip 5. Kat Mekanizması ile Göçme Halinde Kolonların İndirgenmiş Moment Dayanımlarının Hesaplanması İçin Hazırlanan “PLAST15” Yükleme Durumu	149
Şekil A.11: 2. Tip 2. Kat Mekanizması ile Göçme Halinde Kolonların İndirgenmiş Moment Dayanımlarının Hesaplanması İçin Hazırlanan “PLAST52” Yükleme Durumu	150
Şekil A.12: 2. Tip 3. Kat Mekanizması ile Göçme Halinde Kolonların İndirgenmiş Moment Dayanımlarının Hesaplanması İçin Hazırlanan “PLAST53” Yükleme Durumu	151
Şekil A.13: 2. Tip 4. Kat Mekanizması ile Göçme Halinde Kolonların İndirgenmiş Moment Dayanımlarının Hesaplanması İçin Hazırlanan “PLAST54” Yükleme Durumu	152
Şekil A.14: 2. Tip 5. Kat Mekanizması ile Göçme Halinde Kolonların İndirgenmiş Moment Dayanımlarının Hesaplanması İçin Hazırlanan “PLAST55” Yükleme Durumu	153
Şekil A.15: Pushover Analizi İçin Çerçeve Düğüm Noktalarına Etkitilen Kütleler	154

SEMBOL LİSTESİ

A	: Enkesit alanı
A_d	: Çok parçalı basınç çubuklarında diyagonal örgü çubuklarının enkesit alanı
A_{eff}	: Etkili enkesit alanı
A_f	: Çok parçalı basınç çubuklarında bir başlık çubuğunun enkesit alanı
A_f	: Çekme bölgesinin brüt enkesit alanı
A_{f,net}	: Çekme bölgesinin net enkesit alanı
A_{net}	: Net (delikler veya küt kaynak için oyuklar mevcut) enkesit alanı
A_s	: Bulonların dişli kısmındaki kesit alanı
A_v	: Çok parçalı basınç çubuklarında yatay örgü çubuklarının enkesit alanı
A_v	: Enkesit makaslama (kesme kuvveti) alanı
A_{v,eff}	: Enkesit etkili makaslama alanı
A_{v,net}	: Enkesit net makaslama alanı
A_w	: Enkesitin gövde alanı
a	: Kaynaklı birleşimlerde kaynak kalınlığı
B_{p,Rd}	: Bulon başının veya somunun zımbalama dayanımı
b, b_f	: Enkesitin başlık genişliği
C_a	: İvme kontrollü sismik katsayı
C_v	: Hız kontrollü sismik katsayı
C₁	: Bulon gövdesinde makaslama dayanımına bulon mukavemetinin etkisini göz önüne alan katsayı
C₁	: Kiriş uçları sınır şartlarına ve yanal doğrultuda tutulu noktalar arasındaki moment oranına bağlı bir katsayı
c	: Enkesit başlığının gövde hizasından taşan kısmı
d	: Bulon veya perçin çapı
d	: Enkesitin temiz gövde yüksekliği
d	: Boru enkesitlerde kesit çapı
d	: Çok parçalı basınç çubuklarında örgü çubuğunun (diyagonalin) boyu
du	: İlgili göçme mekanizmasına ait virtüel yatay yer değiştirmelerin vektörü
dv	: İlgili göçme mekanizmasına ait virtüel düşey yer değiştirmelerin vektörü
d_m	: Somun ve bulon başının anahtar açıklığı ve köşegen boyutunun ortalaması
d_o	: Delik çapı
d_w	: Enkesitin gövde yüksekliği
d_{we}	: Enkesitin etkili gövde yüksekliği
dθ	: İlgili göçme mekanizmasına ait plastik mafsallardaki virtüel dönmelerin vektörü
E	: Elastisite modülü
E_h	: Pekleşme anındaki elastisite modülü
E_r	: İndirgenmiş elastisite modülü
e_o	: Başlangıç eğriliği

e_1	: Çekme çubuklarında kuvvet doğrultusundaki en uç bulonların levha kenarına uzaklığı
e_2	: Çekme çubuklarında kuvvet doğrultusuna dik yöndeki en uç bulonların levha kenarına uzaklığı
F	: Kuvvet
$F_{b,Rd}$	: Çekme çubuklarında delik cidarında ezilme dayanımı
F_{sd}	: Boyutlandırma (tasarım) kuvveti
$F_{s,Rd}$	: Kayma dayanımlı birleşimlerde bulonun kayma dayanımı
$F_{t,Rd}$	: Bulonlar için eksenel çekme dayanımı
$F_{t,sd}$	: Bulonlara etkiyen tasarım çekme kuvveti
$F_{v,Rd}$	: Bulon gövdesinde makaslama dayanımı
$F_{v,sd}$	: Bulonlara etkiyen tasarım makaslama kuvveti
$F_{w,Rd}$	: Köşe kaynakların dayanım kuvveti
F_y	: Akma kesme mukavemeti
F_y	: Enkesitte akmaya sebep olan kuvvet miktarı
F_1	: Referans alınacak dış yükleme
f_y	: Çelik malzeme için akma gerilmesi
f_{ya}	: Ortalama akma gerilmesi
f_{yb}	: Çekme akma gerilmesi
f_u	: Çelik malzeme için çekme mukavemeti
f_{ub}	: Birleşim aracının çekme dayanımı
G_h	: Pekleşme anındaki tanjant modülü
$G_{k,j}$	: Sabit etkilerin karakteristik değerleri
H	: Kat tabanındaki toplam yatay yük
H	: Esas yükler (öz yükleri, sabit ve hareketli yükleri, kar [rüzgârsız olarak] ve makinelerin kitle kuvvetlerini kapsar)
H_Z	: İlave yükler (rüzgâr yüklerini, deprem yüklerini, krenlerde yatay yanal kuvvetleri ve fren kuvvetlerini vs. kapsar)
H_o	: Göçme mekanizmasına dahil olan katların kat yükseklikleri toplamı
h	: Kat yüksekliği
h	: Yapı yüksekliği
h	: (Gerçek) Enkesitin yüksekliği
h_e	: İdeal (iki başlıklı) enkesitin yüksekliği
h_{im}	: i_m 'inci katın yerden yüksekliği
h_{ns}	: Toplam yapı yüksekliği
h_o	: Başlık çubuklarının ağırlık merkezleri arasındaki mesafe
I	: Gerçek enkesitin atalet momenti
I_e	: İdeal enkesitin atalet momenti
I_1	: Bağ levhalarıyla teşkil edilen çok parçalı basınç çubuklarının etkili atalet momenti (indirgeme olmaksızın)
I_f	: Çok parçalı basınç çubuklarında bir başlık çubuğunun kendi zayıf eksenini etrafındaki atalet momenti
I_{eff}	: Etkili atalet momenti
I_t	: Enkesitin burulma atalet momenti
I_w	: Enkesitin çarpılma atalet momenti
i	: Atalet yarıçapı
i	: Kolon indisi
i_{eff}	: Etkili atalet yarıçapı
i_m	: Mekanizma indisi

i_0	: Bağ levhalarıyla teşkil edilen çok parçalı basınç çubuklarının etkili atalet yarıçapı (indirgeme olmaksızın)
j	: Açıklık (kiriş) indisi
K	: Rijitlik faktörü
K	: Yapının yanal rijitliği
k	: Kat indisi
k, k_w	: Etkili boy katsayıları
k_c	: Geometrik kusurun tespitinde kolon sayısı ile ilişkilendirilmiş katsayı
k_r	: Çapraz sistemlerdeki geometrik kusurun tespitinde kullanılan katsayı
k_s	: Geometrik kusurun tespitinde kat sayısı ile ilişkilendirilmiş katsayı
k_s	: Kayma dayanımlı birleşimlerde delik büyüklüğü ve şeklinin etkisini dikkate alan katsayı
k_σ	: Gerilme oranına bağlı burkulma faktörü
L	: Basınç çubuğunun uzunluğu
L	: Çapraz sisteminin açıklığı
L	: Kiriş açıklığı
L	: Eğilme momentinin sıfır olduğu enkesitle, en büyük değerini aldığı enkesit arasındaki mesafe
L_{LT}	: Yanal doğrultuda tutulu noktalar arası uzunluk
L_f	: Çok parçalı basınç çubuklarında başlık çubuğunun burkulma boyu
L_j	: Bulonlu birleşimlerde kuvvet doğrultusunda en sondaki bulonlar arasındaki mesafe
L_j	: Kaynaklı birleşimlerde kuvvet doğrultusunda bindirme boyu
l	: Basınç çubuğunun (tek parçalı) burkulma boyu
l	: Kaynaklı birleşimlerde kaynak boyu
l_{LT}	: Eğilme düzlemi dışına burkulmada burkulma boyu
M	: Eğilme momenti
$M_{b,jk}$	: k 'nıncı kat j 'ninci kirişin plastik moment dayanımı
$M_{c,ik}$	: Eksenel kuvvetin varlığı altında k 'nıncı kat i 'ninci kolonun indirgenmiş plastik moment dayanımı
$M_{c,Rd}$	: Plastik moment dayanımı (etkileşim yüzünden indirgeme yok)
M_{cr}	: Yanal stabilite kontrolünde kritik eğilme momenti
$M_{N,V,Rd}$	: Eksenel kuvvet ve kesme kuvvetinden dolayı indirgenmiş eğilme momenti dayanımı
M_p	: İlgili göçme mekanizmasında plastik mafsallardaki plastik momentlerin vektörü
$M_{pl,Rd}$	: Enkesitin (indirgenmemiş) plastik moment dayanımı
$M_{p,b}$	: Kolon alt ucundaki plastik moment dayanımı
$M_{p,t}$	: Kolon st ucundaki plastik moment dayanımı
$M_{R,b}$	: Kiriş moment dayanımı
$M_{R,c}$	: Kolon moment dayanımı
M_s	: Başlangıç eğriliğinden dolayı basınç çubuğunun ortasında oluşan moment
M_{sd}	: Eğilmeye alışan elemanlarda tasarım eğilme momenti
M_u	: Enkesitin taşıyabileceği en büyük moment değeri
$M_{v,Rd}$	: Kesme kuvvetinden dolayı indirgenmiş eğilme momenti dayanımı
M_y	: Enkesitte akmaya neden olan eğilme momenti
$M_{y,Rd}$	: y-y eksenı etrafında eğilmede plastik moment dayanımı
$M_{z,Rd}$	: z-z eksenı etrafında eğilmede plastik moment dayanımı
M_2	: Enkesit eksenine dik yönde düşey doğrultudaki eksen etrafında eğilme momenti

M3	: Enkesit eksenine dik yönde yatay doğrultudaki eksen etrafında eğilme momenti
N	: Eksenel kuvvet
N_a	: İvme kontrollü (fay hattına) yakınlık katsayısı
N_{cr}	: Kritik eksenel kuvvet (Euler yükü)
N_{b,Rd}	: Basınç çubuklarının burkulma dayanımı
N_{cr}	: İlgili burkulma modunda elastik kritik yük
N_d	: Çok parçalı basınç çubuklarında örgü çubuklarının boyutlandırma kuvveti
N_{f,sd}	: Çok parçalı basınç çubuklarında basınç başlığının boyutlandırma kuvveti
N_{pl,Rd}	: Eksenel plastik tasarım dayanımı
N_{Rd,b}	: Çekme çubuklarının eksenel (çekme) dayanım kuvveti
N_{sd}	: Eksenel boyutlandırma kuvveti (çekme veya basınç)
N_{t,sd}	: Eksenel çekme kuvvetinin tasarım değeri
N_{u,Rd}	: Net (birleşim bulonlu ise delikli) enkesitin sınır tasarım dayanımı (kopma dayanımı)
N_v	: Hız kontrollü yakınlık katsayısı
n	: Kayma dayanımlı birleşimlerde sürtünme oluşturulan derz sayısı
n	: Bulonları şaşırtmalı düzenlenen birleşimlerde zikzak doğrusu boyunca diyagonal doğrultu sayısı
n	: Çok parçalı basınç çubuklarında paralel örgü düzlemi sayısı
n_b	: Kattaki toplam açıklık (kiriş) sayısı
n_c	: Kattaki toplam kolon sayısı
n_c	: Geometrik kusurun tespitinde kat düzlemindeki toplam kolon sayısı
n_r	: Çaprazlama ile deplasmanı sınırlandırılan (stabilitesi sağlanan) eleman sayısı
n_s	: Toplam kat sayısı
n_s	: Geometrik kusurun tespitinde toplam kat sayısı
P	: Eksenel kuvvet
PF₁	: Yapının birinci doğal titreşim moduna ilişkin modal katılım faktörü
p	: Bulonları şaşırtmalı düzenlenen birleşimlerde çubuk eksenine dik doğrultuda şaşırtmalı delikler arası mesafe
p₁	: Çekme çubuklarında kuvvet doğrultusundaki bulonlar arası mesafe
p₂	: Çekme çubuklarında kuvvet doğrultusuna dik yöndeki bulonlar arası mesafe
Q_{k,1}	: Değişken tek etkinin karakteristik değeri
Q_{k,i}	: Tüm değişken etkilerin karakteristik değerleri
q	: Birim uzunluktaki eşdeğer stabilite kuvveti
q	: Düktilite faktörü
R	: Kesit dayanımı
R	: Enkesitin toplam dönme kapasitesi
R_d	: Enkesit mukavemetinin boyutlandırma değerleri
R_k, r_k	: Enkesit mukavemetinin karakteristik değeri
R_{st}	: Enkesitin stabil durumdaki dönme kapasitesi
r_k	: k'nıncı katın yerden yüksekliği
S	: Kesit zorlaması
S_{A,B...F}	: ATC – 40'ta verilen zemin cinsi sınıfları
S_a	: Spektral ivme
S_{ai}	: Analizin i'ninci adımındaki spektral ivme değeri
S_d	: Spektral yer değiştirme
S_d	: Dış etkilerin boyutlandırma değerleri

S_{di}	: Analizin i 'ninci adımındaki spektral deplasman değeri
S_v	: Çok parçalı basınç çubuklarında örgü çubuklarının kayma rijitliği
s	: Bulonları şaşırtmalı düzenlenen birleşimlerde çubuk eksen boyunca şaşırtmalı delikler arası mesafe
s	: Enkesitte yerel burkulmaya neden olan gerilme miktarının malzeme akma gerilmesine oranı (kritik gerilme)
s_k	: Yüklerin karakteristik değeri
T	: Periyot
T	: Burulma momenti
T_o	: Kontrol periyodu başlangıcı
T_s	: Kontrol periyodu sonu
t	: Enkesit veya levha et kalınlığı
t	: Mekanizma indisi
t_f	: Enkesitin başlık et kalınlığı
t_p	: Somunun ve bulonun altındaki levha kalınlığı
t_w	: Enkesitin gövde et kalınlığı
V	: Kat tabanındaki toplam düşey yük
V_{cr}	: Yanal ötelenmenin sınırlandırılmadığı durum için elastik kritik yük
$V_{eff,Rd}$	: Etkili kesme kuvveti dayanımı
V_i	: Analizin i 'ninci adımındaki taban kesme kuvveti
$V_{pl,Rd}$	: Kesme kuvveti dayanımı
V_s	: Çok parçalı basınç çubuklarında basınç başlığına örgü çubuğu hizasında etkiyen kesme kuvveti
V_{sd}	: Toplam düşey tasarım yükü
V_{sd}	: Tasarım kesme kuvveti
V_2	: Enkesit eksenine dik yönde düşey doğrultuda etkiyen kesme kuvveti
V_3	: Enkesit eksenine dik yönde yatay doğrultuda etkiyen kesme kuvveti
u_k	: k 'ninci katın yatay ötelenmesi
W	: Mukavemet momenti
W	: Yapı ağırlığı
W_{com}	: Basınca maruz kenar life göre elastik mukavemet momenti
W_{el}	: Elastik mukavemet momenti
W_{pl}	: Plastik mukavemet momenti
W_{eff}	: Efektif mukavemet momenti
$y-y$	: Genel olarak enkesitin başlıklarına paralel yöndeki eksen
Z	: Sismik bölge faktörü
$z-z$	: Genel olarak enkesitin başlıklarına dik yöndeki eksen
Δ_{roof}	: Tepe deplasmanı
Δ_y	: Enkesitte akmaya karşı gelen yer değiştirme miktarı
Φ	: Geometrik kusur
Φ_o	: Başlangıç kusuru
$\Phi_{1,roof}$	: Yapının birinci doğal titreşim modunda tepe noktasının genliği
α	: Çekme çubuklarında delik cidarında ezilme dayanımına biçimsel özelliklerin ve malzeme özelliklerinin etkisini göz önüne alan katsayı
α	: Kinematikçe en uygun yatay yükleme çarpanı
$\alpha^{(g)}$	: Global tipte göçme mekanizmasına karşılık gelen, yatay kuvvet çarpanı
α_{cr}	: Düşey yüklerin kritik elastik çarpanı
α_f	: Enkesit başlığının narınlığı ile ilgili bir katsayı
$\alpha_{im}^{(t)}$	: t 'ninci tip i_m 'inci kat mekanizmasına karşılık gelen, yatay kuvvet çarpanı

α_o	: Genel göçme mekanizması için, malzemenin rijit-plastik davranışı kabulüyle limit tasarım teorisine göre yatay kuvvet çarpanı
α_u	: Yapının taşıyabileceği en büyük yatay yüklemenin çarpanı
α_y	: Akmaya neden olan yatay yükleme çarpanı
α_w	: Enkesit gövdesinin narinliği ile ilgili bir katsayı
α_1	: Yapının birinci doğal titreşim moduna ilişkin modal kütle katsayısı
β_A	: Enkesit sınıfının burkulma dayanımına etkisini göz önüne alan katsayı
β_i	: Çekme çubuğu olarak korniyer kullanılan durumlar için düzeltme katsayısı
β_{Lf}	: Bulonla teşkil edilen uzun birleşimlerde bulonların makaslama dayanımını indirgeme katsayısı
β_{Lw}	: Kaynaklı uzun birleşimlerde kaynak dayanımını indirgeme katsayısı
β_o	: Eşdeğer viskoz sönüm katsayısı (ATC – 40’ta verildiği gibi)
β_w	: Kaynaklı birleşimler için düzeltme katsayısı
γ	: Stabilite parametresi
γ	: Emniyet katsayısı
γ_f	: Yüklere ait kısmi güvenlik katsayısı
$\gamma_{G,j}$	: Sabit etkilerin kısmi güvenlik katsayıları
γ_M, γ_m	: Malzeme dayanımına ait kısmi güvenlik katsayısı
γ_{Mw}	: Kaynaklı birleşimlerde kaynaklar için kısmi güvenlik katsayısı
$\gamma_{Q,i}$	: Hareketli etkilerin kısmi güvenlik katsayıları
γ_s	: Eğim parametresi
$\gamma_s^{(g)}$	: Global tipte göçme mekanizmasına karşılık gelen, yapı davranış eğrisinin alçalan kısmındaki eğim parametresi
$\gamma_{sim}^{(t)}$	: t ’nci tip i_m ’inci kat mekanizmasına karşılık gelen, yapı davranış eğrisinin alçalan kısmındaki eğim parametresi
δ	: Kat alt hizasına göre üst hizasının yatay ötelenmesi
δ	: Yatay doğrultudaki tepe deplasmanı
δ_E	: Rijit – plastik sınır çarpanı α_o ’a karşı gelen bir yükleme altında lineer – elastik tepe deplasmanı
$\delta_{E'}$	: En büyük yatay yükleme çarpanı altında ötelenme miktarı
$\delta_{E''}$	: Akmanın ilk meydana geldiği andaki tepe yatay deplasmanı
δ_K	: δ_E ’nin 2.5 katı (istatistiksel kabul)
δ_{max}	: Mesnetleri birleştiren doğruya göre en son durumda sehim
δ_{max}	: En büyük yatay yükleme çarpanı altında ötelenme miktarı
δ_{mec}	: Bir göçme mekanizmasının oluşmasına karşılık gelen ötelenme miktarı
δ_u	: Göçme anındaki tepe yatay deplasmanı
δ_y	: Akmaya neden olan tepe yatay deplasmanı
δ_o	: Yüksüz durumda ters sehim
δ_1	: Sabit yüklerin meydana getirdiği sehim
δ_1	: İkinci mertebe etkileri dikkate alınmaksızın yatay referans yüklemesi altındaki tepe deplasmanı
δ_2	: Değişken yüklerden ve sabit yüklerin zamana bağlı değişiminden oluşan sehim
ε	: Enkesit sınıfının tespitinde kullanılan, malzeme dayanımı ile ilgili bir katsayı
ε_h	: Enkesitin pekleşme deformasyonu
ε_y	: Enkesitin akma deformasyonu
η	: Burkulma boyu hesaplanacak basınç çubuğu için dağıtma faktörü
θ	: Dönme

θ_m	: Enkesitte belirgin bir göçme mekanizmasına neden olan dönme miktarı
θ_m	: Moment–eğrilik ilişkisinin integrasyonu sonucunda dönme kapasitesinin kararlı kısmı için hesaplanan maksimum dönme miktarı
θ_p	: Plastik dönme miktarı
$\theta_{p\text{ mec}}$	: Bir göçme mekanizmasının oluşmasına karşılık gelen dönme miktarı
θ_{pu}	: En büyük plastik dönme miktarı (dönme kapasitesi)
θ_u	: Enkesitteki en büyük dönme miktarı
θ_y	: Enkesitte akmaya neden olan dönme miktarı
κ	: Sönüm modifikasyon faktörü (ATC – 40’ta verildiği gibi)
λ	: İlgili burkulma modunda eleman narinliği
$\bar{\lambda}$	: Eleman narinliğinin kıyaslama narinliğine oranı
λ_f	: Enkesit başlığının narinliği
λ_w	: Enkesit gövdesinin narinliği
λ_1	: Kıyaslama narinliği
μ	: Kayma dayanımlı birleşimlerde yüzeyin işlenme şekline bağlı olarak sürtünme katsayısı
μ	: Bağ levhalarıyla teşkil edilen çok parçalı basınç çubuklarının efektif atalet momenti hesabında kullanılan, başlık çubuklarının narinliğine bağlı indirgeme katsayısı
μ	: Global süneklik oranı
ν	: Poisson oranı
ρ	: Kesme kuvvetinden dolayı indirgeme katsayısı
ρ	: Yapı elemanındaki eksenel kuvvetin eleman eksenel kuvvet dayanımına oranı
ρ_{im}	: i_m ’inci kat kolonları indirgenmiş plastik momentleri toplamının birinci kat kolonlarıninkine oranı (teknolojik koşul parametresi)
σ_A	: Kaynakla birleşim malzemesinin arakesit düzleminde (kaynak kalınlığı ile aynı genişlikte) normal gerilme
$\sigma_{com,Ed}$	: Basınca maruz kenar lifteki bileşke gerilme
σ_{cr}	: Kritik gerilme
σ_{em}	: Çelik malzeme için emniyet gerilmesi (genel olarak çekme halinde)
σ_y	: Çelik malzeme için akma gerilmesi
$\sigma_{\perp}$	: Kaynağın orta düzleminde normal gerilme
$\sigma_{//}$	: Kaynağın orta düzleminde kaynak doğrultusundaki normal gerilme
τ_1	: Kaynakla birleşim malzemesinin arakesit düzleminde (kaynak kalınlığı ile aynı genişlikte) kaynak doğrultusuna dik yönde kayma gerilmesi
τ_2	: Kaynakla birleşim malzemesinin arakesit düzleminde (kaynak kalınlığı ile aynı genişlikte) kaynak doğrultusundaki kayma gerilmesi
$\tau_{\perp}$	: Kaynağın orta düzleminde kaynak doğrultusuna dik yönde kayma gerilmesi
$\tau_{//}$	: Kaynağın orta düzleminde kaynak doğrultusundaki kayma gerilmesi
χ	: Basınç çubuğunun narinliğine ve burkulma gerilmesi eğrisine bağlı olarak bulunan indirgeme katsayısı
ψ	: Kombinasyon faktörü
ψ	: Kolon – kiriş rijitlik oranına ve yükseklik boyunca kolon rijitliğinin dağılımına bağlı bir katsayı
ω	: DIN 4114’te verilen, göçme yükünden geriye doğru hesapla emniyet gerilmesinin indirgenmesi yönteminde kullanılan parametre

ÇELİK YAPILARIN EUROCODE 3'E GÖRE BOYUTLANDIRILMASINDA KULLANILAN PLASTİK HESAP YÖNTEMLERİ

ÖZET

Türkiye’de çelik yapıların boyutlandırılmasında yararlanılan şartnameler, gerek akademisyenler ve araştırmacılar, gerekse uygulamada bu şartnameleri kullanmanın zorluğunu yaşamış inşaat mühendisleri tarafından yetersiz olarak nitelendirilmektedir. Dolayısıyla daha ayrıntılı ve daha güvenilir referansların arayışı içerisine girilmiştir.

Eurocode bu alternatiflerden birisi olup, Avrupa Ekonomik Topluluğunun kurulması sonucunda ortaya çıkmış ve *kısmi güvenlik katsayıları* yöntemine göre boyutlandırmayı esas alan bir tasarım normudur. Avrupa ülkelerinde ortak kullanıma uygun olarak hazırlanmış olmasına rağmen, hala yararlanılabilen başka şartnameler de mevcuttur. Bu araştırmada, 1993’te bir ön – standart şeklinde kullanıma sunulan “Eurocode 3: Design of steel structures Part 1.1: General rules and rules for buildings” normu incelenmiştir. 3 yıllık kullanım ömrüne sahip ve daha sonra pratikte kazanılan tecrübenin ışığında geliştirilmesi planlanan bu normun daha yeni basımlarına ulaşmak mümkün olmamıştır. Ek olarak, Prof. Dr. Alpay ÖZGEN ve Doç. Dr. Güliz BAYRAMOĞLU’nun kısmi güvenlik katsayıları yöntemi ve Eurocode 3 ile ilgili hazırlamış olduğu ders notları ve uygulamalardan da istifade edilmiştir.

Son derece detaylı ve düzenli yapısına rağmen Eurocode standardı yine de eleştiri alabilmektedir. F. M. Mazzolani ve V. Piluso, Eurocode 3’teki enkesit sınıflandırmasını eleştirmekte, bu norm da dahil olmak üzere Avrupa’daki tasarım normlarında verilen koşulların yüksek sismik performanslı yapıların tasarlanması için yeterli olmayabileceğini düşünmektedirler. Karşılık olarak; yapıların, en fazla deprem enerjisinin sönmüldüğü, dolayısıyla en ideal göçme mekanizması türü olan global mekanizma ile çöker hale gelmesini temin edebilmek için sağlanması gereken bir dizi boyutlandırma kriteri öne sürmüşlerdir. Araştırmanın daha sonraki bölümü bu kriterlerin incelenmesine ayrılmıştır.

Son araştırma konusu, yapıların performansını gözlemleyebilmek amacıyla bilgisayar uygulamalarında sıkça tercih edilen “pushover” analizidir. “Doğrusal olmayan statik itme” yöntemi şeklinde Türkçeleştirilebilecek bu hesap türü, enkesit dayanımlarının aşılması sonucunda yapı rijitliğinin giderek azalmasını matematiksel olarak modellemeye imkan vermektedir.

Bu çalışmada yukarıda sayılan hesap yöntemleri bir uygulama üzerinde kullanılarak elde edilen sonuçlar birbiriyle karşılaştırılmaktadır.

PLASTIC ANALYSIS METHODS USED IN THE DESIGN OF STEEL STRUCTURES ACCORDING TO EUROCODE 3

SUMMARY

The national building codes used in Turkey for design of steel structures are described to be insufficient by academicians, researchers and those who have had difficulties using them in engineering applications. Therefore, we are in need of more detailed and reliable references.

Eurocode, being one of these alternatives, is based on using “*partial safety factors*” and is a natural result of the establishment of the European Economic Community. Despite being prepared for common usage in European countries, there are still some other (national) codes available. In this study, “*Eurocode 3: Design of steel structures Part 1.1: General rules and rules for buildings*”, which was published as a pre standard in 1993, is used for research. It had been planned to be in force for 3 years following its debut, but attaining a newer version of the code was not possible. Additionally, a great use has been made of the lecture notes and example pages prepared by Prof. Dr. Alpay ÖZGEN and Assoc. Prof. Dr. Güliz BAYRAMOĞLU on the “*partial safety factors*” topic and Eurocode 3.

Despite its detailed and tidy configuration, nevertheless Eurocode experiences occasional criticism. F. M. Mazzolani & V. Piluso criticize the classification of cross – sections given in Eurocode 3, and claim that using the specifications existing in most European norms, including the Eurocodes, may not be completely adequate to obtain high seismic performance structures. In return, they propose a series of conditions to be satisfied in order to achieve structures failing in global mechanism, which is agreed to be the ideal case since energy dissipation is at most. The following part of this study refers to these conditions.

The final topic of the study is the well – known “*pushover*” analysis, widely used in computing to observe structural performance. This method, also named as “non – linear static” analysis, mathematically makes it possible to simulate the reduction of the structural stiffness due to seismic forces exceeding the member strengths.

This study ends with a comparative example using each of the three analysis methods mentioned above.

1. GİRİŞ VE PROBLEMİN SUNUMU

Türkiye’deki çelik yapı boyutlandırma standartlarında da yeri olan, kullanma yükleri altında *emniyet gerilmesi* esasına göre boyutlandırma yöntemleri ile, çelik yapılarda kullanılabilirlik kontrolü ve taşıma güvenliği kontrolü tek adımda yapılmaktadır. Burada global bir güvenlik katsayısı kullanmak suretiyle malzeme akma gerilmesi indirgenir:

$$\sigma_{em} = \frac{\sigma_y}{\gamma} \quad (1.1)$$

Tecrübenin kazandırdığı bilgilerle, değişik haller için bu σ_{em} değerleri kademelendirilir. Buna aşağıdaki örnekler verilebilir [1]:

- Yükleme durumları H (esas yükler) ve HZ (esas ve ilave yükler) şeklinde ayrılarak farklı kaynaklı yüklerin bir araya gelme olasılığının küçük olması göz önüne alınır.
- Eksenel kuvvete maruz çubuklar için çekme veya stabilite zorlamalarında farklı göçme davranışları (haberli veya habersiz) farklı emniyet gerilmeleri kullanılarak göz önüne alınır.
- Gerçek halden sapmalar farklı değerlerde güvenlik faktörü kullanılarak hesaba katılır (örneğin Euler çubuğunda γ_{ki} , taşıma yükünde γ_{kr}).
- “Kritik üstü” bölgede davranış güvenlik faktörüyle göz önüne alınır (örneğin kirişlerin gövde levhalarında buruşma kontrolü yapılırken daha küçük güvenlik faktörü kullanılır).

Buna karşılık yükler, akma sınırları vb. değerler sabit sayısal değerler olmayıp olasılıklı değerlerdir. Dolayısıyla *emniyet gerilmesi* esasına göre boyutlandırma sadece “lineer” haller için geçerli olmaktadır. Lineer olmayan durumlarda farklı yöntemler uygulanarak çözüme gitmeye çalışılmıştır [1]:

- Göçme yükünden “geriye doğru hesap”la emniyet gerilmesi indirgenir (DIN 4114’te verilen ω yöntemi).
- Yerel plastikleşme sonucu gerilme artışlarının plastikleşmemiş noktalara kayması özelliğini göz önüne alan basitleştirilmiş “elastik” kontroller yapılır (ikincil/sekonder gerilmeler, iç gerilmeler, birleşim araçları vs.).
- γ kat arttırılmış yüklerle hesap yapılarak enkesitlerin akma sınır gerilmesine ulaşması kontrol edilir (2. mertebe elastisite teorisi).
- γ kat arttırılmış yüklerle “enkesitin plastik rezervi” göz önüne alınarak hesap yapılır (plastik boyutlandırma, kompozit kirişler).
- γ kat arttırılmış yüklerle plastik mafsalların oluşması sonucu sistemin değişmesi göz önüne alınarak hesap yapılır (taşıma yükü yöntemi, kompozit kirişler).

Bu uygulamalarla, “global güvenlik faktörünün” kullanımı sonucu ortaya çıkan çelişkiler giderilmeye çalışılmıştır. Ancak bu her zaman mümkün olmamıştır. Çünkü güvenlik faktörü ilkesi tamamen mühendislik deneyimlerine bağlı olup, olasılık teorisine dayalı yöntemlerden türetilmemiştir. Dolayısıyla belirlenmiş olan emniyet gerilmeleri göçmeye karşı gerçek güvenliği göstermemektedir. Çeliğin elastik dayanımına göre boyutlandırma yapıldığından, malzeme verimli bir şekilde kullanılamamaktadır [2]. Bu nedenlerle yapı güvenliğini daha gerçekçi esaslara göre hesaplamak için yapılan araştırmalar, olasılık ve istatistik bilgilerinin de yardımıyla, başlıca etkilerin doğru olarak değerlendirildiği “pratik”, kazanılmış deneyimleri içeren, bütün yapı çeşitleri ve malzemeler için uygulanabilen ve birbirleriyle kıyaslamaya imkan veren sonuçlar alınabilen bir yöntemin bulunmasına yönelmiştir.

Bu çalışmanın amacı, çelik çerçevelerin boyutlandırılmasında yararlanılan “*kısmi güvenlik katsayıları yöntemi*” ile ilgili kısa ve öz bilgiler vererek buna ait bir uygulama üzerinde hesap tarzlarını incelemektir. Uygulama sırasında baz alınacak standart olarak “Eurocode 3: Çelik Yapıların Boyutlandırılması” normu tercih edilmiştir. Buna bağlı olarak öncelikle adı geçen standart hakkında en temel bilgiler verilecek, hesapların ne şekilde yürütüldüğü açıklanacaktır.

Arkasından F.M. Mazzolani ile V. Piluso’nun moment aktaran çelik çerçevelerin depreme dayanıklı tasarımı için önermiş oldukları bir hesap yöntemi ve pushover

analizine değinilecektir. EC3 çok katlı çelik çerçevelerin plastik mafsalsal teorisine göre analizine izin vermektedir. Bununla ilişkili olarak; Mazzolani ve Piluso'nun yöntemi, çerçeve elemanlarının global göçme mekanizması meydana gelecek şekilde plastik mafsalsal teorisine bağlı kalınarak düzenlenmesini, pushover analizi ise artan yatay (ve/veya kimi hallerde düşey) yükler altında çerçeve elemanlarındaki plastik rezervlerin giderek azalmasını yine plastik mafsalsal teorisine göre ele almaktadır. Ancak her iki yöntemde de enkesit dayanımları EC3'te verilen kriterlere uygun olarak hesaplanmaktadır. Aynı uygulama üzerinde bu üç hesap tarzı karşılaştırılarak elde edilen sonuçlar yorumlanmaya çalışılacaktır. Karşılaştırma yapıyı teşkil eden elemanların enkesitleri ve analiz sonuçları arasındaki en belirgin farkların tespiti ile sınırlı olacaktır. Çerçeve birleşimlerinin rijit olduğu kabul edilecek; tahkiklerinin çok ayrıntılı olması sebebiyle bunların ve kolon ayaklarının teşkili sadece sembolik olarak gösterilecek, sayısal kontrolleri yapılmayacaktır.

2. ÇELİK ÇERÇEVELERİN EUROCODE 3'E GÖRE ELASTİK/PLASTİK HESAP YÖNTEMLERİ KULLANILARAK BOYUTLANDIRILMASI

Herhangi bir yapı elemanında taşıma yükü sınır durumunda S kesit zorlaması R kesit dayanımı ile karşılaştırılır ve $R > S$ sağlandığı sürece yapı elemanının güvenli olduğuna kanaat getirilir. Bu amaçla “*kısmi güvenlik katsayıları*” yöntemi uygulanabilir. Sözü geçen yöntemde yükler ve enkesit mukavemetlerinin karakteristik değerleri γ_f , γ_m gibi sabit kısmi güvenlik katsayıları ile çarpılmaktadır. Kontrollerde;

$$\gamma_f S_k < \frac{r_k}{\gamma_m} \quad (2.1)$$

şartı aranır. Formülde geçen γ_f kısmi güvenlik katsayısı ile;

- Karakteristik yükleme değerlerinde oluşabilecek rasgele sapmalara,
- Dış etkilerdeki değişimlere karşı sistemin hassasiyetine,
- Çok sayıda bağımsız etkinin aynı anda meydana gelme olasılığının düşüklüğüne (bu durum ψ kombinasyon faktörleriyle göz önüne alınır),
- Etkiler bakımından statik modelde yetersizliklere

karşı emniyet sağlanması amaçlanır [1]. γ_m malzeme kısmi güvenlik katsayısıyla da;

- Karakteristik mukavemet değerlerinde oluşabilecek rasgele sapmalara,
- Deney numunelerinin mukavemetlerinden yapı elemanlarının mukavemetlerine geçişte kullanılan katsayılardaki belirsizlikler ve oluşabilecek sapmalara,
- Yapı malzemesinde olabilecek imalat kusurlarına,
- Mukavemetler bakımından statik modelde yetersizliklere

karşı emniyet sağlanması amaçlanır [1].

Yüksek yapılarda dış etkilerin boyutlandırma değerleri S_d ;

- yalnız en elverişsiz hareketli etkinin göz önüne alınması halinde:

$$S_d = \sum_j \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} \quad (2.2a)$$

- tüm elverişsiz hareketli etkilerin göz önüne alınması halinde:

$$S_d = \sum_j \gamma_{G,j} G_{k,j} + 0.9 \sum_{i \geq 1} \gamma_{Q,i} Q_{k,i} \quad (2.2b)$$

olarak verilmiştir ($\psi = 0.9$). Buradaki sembollerin anlamları aşağıda açıklanmıştır.

$G_{k,j}$: sabit etkilerin karakteristik değerleri,

$Q_{k,1}$: değişken tek etkinin karakteristik değeri,

$Q_{k,i}$: tüm değişken etkilerin karakteristik değerleri,

$\gamma_{G,j}$: $G_{k,j}$ sabit etkilerinin kısmi güvenlik katsayıları (genellikle 1.35),

$\gamma_{Q,i}$: $Q_{k,i}$ hareketli etkilerinin kısmi güvenlik katsayıları (genellikle 1.5).

Tablo 2.1-a. Eurocode 3'te yükler ve malzeme dayanımları için verilen kısmi güvenlik katsayıları [1]

ETKİLER (Yükler)

Taşıma yükü sınır durumu	Kullanılabilirlik sınır durumu
➤ Yalnız en elverişsiz etki eden tek hareketli yük Q $S_d = 1.35 \sum G_{k,j} + 1.5 Q_{k,1}$ ➤ Tüm hareketli yükler $S_d = 1.35 \sum G_{k,j} + 1.35 \sum Q_{k,i}$	➤ Yalnız en elverişsiz etki eden tek hareketli yük Q $S_d = \sum G_{k,j} + Q_{k,1}$ ➤ Tüm hareketli yükler $S_d = \sum G_{k,j} + 0.9 \sum Q_{k,i}$
En elverişsiz yük kombinasyonu esas alınır.	

Tablo 2.1-b. (Tablo 2.1-a'dan devam)

MUKAVEMET

Taşıma yükü sınır durumu	Kullanılabilirlik sınır durumu
$R_d = \frac{R_k}{\gamma_M}$ $R_k = f(f_y)$ ise $\gamma_M = 1.1$ $R_k = f(f_u)$ ise $\gamma_M = 1.25$	$R_d = \frac{R_k}{\gamma_M}$ $\gamma_M = 1.0$
R_k : mukavemetin karakteristik değeri f_y : akma gerilmesi f_u : çekme mukavemeti	

2.1. Enkesitlerin Sınıflandırılması

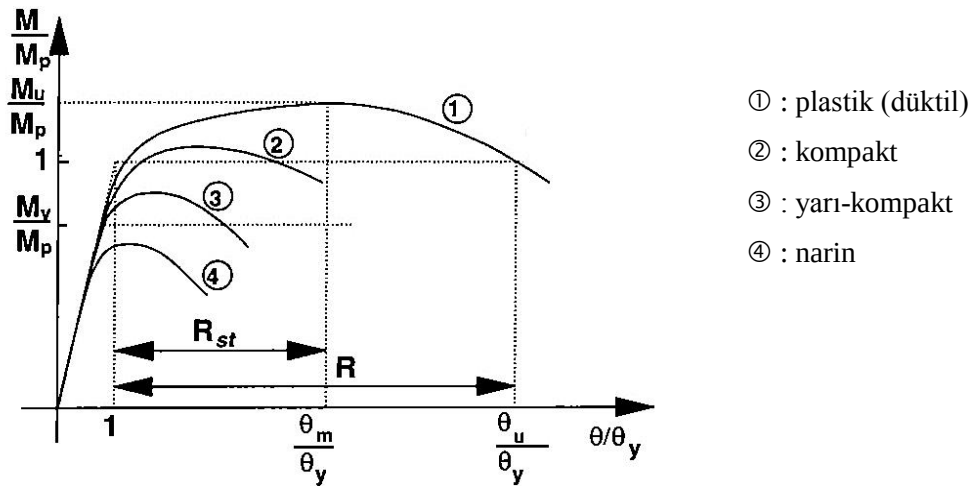
Enkesitler basınca ve eğilmeye maruz kısımlarının boyut oranlarına bağlı olarak 4 sınıfa ayrılır [3].

1. sınıf (plastik) enkesitler: Yeterli dönme kapasiteli mafsallar oluştururlar.

2. sınıf (kompakt) enkesitler: Maksimum plastik dayanımına ulaşırlar, fakat sınırlı dönme kapasitesine sahiptirler.

3. sınıf (yarı-kompakt) enkesitler: En elverişsiz (en uçtaki) enkesit lifinde akma meydana gelir, fakat yerel buruşmalar nedeniyle plastik rezervler kullanılamaz.

4. sınıf (narin) enkesitler: Basınca maruz enkesit kısımlarında meydana gelen buruşmalar nedeniyle tam elastik dayanıma ulaşılamaz, enkesit elastik bölgede geçer.



Şekil 2.1: Enkesit sınıflarının moment – dönme eğrileri

Şekilde görülen semboller şu anlama gelmektedir:

M_p : enkesitin plastik moment dayanımı

M_u : enkesitin taşıyabileceği en büyük moment değeri

M_y : enkesitte akmaya neden olan moment değeri

θ_u : enkesitteki en büyük dönme miktarı

θ_y : enkesitte akmaya neden olan dönme miktarı

θ_m : enkesitte belirgin bir göçme mekanizmasına neden olan dönme miktarı

R : enkesitin toplam dönme kapasitesi

R_{st} : enkesitin stabil durumdaki dönme kapasitesi

Enkesitlerin sınıflandırılmasında kullanılan tablolar Tablo A.1’de verilmiştir.

2.2. Yapılarda Kusurlar

Taşıyıcı sistemlerde mevcut bazı imalat ve montaj hataları, örneğin çerçevelerde bir ϕ başlangıç dönmesi verilerek, eşdeğer geometrik bir kusurla hesaplarda dikkate alınır. Benzer şekilde; kirişlerin veya basınç elemanlarının yanal stabilitesini sağlayan çaprazlı sistemlerde kusurların etkisi de, stabilitesi sağlanan elemanlara bir e_o başlangıç eğriliği şeklinde verilen eşdeğer bir geometrik kusurla göz önüne alınır.

$$\phi = k_c k_s \phi_o \quad (2.3a)$$

Burada $\phi_o = \frac{1}{200}$ olmak üzere,

$$k_c = \left(0.5 + \frac{1}{n_c}\right)^{0.5} \leq 1.0 \quad \text{ve} \quad k_s = \left(0.2 + \frac{1}{n_s}\right)^{0.5} \leq 1.0 \quad (2.3b)$$

n_c : kat düzlemindeki toplam kolon sayısı

n_s : toplam kat sayısıdır.

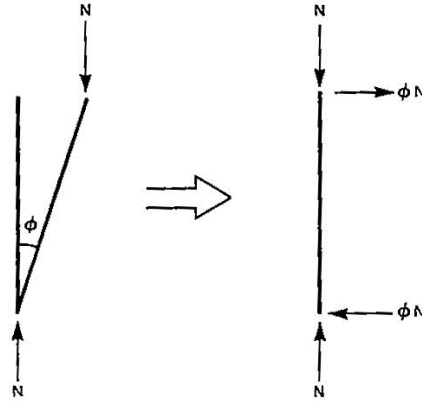
$$e_o = \frac{k_r L}{500} \quad (2.4a)$$

$$k_r = \left(0.2 + \frac{1}{n_r}\right)^{0.5} \leq 1.0 \quad (2.4b)$$

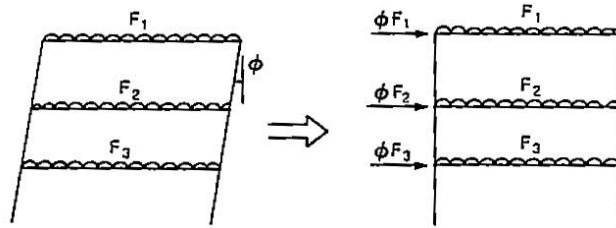
L : çapraz sisteminin açıklığı

n_r : çaprazlama ile deplasmanı sınırlandırılan (stabilitesi sağlanan) eleman sayısı

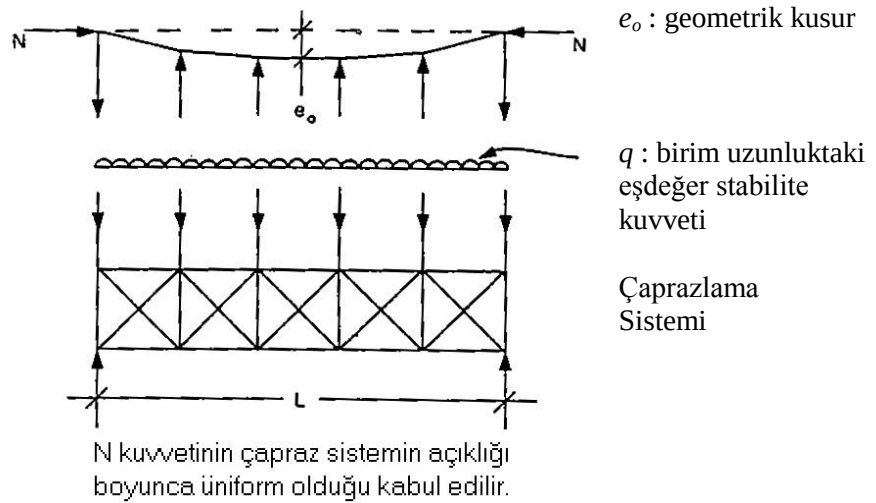
Daha uygun ise, bu başlangıç dönmesi veya eğriliği ϕF büyüklüğünde eşdeğer yatay kuvvetlere çevrilebilir [3] (bkz. Şekil 2.2, 2.3, 2.4).



Şekil 2.2: Başlangıç dönme kusurlarının eşdeğer yatay kuvvetlere çevrilmesi



Şekil 2.3: Çerçeveler için eşdeğer yatay kuvvetler



Şekil 2.4: Çerçeve çaprazları için eşdeğer stabilite kuvveti

2.3. Kullanılabilecek Analiz Yöntemleri

Statikçe belirsiz sistemlerde iç kuvvetlerin hesaplanması elastik global veya plastik global analize yapılır.

Elastik global analizde malzeme için lineer bir gerilme-deformasyon bağıntısı kullanılarak, birinci veya ikinci mertebe teorisine göre iç kuvvetler belirlenip enkesitlerin plastik dayanımı ile karşılaştırılır. Böyle bir durumda; iç kuvvetlerin enkesitin elastik dayanımıyla karşılaştırıldığı hale nazaran, malzemenin akma sınırının üzerinde plastik deformasyon yapabilme kapasitesinden yararlanılmaktadır.

Plastik global analiz ise, plastik mafsallı oluşan kesitlerde yeterli dönme kapasitesinin bulunması şartıyla, birkaç türe ayrılmaktadır [3]:

1. Rijit-Plastik Yöntemler:

Bu yöntemde taşıyıcı elemanlar ve temellerin elastik deformasyonunun ihmal edilebilecek kadar küçük olduğu, plastik deformasyonların plastik mafsallarda yoğunlaştığı varsayılır; Bölüm 2.4.2’de verilen durumlar haricinde ikinci mertebe teorisinin kullanımına izin verilmez. Kolonlarında plastik mafsallı oluşan yapılar için rijit-plastik analiz, mafsallarda yeterli dönme kapasitesinin olduğu ispatlanabilen hallerle sınırlandırılmıştır.

2. Elastik-Plastik Yöntemler:

Bu yöntem için yükler tasarım yüküne ulaşılan kadar adım adım arttırılıp, işlem sonucunda elde edilen iç kuvvetler taşıyıcı elemanların burkulma ve enkesit dayanımlarının kontrolünde kullanılabilir.

a) Elastik-mükemmel plastik: Enkesitin plastik moment dayanımına ulaşana kadar elastik kaldığı, ondan sonra tamamen plastikleştiği; plastik deformasyonların plastik mafsallarda yoğunlaştığı kabul edilir. Eksenel ve/veya kesme kuvvetinin plastik moment dayanımına etkisi hesaplar sırasında veya kontrol aşamasında dikkate alınabilir.

b) Elasto-plastik: Malzeme için bilineer (iki doğrudan oluşan) gerilme-deformasyon bağıntıları kullanılır. Enkesitin, en uç kısmındaki lifler akmaya ulaşana kadar elastik kaldığı, moment arttıkça plastik deformasyonların enkesit ve elemanın uzunluğu boyunca artarak yayıldığı kabul edilir.

2.4. Yanal Deplasman Yapan/Yapmayan Çerçeveler

Düzlemlerindeki yatay kuvvetlerin etkisinde ihmal edilebilecek kadar küçük deformasyonlar yapan, başka bir deyişle global ikinci mertebe etkilerin ihmal edilebildiği çerçeveler “*yanal deplasman yapmayan*” (yanal deplasmanı önlenmiş) çerçeve türü olmaktadır. Bunların haricindeki tüm çerçeve tipleri de “*yanal deplasmanı önlenmemiş*” kabul edilmektedir. Bu tanımlamalara bağlı olarak;

$$\frac{V_{sd}}{V_{cr}} \leq 0.1 \quad (2.5)$$

şartını sağlayan çerçeveler yanal deplasmanı önlenmiş sayılmakta, düzlemlerinde yatay kuvvetler olsun veya olmasın ikinci mertebe etkilerin ihmal edilmesine izin verilmektedir [3]. Burada;

V_{sd} : toplam düşey tasarım yükü,

V_{cr} : elastik kritik yüküdür (yanal deplasman önlenmemiş durumda).

Çok katlı kolon-kiriş tipi çerçevelerde (2.5) ifadesi yerine,

$$\frac{\delta}{h} \frac{V}{H} \leq 0.1 \quad (2.6)$$

kriteri kullanılabilir. Burada;

δ : kat alt hizasına göre üst hizasının yatay ötelenmesi,

h : kat yüksekliği,

V : kat tabanındaki toplam düşey yük,

H : kat tabanındaki toplam yatay yüküdür (eğer birinci mertebe teorisi kullanılıyorsa, eşdeğer yatay kuvvet olarak hesap edilmiş çerçeve kusurları da buna dahil edilmelidir).

Yanal deplasmanı önlenmiş çerçeveler için birinci mertebe elastik veya plastik analiz yapılabilir. İkinci mertebe etkilerin dikkate alınabildiği düzenlemeler yapıldığı sürece (bkz. Bölüm 2.4.1) yanal deplasmanı önlenmemiş çerçeveler için de birinci mertebe teorisi kullanılabilir.

2.4.1. Yanal deplasmanı önlenmemiş çerçevelerin elastik analizi

Yanal ötelenmesi önlenmemiş çerçevelerde ikinci mertebe etkilerin hesaplarda dikkate alınabilmesi için birkaç seçenek mevcuttur [3]. Bu seçeneklerden biri, ikinci mertebe etkilerin direkt olarak ikinci mertebe hesapla göz önüne alınması olup bu durumda ötelenmesiz burkulma moduna ait burkulma boyları kullanılabilir.

Buna alternatif olarak birinci mertebe hesap da yapılabilir, ancak bunun için ötelenmeli burkulma moduna ait burkulma boylarının kullanılmalıdır. Bu boylarla kolonların tasarımı yapılabilirken, kirişlerde ve kolon – kiriş birleşimlerinde ötelenme momentleri (bir sonraki paragrafı inceleyiniz) en az 1.2 ile arttırılmalıdır. Bu yöntem daha çok, büyük miktarda yanal ötelenme yapan ve/veya ötelenme karakteri tahmin edilemeyen çerçeveler için uygundur.

Birinci mertebe hesabın kullanılmasına izin verilen başka bir seçenek de “*arttırılmış ötelenme momentleri*” yöntemidir. Ötelenme momentleri ile kasıt, kat üst hizası ile alt hizası arasındaki yanal deplasman farkından kaynaklanan momentlerdir. Bunlar yatay doğrultudaki yüklemelerden oluşabileceği gibi, yapının veya yüklemenin asimetrik olmasından da ileri gelebilir. Arttırılmış ötelenme momentleri yönteminde, birinci mertebe hesapla bulunan çerçeve momentleri;

$$\frac{1}{1 - \frac{V_{sd}}{V_{cr}}} \quad (2.7)$$

oranında arttırılır. Bu oranın sayısal değeri

$$\frac{V_{sd}}{V_{cr}} = \frac{\delta}{h} \frac{V}{H} \quad (2.8)$$

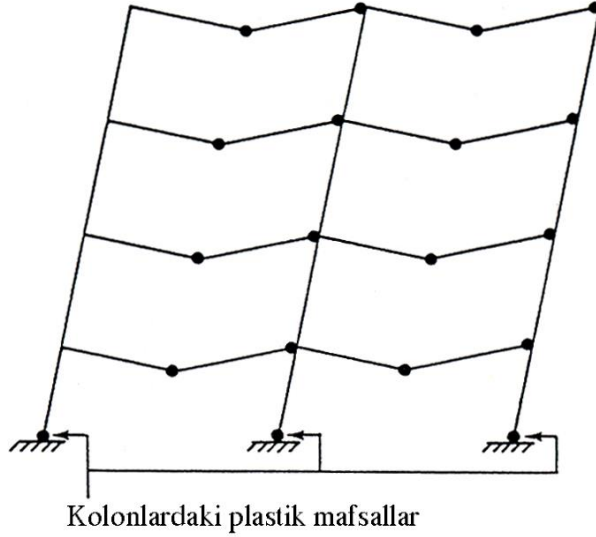
ile elde edilebilir. $\frac{V_{sd}}{V_{cr}} > 0.25$ ise yöntem kullanılmaz. Bu yöntem için ötelenmesiz burkulma moduna ait burkulma boyları ile hesap yapılabilir.

2.4.2. Yanal deplasmanı önlenmemiş çerçevelerin plastik analizi

Genelde ikinci mertebe teorisi kullanılarak elastik-plastik yöntemlere göre hesap yapılır. Buna alternatif olarak;

a) 1~2 katlı çerçevelerin kolonlarında hiç plastik mafsall oluşması beklenmiyor ya da bu çerçevelerdeki kolonlar Bölüm 2.4.3'teki şartları sağlıyorsa;

b) Yanal ötelenme yapan çok katlı çerçevelerin göçme modunda kolonların sadece temele ankastre uçlarında (bkz. Şekil 2.5) plastik mafsall oluşması ve böyle bir durumda dahi, kirişlerin dönme kapasiteleri tükendiğinde kolonlarda hala yeterli miktarda dönme kapasitesi bulunması (kısmi/eksik mekanizma) sağlanabiliyorsa;



Şekil 2.5: Rijit-plastik analiz için öngörülen mekanizma

tüm iç kuvvet ve momentlerin, $\frac{V_{sd}}{V_{cr}} \leq 0.2$ olmak şartıyla, $\frac{1}{1 - \frac{V_{sd}}{V_{cr}}}$ oranında artırıldığı

bir rijit-plastik analiz yapılabilir [3] (ikinci mertebe etkilerin indirekt kullanımı).

Plastik mafsalların etkileri dikkate alındığı sürece ötelenmesiz burkulma moduna ait burkulma boyları kullanılabilir.

2.4.3. Plastik analiz için kolon gereksinimleri

Genel olarak elastik-plastik global analizin kullanıldığı ve kolon enkesiti Sınıf 1 olduğu sürece (enkesitle ilgili diğer şartlar standartta mevcuttur) basınç kuvveti etkisindeki elemanlarda plastik mafsall oluşan yerlerde yeterli dönme kapasitesi olduğu varsayılır.

Birinci mertebe rijit-plastik analiz yapılıyorsa, plastik mafsall oluşan kolonlarda şu şartlar aranır;

$$\text{aprazlı çerçeveler için:} \quad \bar{\lambda} \leq 0.40 \sqrt{\frac{A f_y}{N_{sd}}} \quad (2.9a)$$

$$\text{aprazsız çerçeveler için:} \quad \bar{\lambda} \leq 0.32 \sqrt{\frac{A f_y}{N_{sd}}} \quad (2.9b)$$

$$\text{Burada;} \quad \bar{\lambda} = \left(\frac{\lambda}{\lambda_1} \right) \sqrt{\beta_A} = \sqrt{\frac{\beta_A A f_y}{N_{cr}}} \quad (2.10)$$

A : enkesit alanı

f_y : akma gerilmesi

N_{cr} : ilgili burkulma modundaki elastik kritik yük

λ : kolonun narinliği

(β_A ve λ_1 için Bölüm 2.8.1’e bakınız)

Yukarıdaki narinlik hesabında burkulma boyu sistem uzunluğuna eğit alınır. Birinci merteye rijit-plastik analiz yapılmığsa, bünyelerinde plastik mafsalları oluğan kolonlar narinlik hesabında kullanılan bu boylarla düzlem içinde burkulmaya göre de tahkik edilmelidir.

2.5. Stabilit aprazlı/aprazsız ereveler

Yanal ötelenmesi aprazlı bir sistemle engellenen, bağka bir deyiğle tüm yatay yükleri tek bağına aktarabildiği kabul edilen aprazlı bir sisteme sahip çerçeveler “*stabilite aprazlı*” olarak adlandırılır. Çaprazlı bir çerçevenin yatay doğrultuda tam olarak mesnetlendiği varsayılabilir. elik ereveler, yapılarındaki çaprazlar yatay deplasmanları en az %80 azaltıyorsa “aprazlı” olarak yorumlanmalıdır [3]. Çapraz sistem;

- stabilitesini sağladığı çerçeveye etkiyen yatay yükleri,
- direkt olarak aprazlı sisteme etkiyen yatay veya dğey yükleri,
- Çaprazlı sistemin kendisinden veya desteklediği çerçeveden kaynaklanan tüm kusurları (veya eğdeğer yatay kuvvetleri)

aktarabilmelidir.

Herhangi bir yapıda, bir çerçevenin tamamı veya bir kısmı (alt-çerçeve) çaprazlı sistem olarak çalıştırılıyor olabilir. Bu tür çerçevelerin yanal deplasmanı önlenmiş veya önlenmemiş olduğunun tespiti için (2.5) ifadesi kullanılırken, yapıda desteklediği tüm çerçevelere etkiyen toplam düşey yük dikkate alınır. Benzer amaçla (2.6) ifadesi kullanılırken, yapıda desteklediği tüm çerçevelere etkiyen toplam yatay ve düşey yükün yanında, kendisine ve desteklediği çerçevelere eşdeğer yatay kuvvetler şeklinde uygulanan tüm çerçeve kusurları da dâhil edilmelidir.

2.6. Çerçeve Birleşimleri

2.6.1. Bulonlu Birleşimler

Bu tür birleşimler aktarılan kuvvete ve bulon gövdesi ile delik arasındaki boşluğa bağlı olarak 4 çeşide ayrılabilir [1]:

1. SL birleşimleri: Bulon gövdesinde makaslamaya ve delik cidarında ezilmeye göre kontrol yapılır. Bulon gövdesiyle delik arasındaki boşluk, kullanılan bulon çapına bağlı olarak 1~3 mm olmaktadır.

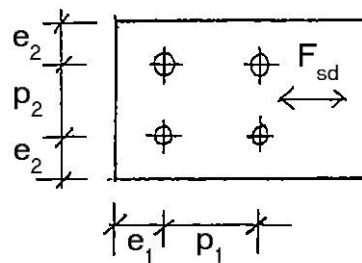
2. SLP birleşimleri: SL birleşimlerin uygun bulonla (bulon ile delik arasındaki boşluk $\leq 0.3 \text{ mm}$) yapılan türüdür.

3. GV birleşimleri: Kayma dayanımlı birleşimlerdir; yüksek mukavemetli bulonlar (8.8 , 10.9) kullanılır. Bulon gövdesiyle delik arasındaki boşluk, kullanılan bulon çapına bağlı olarak 3~8 mm olmaktadır.

4. GVP birleşimleri: GV birleşimlerin uygun bulonla yapılan türüdür.

Delik

cidarında ezilme kontrolü;



$$F_{b,Rd} = \frac{2.5 \alpha f_u d t}{1.25} \quad (2.11)$$

ile yapılır. Bu formülde geçen semboller aşağıda açıklanmıştır.

$$\alpha = \min \left(\frac{e_1}{3d_o}, \frac{p_1}{3d_o} - \frac{1}{4}, \frac{f_{ub}}{f_u}, 1.0 \right)$$

d : bulon çapı

f_u : ana malzemenin çekme dayanımı

d_o : delik çapı

f_{ub} : birleşim aracının çekme dayanımı

t : levha et kalınlığı

Bulon çapı $d \approx \sqrt{5t} - 0.2$ (cm) olmalı, aralıkları da aşağıdaki şartları sağlamalıdır:

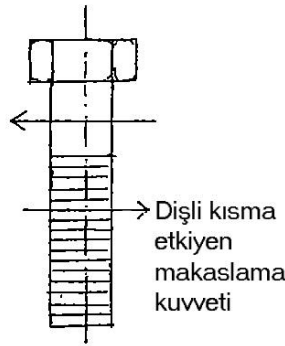
$$1.2 d_o \leq e_1 \leq \max(12t; 150 \text{ mm})$$

$$2.2 d_o \leq p_1 \leq \min(14t; 200 \text{ mm})$$

$$1.5 d_o \leq e_2 \leq \max(12t; 150 \text{ mm})$$

$$3.0 d_o \leq p_2 \leq \min(14t; 200 \text{ mm})$$

Bulon gövdesinde makaslama (bulonun dişli kısmında daha kritiktir) **kontrolü** için;



$$F_{v,Rd} = \frac{C_1 f_{ub} A_s}{1.25} \quad (2.12)$$

kullanılır. Burada;

(4.6 , 5.6 , 8.8) mukavemetine sahip bulonlar için: $C_1 = 0.6$

(4.8 , 5.8 , 6.8 , 10.9) mukavemetine sahip bulonlar için: $C_1 = 0.5$ alınır.

A_s : çekme kuvveti enkesiti olup tablolarda verilmiştir. $A_s \cong 0.86 \frac{\pi d^2}{4}$ de kullanılabilir.

Kayma dayanımlı birleşimlerde;

$$F_{s,Rd} = \frac{0.7 \mu f_{ub} A_s}{1.25} n k_s \quad (2.13)$$

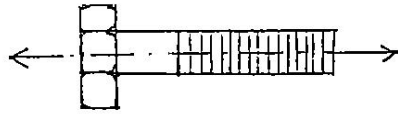
sağlanmalıdır. Formüldeki semboller şu anlama gelmektedir:

n : sürtünme oluşturulan derz sayısı,

μ : yüzeyin işlenme şekline bağlı olarak sürtünme katsayısı (EC3'te yüzeyin işlenme şekline ve kalitesine göre 4 sınıf bulunmakta ve bunlara ait sürtünme katsayıları 0.2~0.5 arasında değişmektedir),

k_s : delik büyüklüğü ve şeklinin etkisini dikkate alan bir katsayı (0.7~1.0 arasında değişmektedir; küçük değerler büyük delik boşluklarına, büyük değerler küçük delik boşluklarına karşılık gelmektedir).

Bir bulonun **eksenel çekme dayanımı** ise;



$$F_{t,Rd} = \frac{0.9 f_{ub} A_s}{1.25} \quad (2.14)$$

ile hesaplanır. Böyle bir yük durumunda ayrıca, bulon başının veya somunun zımbalama dayanımı da göz önüne alınmalıdır. Bu zımbalama dayanımı kuvveti;

$$B_{p,Rd} = \frac{0.6 \pi d_m t_p f_u}{1.25} \quad (2.15)$$

ile hesaplanabilir. Burada;

t_p : somunun ve bulonun altındaki levha kalınlığı,

d_m : somun ve bulon başının anahtar açıklığı ve köşegen boyutunun ortalamasıdır.

Bir birleşimde kuvvet doğrultusunda en sondaki bulonlar arasındaki mesafe $L_j > 15d$ ise, bulonların makaslama dayanımı $F_{v,Rd}$;

$$\beta_{Lf} = 1 - \frac{L_j - 15d}{200d} \quad (2.16)$$

ile indirgenmelidir. Bu katsayı $0.75 \leq \beta_{Lf} \leq 1.0$ olmalıdır.

Bulon eksenine doğrultusunda (çekme) ve eksenine dik (makas) kuvvetlerin aynı anda etkimesi halinde ise sağlanacak koşul şudur:

$$\frac{F_{v,sd}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,sd}}{1.4 F_{t,Rd}} \leq 1 \quad (2.17)$$

2.6.2. Kaynaklı Birleşimler

Tablo 2.2. Yaygın kaynak dikişi çeşitleri

Kaynak dikişi çeşidi	Birleşim çeşidi		
	Küt ek	T küt ek	Bindirmeli ek
Köşe kaynak			
Yarık kaynak (bindirilen parçaların burkulmasını ve/veya ayrılmasını önler)			
Tam nüfuziyetli küt kaynak	 V dikişi Çift V dikişi U dikişi Çift U dikişi	 HV dikişi Çift HV dikişi J dikişi Çift J dikişi	
Kısmi nüfuziyetli küt kaynak	 Çift Y dikişi Çift U dikişi	 Çift HY dikişi	
Nokta kaynak			

Köşe kaynakların dayanımı;

$$F_{w,Rd} = \frac{f_u a l}{\sqrt{3} \beta_w \gamma_{Mw}} \quad (\gamma_{Mw} = 1.25) \quad (2.18)$$

ile hesaplanır. Burada;

a : kaynak kalınlığı (3 mm'den daha ince, $0.7 t_{min}$ 'den daha kalın olamaz),

l : kaynak boyu,

f_u : birleşimin zayıf elemanının çekme dayanımı,

β_w : malzeme dayanımına bağlı düzeltme katsayısıdır (Fe 360 için 0.8; Fe 430 için 0.85; Fe 510 için 0.9 alınır).

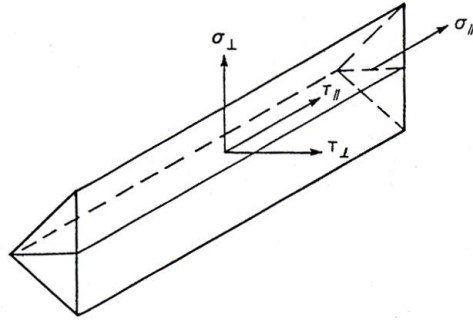
Kaynak boyunun tespitinde;

- 40 mm'den veya $6a$ 'dan daha kısa kaynak dikişleri kuvvet aktarmada ihmal edilir,
- $150a$ 'dan uzun bindirmeli eklerde kaynak boyu;

$$\beta_{Lw} = 1.2 - \frac{0.2 L_j}{150 a} \leq 1.0 \quad (2.19)$$

ile indirgenir (L_j : kuvvet doğrultusunda bindirme boyu).

Kaynak dikişi boyuna eksenine paralel ve dik kuvvetler mevcutsa veya etkiyen kuvvetler bu şekilde bileşenlere ayrılabilir, kaynak dikişindeki bileşke gerilmenin hesabı aşağıdaki gibi yapılabilir [3]:



Şekil 2.6: Kaynak dikişinde bileşke gerilmenin hesaplanması

$$\sigma_{bileşke} = \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{Mw}} \quad \text{ve} \quad \sigma_{\perp} \leq \frac{f_u}{\gamma_{Mw}} \quad (2.20)$$

Derin nüfuziyetli küt kaynak dikişlerinin, birleştirdiği parçalardan zayıf olanının dayanımına sahip olduğu kabul edilir. Ancak bunun için dikişin uygun bir elektrotla çekilmesi ve ilgili kaynak şartnamesinde verilen koşulları sağlaması istenir. Kısmi nüfuziyetli küt kaynak dikişlerinin dayanımı, köşe kaynaklarda olduğu gibi hesaplanır.

2.7. Çekme Çubukları

Çekme çubuklarında sağlanması istenen şartlar;

$$N_{sd} \leq N_{pl,Rd} = \frac{A f_y}{1.10} \quad (2.21a)$$

$$N_{sd} \leq N_{u,Rd} = 0.9 \frac{A_{net} f_u}{1.25} \quad (2.21b)$$

olarak özetlenebilir [3]. Burada;

N_{sd} : dış etkilere oluşan çekme kuvveti tasarım değeri,

$N_{pl,Rd}$: (deliksiz) brüt enkesitin plastik tasarım dayanımı,

$N_{u,Rd}$: net (birleşim bulonlu ise delikli) enkesitin sınır tasarım dayanımı (kopma dayanımı),

A_{net} : net (delikler veya küt kaynak için oyuklar mevcut) enkesit alanıdır.

Bulonları şaşırtmalı düzenlenen birleşimlerde zikzak doğrusu boyunca net enkesit alanı;

$$A_{net} = A - \left(\sum A_{delik} - n \frac{s^2 t}{4p} \right) \quad (2.22)$$

ile bulunur. Formülde;

A_{delik} : delik eksen düzleminde deliğin brüt alanı,

n : zikzak doğrusu boyunca diyagonal doğrultu sayısı,

s : çubuk eksen boyunca şaşırtmalı delikler arası mesafe,

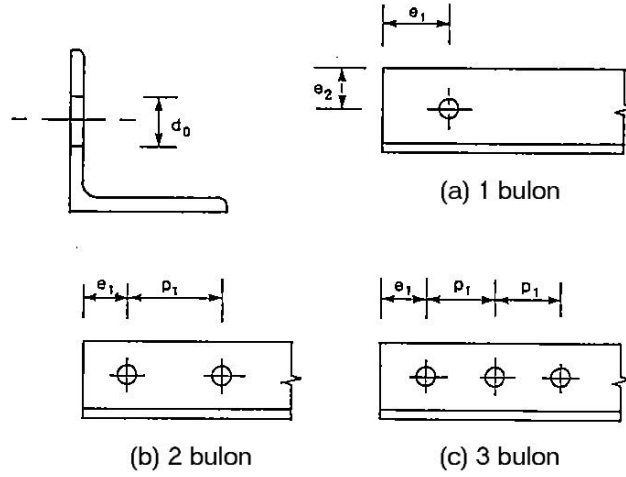
p : çubuk eksenine dik doğrultuda şaşırtmalı delikler arası mesafe,

t : malzeme et kalınlığıdır.

Simetrik olmayan (örneğin tek tarafından birleşen korniyerli) birleşimlerde; bulon sayısına ve kuvvet doğrultusundaki bulon aralıklarına (bkz. Şekil 2.7) bağlı olarak formüller değişmektedir.

Bir bulon olması halinde:

$$N_{Rd} = \frac{2(e_2 - 0.5 d_o) t f_u}{1.25} \quad (2.23a)$$



Şekil 2.7: Korniyerlerin bulonlu birleşim düzenleri

İki bulon olması halinde:

$$N_{Rd} = \frac{\beta_2 A_{net} f_u}{1.25} \quad (2.23b)$$

Üç veya daha fazla bulon olması halinde de:

$$N_{Rd} = \frac{\beta_3 A_{net} f_u}{1.25} \quad (2.23c)$$

kullanılır. Bu formüllerde;

$$\beta_2, \beta_3 : \text{düzeltme katsayılarıdır} \begin{pmatrix} 0.4 \leq \beta_2 \leq 0.7 \\ 0.5 \leq \beta_3 \leq 0.7 \end{pmatrix}.$$

2.8. Basınç Çubukları

2.8.1. Tek parçalı basınç çubukları

Eksenel basınca maruz çubuklarda burkulmaya karşı kontrol yapılır. Bunun için çubuğun eksenel kuvvet dayanımı çubuğun narinliğine bağlı olarak bir miktar indirgenir ve

$$N_{sd} \leq N_{b,Rd} = \frac{\chi \beta_A A f_y}{1.10} \quad (2.24)$$

ile enkesit dayanımı kontrol edilir. Burada;

$$\beta_A = 1 \quad (1. , 2. \text{ ve } 3. \text{ Sınıf enkesitler için}) = \frac{A_{eff}}{A} \quad (4. \text{ Sınıf enkesitler için})$$

χ : elemanın narinliğine ve burkulma gerilmesi eğrisine bağlı olarak bulunan indirgeme katsayısıdır.

Basınç çubuğunun $\lambda = \frac{l}{i}$ (l burkulma boyu olmak üzere) narinliğinin yanında,

$$\lambda_1 = \pi \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad (2.25)$$

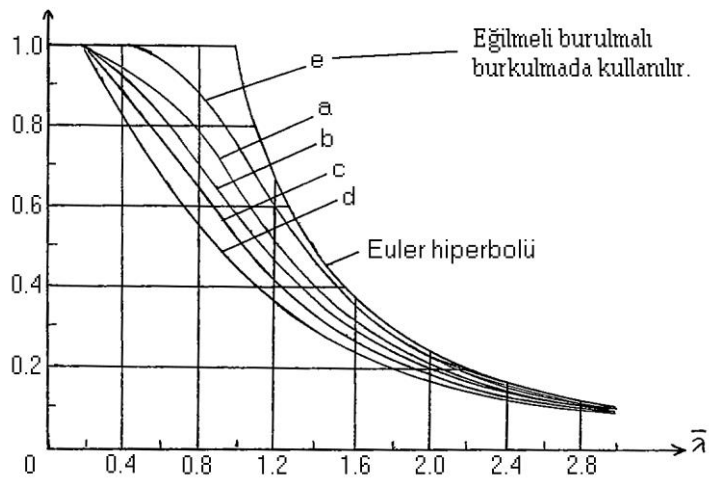
kıyaslama narinliği tanımlanmış [3] ve enkesitin şekline göre güçlü (malzemeli) ve zayıf (malzemesiz) eksenleri etrafında burkulma eğrileri (bkz. Tablo 2.3) verilmiştir.

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1} \quad (2.26)$$

oranına bağlı olarak ilgili eğriden (bkz. Şekil 2.8) χ değeri okunur. Standartta eğrilere ait sayısal değerler mevcuttur.

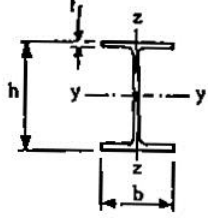
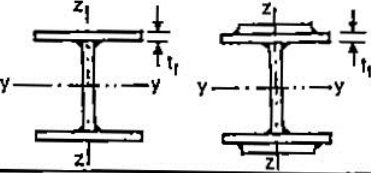
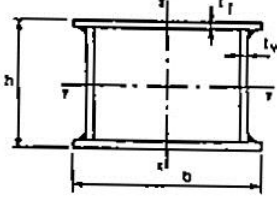
Malzemeli (güçlü) eksen: Genel olarak enkesitin atalet momentinin (dolayısıyla atalet yarıçapının) en büyük olduğu eksenidir. Buna dik doğrultudaki eksen de *malzemesiz (zayıf) eksen* olarak yorumlanabilir.

Birden fazla enkesitin birleştirilmesiyle meydana getirilen çok parçalı basınç çubuklarında ise *malzemeli eksen* çubuğu teşkil eden enkesitlerin hepsini keser; bu eksen etrafında eğilmede profiller arasında bir kayma kuvveti oluşmaz. *Malzemesiz (zayıf) eksen* bu özelliklerin tersini göstermektedir.

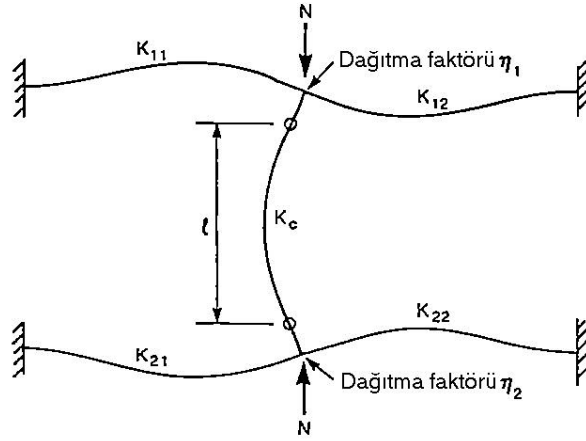


Şekil 2.8: Basınç çubukları için kullanılan burkulma gerilmesi eğrileri

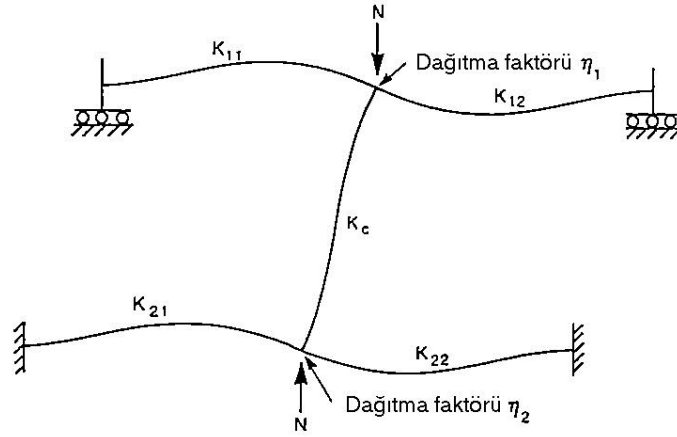
Tablo 2.3. Çeşitli kesit tipleri için burkulma gerilmesi eğrilerinin tespiti

Enkesit	Sınırlar	Kesitin, etrafında burkulduğu eksen	Burkulma eğrisi
Hadde I kesitler 	$h/b > 1,2:$ $t_f \leq 40\text{mm}$	$y - y$ $z - z$	a b
	$40\text{mm} < t_f \leq 100\text{mm}$	$y - y$ $z - z$	b c
	$h/b \leq 1,2:$ $t_f \leq 100\text{mm}$	$y - y$ $z - z$	b c
	$t_f > 100\text{mm}$	$y - y$ $z - z$	d d
Kaynaklı I kesitler 	$t_f \leq 40\text{mm}$	$y - y$ $z - z$	b c
	$t_f > 40\text{mm}$	$y - y$ $z - z$	c d
Boru ve kutu kesitler 	sıcak haddelenmiş	herhangi	a
	soğukta şekil verilmiş (f_{yb} * kullanılarak)	herhangi	b
	soğukta şekil verilmiş (f_{ya} * kullanılarak)	herhangi	c
Kaynaklı sandık kesitler 	genel olarak (aşağıdaki durumlar hariç)	herhangi	b
	kalın kaynak dikişleri ve $b/t_f < 30$ $h/t_w < 30$	$y - y$ $z - z$	c c
U-, L-, T- ve dolu kesitler 		herhangi	c

* f_{yb} çekme akma gerilmesi ve f_{ya} ortalama akma gerilmesi olup, nasıl hesaplandıkları standartta gösterilmiştir (bkz. Bölüm 5.5.1.5 – Şekil 5.5.2).



Yanal ötelenme yapmayan çerçeve



Yanal ötelenme yapan çerçeve

Şekil 2.9: Yanal ötelenme yapan ve yapmayan çerçevelere ait görsel örnekler

Çerçeve kolonlarının burkulma boyu aşağıdaki formüllerle hesaplanabilir [3].

Yanal deplasman yapan çerçeveler için:

$$\frac{l}{L} = 0.5 + 0.14(\eta_1 + \eta_2) + 0.055(\eta_1 + \eta_2)^2 \quad (2.27a)$$

$$\text{veya} \quad \frac{l}{L} = \frac{1 + 0.145(\eta_1 + \eta_2) - 0.265\eta_1\eta_2}{2 - 0.364(\eta_1 + \eta_2) - 0.247\eta_1\eta_2} \quad (2.27b)$$

Yanal deplasman yapmayan çerçeveler için ise:

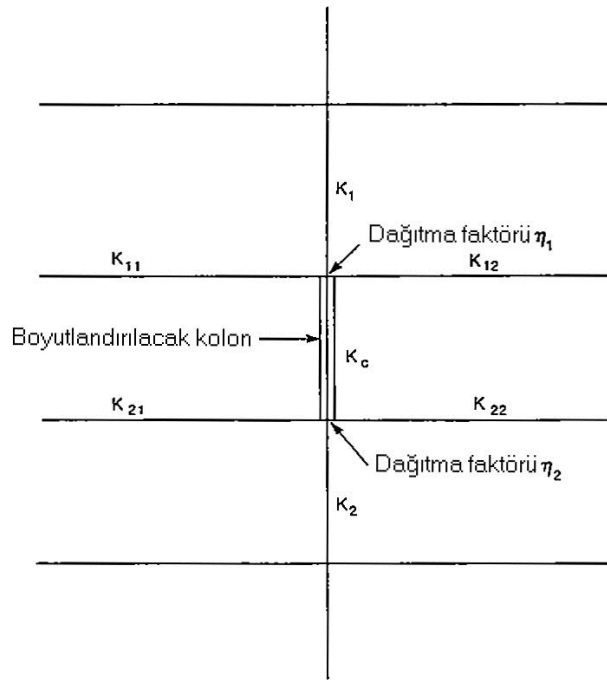
$$\frac{l}{L} = \left[\frac{1 - 0.2(\eta_1 + \eta_2) - 0.12\eta_1\eta_2}{1 - 0.8(\eta_1 + \eta_2) + 0.6\eta_1\eta_2} \right]^{0.5} \quad (2.28)$$

η_1, η_2 : burkulma boyu hesaplanacak kolon için alt ve üst ucundaki dağıtma faktörleri.

$$\eta_1 = \frac{K_c + K_1}{K_c + K_1 + K_{11} + K_{12}} \quad (2.29a)$$

$$\eta_2 = \frac{K_c + K_2}{K_c + K_2 + K_{21} + K_{22}} \quad (2.29b)$$

K : rijitlik faktörü (I/L)



Şekil 2.10: Sürekli kolonlar için dağıtma faktörleri

2.8.2. Çok parçalı basınç çubukları

Çok parçalı basınç çubukları, ok değeri $e_o = \frac{L}{500}$ 'e eşit geometrik bir başlangıç eğriliği verilerek boyutlandırılır. Malzemeli eksen etrafında burkulma güvenliği kontrolü tek parçalılarda olduğu gibi yapılır. Malzemesiz eksen etrafında ise $I_{eff} \rightarrow i_{eff}$ hesaplanmalıdır. Birbirine bağlantısı örgü çubuklarıyla teşkil edilen basınç çubukları için bu hesap şu şekilde yapılır:

$$I_{eff} = 2A_f \left(\frac{h_o}{2} \right)^2 = 0.5 h_o^2 A_f \quad (2.30a)$$

$$\rightarrow i_{eff} = \sqrt{\frac{I_{eff}}{A_f}} \quad (2.30b)$$

A_f : bir başlık çubuğunun enkesit alanı,

h_o : başlık çubuklarının ağırlık merkezleri arasındaki mesafedir.

$$M_s = \frac{N_{sd} e_o}{1 - \frac{N_{sd}}{N_{cr}} - \frac{N_{sd}}{S_v}} \quad (2.31)$$

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 E I_{eff}}{L_f^2} \quad (2.32)$$

$$\rightarrow N_{f,sd} = 0.5 N_{sd} + \frac{M_s}{h_o} \quad (2.33)$$

hesaplanır. Bu formüllerdeki sembollerin anlamları şunlardır;

M_s : e_o eğrilikten dolayı çubuk ortasında oluşan moment

L_f : başlık çubuğunun burkulma boyu (Tablo 2.4'te örnekler verilmiştir)

S_v : örgü çubuklarının kayma rijitliği (Tablo 2.5'te örnekler verilmiştir)

Basınç çubuklarında dayanım kontrolü $N_{f,sd}$ esas alınarak tek parçalı çubuklarda olduğu gibi yapılır. Örgü çubuklarının kontrolü ise;

$$V_s = \frac{\pi M_s}{l} \quad (2.34)$$

$$\rightarrow N_d = \pm \frac{V_s d}{n h_o} \quad (2.35)$$

ile yapılır. Burada;

d : örgü çubuğunun (diyagonalin) boyu,

n : paralel örgü düzlemi sayısıdır.

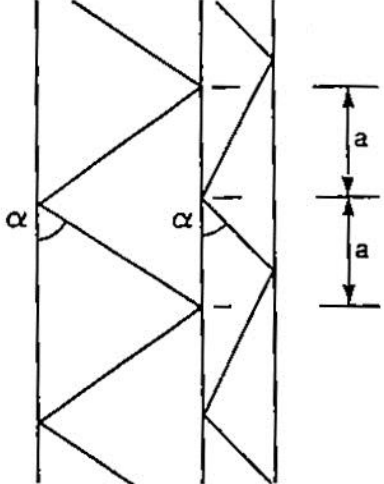
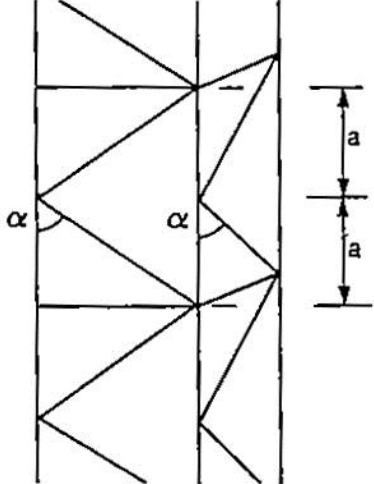
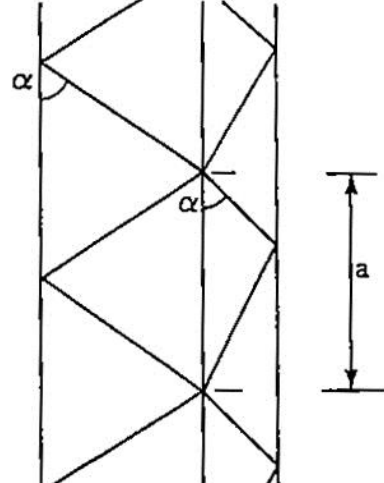
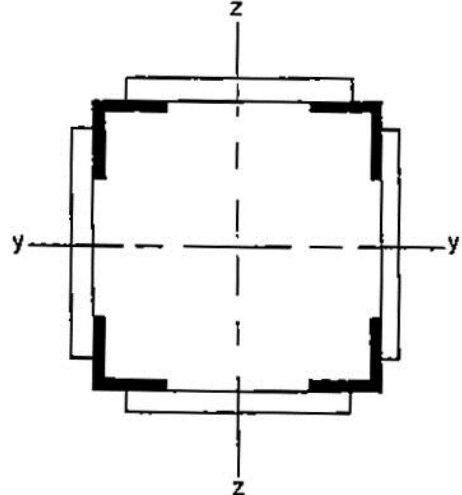
Bağlantının bağ levhalarıyla teşkil edilmesi halinde, zayıf eksen etrafında

$$I_{eff} = 0.5 h_o^2 A_f + 2 \mu I_f \quad (2.36)$$

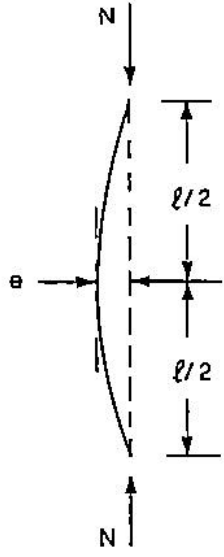
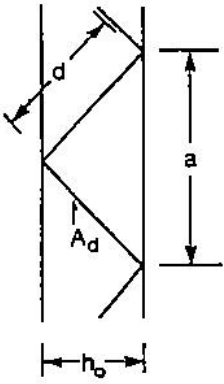
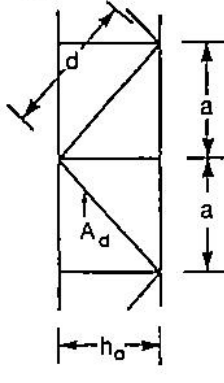
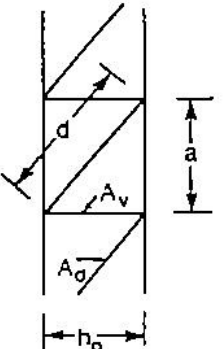
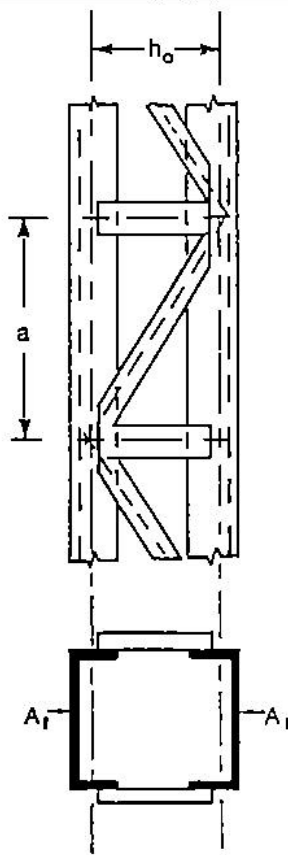
kullanılır. Burada;

I_f : bir başlık çubuğunun kendi zayıf eksenini etrafındaki atalet momentidir.

Tablo 2.4. Çeşitli örgü sistemlerinde başlık çubuğunun burkulma boyunun tespiti

 $l_1 = 1,52a$	 $l_1 = 1,28a$
 $l_1 = a$	

Tablo 2.5. Çeşitli örgü sistemlerinde örgü çubuklarının kayma rijitliğinin hesabı

	System	S_v
 $e = l/500$		$\frac{n E A_d a h_o^2}{2 d^3}$
		$\frac{n E A_d a h_o^2}{d^3}$
		$\frac{n E A_d a h_o^2}{d^3 \left[1 + \frac{A_d h_o^3}{A_v d^3} \right]}$
	n bağlantı düzlemi sayısıdır. Formüldeki A_d ve A_v değerleri tek bir düzlem için geçerlidir.	

$$i_o = \sqrt{\frac{I_1}{2 A_f}} \quad I_1 = I_{eff} \text{ } (\mu = 1 \text{ kabulüyle}) \quad (2.37)$$

Bunlara bağı olarak çubuğun narinliğinin hesabı aşağıdaki gibi başlar ve

$$\lambda = \frac{l}{i_o} \text{ olmak üzere; } \begin{aligned} \lambda \leq 75 &\Rightarrow \mu = 1 \\ 75 < \lambda < 150 &\Rightarrow \mu = 2 - \frac{\lambda}{75} \\ \lambda \geq 150 &\Rightarrow \mu = 0 \end{aligned} \quad (2.38)$$

ile verilen sınırlara göre μ yeniden belirlenir, gerekiyorsa $I_{eff} \rightarrow I_1$ değiştirilerek hesaplar tekrarlanır. (2.31) ve (2.32)'de verilen bağıntılar hesaplarda ortak olup, başlıklara etkiyen tasarım kuvveti;

$$N_{f,sd} = 0.5 \left(N_{sd} + \frac{M_s h_o A_f}{I_{eff}} \right) \quad (2.39)$$

ile bulunur. Bağ levhalarının kontrolü ise (2.34) ve (2.35) ile yapılır.

2.9. Kirişler

Kirişlerde eğilme dayanımı esas olup,

$$M_{sd} \leq M_{c,Rd} = \frac{W f_y}{1.10} \quad (2.40)$$

şartı sağlanmalıdır. Mukavemet momenti olarak;

1. ve 2. Sınıf enkesitlerde: $W = W_{pl}$
3. Sınıf enkesitlerde: $W = W_{el}$ kullanılır.
4. Sınıf enkesitlerde: $W = W_{eff}$

Eğilme etkisindeki elemanın çekme bölgesinde;

$$0.9 \frac{A_{f,net}}{A_f} \geq \frac{f_y}{f_u} \frac{1.25}{1.10} \quad (2.41)$$

sağlandığı sürece enkesitteki zayıflamaların göz önüne alınmasına gerek yoktur. A_f ve $A_{f,net}$ sırasıyla çekme bölgesinin brüt ve net enkesit alanlarıdır.

Kesme kuvveti kontrolü için;

$$V_{sd} \leq V_{pl,Rd} = \frac{A_v f_y}{\sqrt{3} \gamma_M} \quad (\gamma_M = 1.10) \quad (2.42)$$

kullanılır. Burada A_v enkesit kesme kuvveti alanıdır. Benzer şekilde;

$$\frac{A_{v,net}}{A_v} \geq \frac{f_y}{f_u} \quad (2.43)$$

olduğu sürece enkesit zayıflamasından dolayı enkesit kesme kuvveti alanında indirgeme yapılması gerekmez.

$V_{sd} \leq 0.5 V_{pl,Rd}$ olduğu sürece moment ile kesme kuvveti arasında etkileşim olmadığı kabul edilir. Aksi takdirde kesme kuvvetinden dolayı enkesitin plastik moment dayanımı indirgenmelidir. İndirgeme, kuvvetli eksen etrafında eğilen simetrik kirişlerde;

$$\rho = \left(\frac{2 V_{sd}}{V_{pl,Rd}} - 1 \right)^2 \quad (2.44a)$$

$$M_{v,Rd} = \left(W_{pl} - \frac{\rho A_v^2}{4 t_w} \right) \frac{f_y}{\gamma_M} \quad (2.44b)$$

kullanılarak, diğer hallerde enkesitin moment dayanımı $(1 - \rho) f_y$ indirgenmiş akma sınır gerilmesiyle hesaplanarak yapılır.

Birleşim bölgelerinde kiriş gövdesinde makaslama kopmasına [3] dikkat edilmelidir.

Bunun için,

$$V_{sd} \leq V_{eff,Rd} = \frac{f_y}{\sqrt{3}} \frac{A_{v,eff}}{\gamma_M} \quad (2.45)$$

koşulu sağlanmalıdır. $A_{v,eff}$ etkili makaslama alanı olup aşağıdaki gibi bulunur.

$$A_{v,eff} = t L_{v,eff} \quad L_{v,eff} = L_v + L_1 + L_2 \leq L_3 \quad (2.46a)$$

$$L_1 = a_1 \leq 5d \quad L_2 = (a_2 - k d_{o,t}) (f_u / f_y) \quad (2.46b)$$

$$L_3 = (L_v + a_1 + a_3) \leq (L_v + a_1 + a_3 - n d_{o,v}) (f_u / f_y) \quad (2.46c)$$

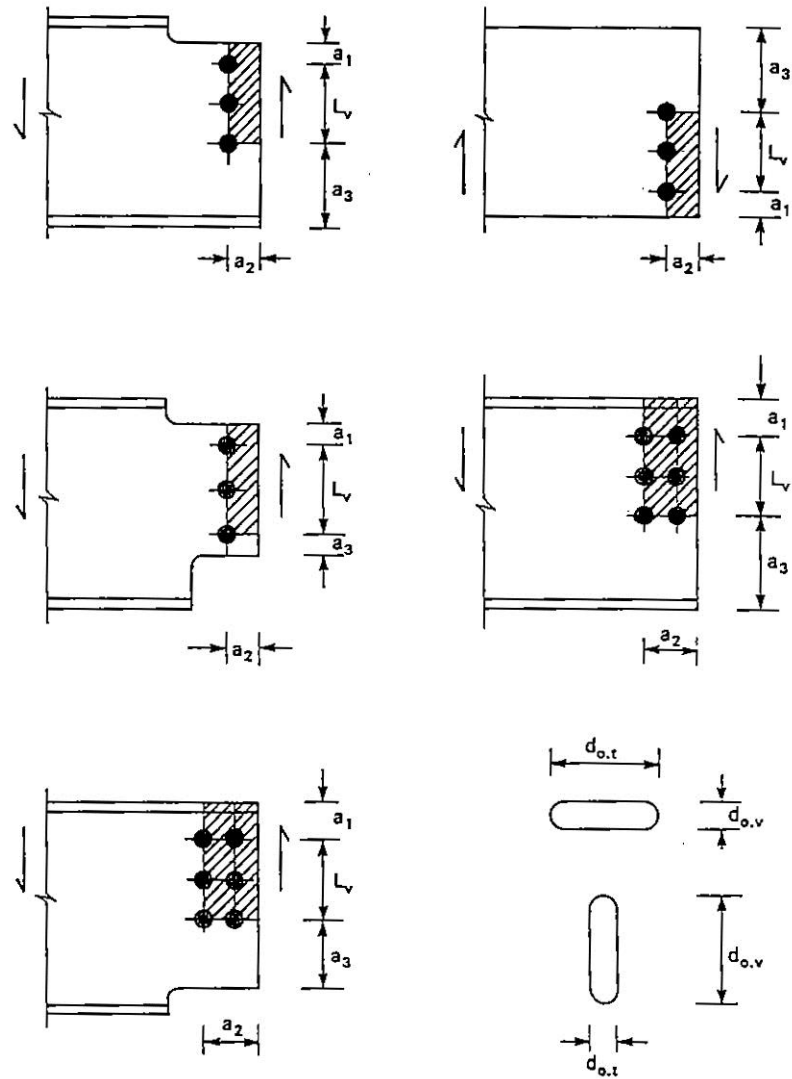
d : bulon veya perçin çapı,

t : gövde levhası veya mesnet konsolu kalınlığı,

n : makaslama bölgesinde delik sayısıdır.

k bir katsayı olup tek bulon sırası için 0.5, iki bulon sırası için 2.5 değerini alır.

Denklemlerdeki diğer semboller Şekil 2.11’de gösterilmektedir.



Şekil 2.11: Kiriş gövdesinde makaslama kopması kontrolü

Kirişlerdeki en büyük sehimin de izin verilen sınırları (bkz. Tablo 2.6) aşmamasına dikkat edilmelidir. Burada verilen semboller Şekil 2.12’de görsel olarak açıklanmış olup şu anlama gelmektedir:

$$\delta_{\max} = \delta_1 + \delta_2 - \delta_o \quad (2.47)$$

δ_{max} : mesnetleri birleştiren doğruya göre en son durumda sehim

δ_o : yüksüz durumda ters sehim

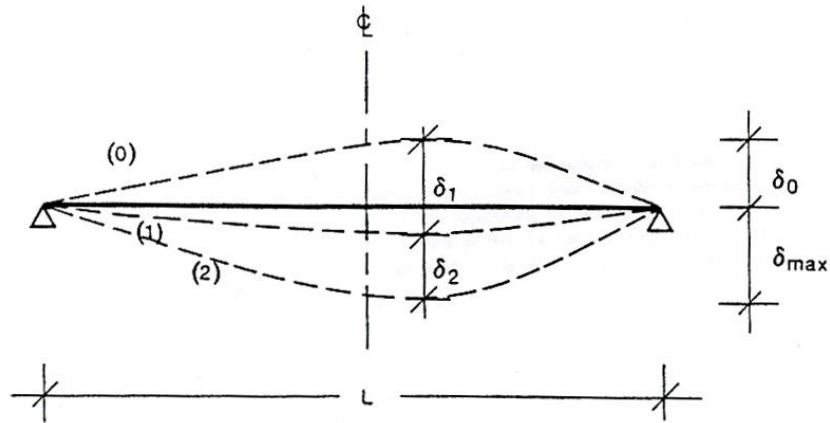
δ_1 : sabit yüklerin meydana getirdiği sehim

δ_2 : değişken yüklerden ve sabit yüklerin zamana bağlı değişiminden oluşan sehim

Konsol ucunda sehim hesaplanırken L olarak konsol boyunun iki katı alınır.

Tablo 2.6. Tavsiye edilen sehim sınırları

Önerilen Sehim Sınırları		
Durumlar	Sınırlar (bkz. Şekil 2.12)	
	δ_{max}	δ_2
Genel olarak çatılar	$L/200$	$L/250$
Bakım haricinde, insanların sıkça bulunduğu çatılar	$L/250$	$L/300$
Genel olarak döşemeler	$L/250$	$L/300$
Sıva veya gevrek malzeme ile kaplı, ya da esnek olmayan bölme duvarları taşıyan döşemeler/çatılar	$L/250$	$L/350$
Kolonların mesnetlendiği döşemeler (taşıma yükü sınır durumu için sehim analize dahil edilmemişse)	$L/400$	$L/500$
δ_{max} 'ın yapı görüntüsünü bozabileceği yerlerde	$L/250$	-



Şekil 2.12: Kirişlerde sehim kontrolü için göz önüne alınacak deplasmanlar

Çok katlı yapılar için izin verilen yatay deplasman sınırları olarak ise;

$$\text{her katta: } \frac{h}{300} \qquad \text{tüm yapıda: } \frac{h_o}{500} \qquad (2.48)$$

kullanılmaktadır [3]. Burada;

h : kat yüksekliği,

h_o : yapının tüm yüksekliğidir.

Gövde buruşması kontrolü, kirişlerin makaslamaya maruz kısımlarında yapılması gereken bir diğer kontroldür. Genel olarak düşey takviyesiz hadde profili kullanılması halinde;

$$\frac{d}{t} \leq 69 \varepsilon \quad (2.49)$$

koşulunun sağlanması yeterli olmaktadır. Burada;

t : kesmeye maruz enkesit kısmının et kalınlığı,

d : kesmeye maruz enkesit kısmının yüksekliğidir.

2.10. Normal Kuvvet ve Eğilmeye Maruz Elemanlar

Eğilmeli burkulma kontrolünde;

$$\frac{N_{sd}}{\chi_{\min} A \frac{f_y}{1.10}} + \frac{k_y M_{y,sd}}{W_y \frac{f_y}{1.10}} + \frac{k_z M_{z,sd}}{W_z \frac{f_y}{1.10}} \leq 1 \quad (2.50)$$

sağlanmalıdır (iki eksenli eğilme ve eksenel basınç mevcut ise). Burada; k_y ve k_z kısaca, elemanın geometrik özelliklerinin, narinliğinin, elemandaki moment dağılımının ve etkiyen eksenel kuvvetin fonksiyonu [3] olup $k_y, k_z \leq 1.5$ alınır. Enkesit sınıfına bağlı olarak W_y ve W_z için W_{pl} , W_{el} , W_{eff} kullanılabilir.

Eğilmeli burulmalı burkulma halinde ise;

$$\frac{N_{sd}}{\chi_z A \frac{f_y}{1.10}} + \frac{k_{LT} M_{y,sd}}{\chi_{LT} W_y \frac{f_y}{1.10}} + \frac{k_z M_{z,sd}}{W_z \frac{f_y}{1.10}} \leq 1 \quad (2.51)$$

kullanılır ($k_{LT} \leq 1.0$).

Kirişlerde yanal burulmalı burkulma dayanımı kontrolleri;

$$M_{sd} \leq M_{b,Rd} \leq \chi_{LT} M_{c,Rd} \quad (2.52)$$

ile yapılır. Bunun için;

$$\bar{\lambda}_{LT} = \pi \sqrt{\frac{E W_{y,pl}}{M_{cr}}} \quad (2.53)$$

kullanılarak ilgili burkulma gerilmesi eğrisinden χ_{LT} okunur. Burada;

$$M_{cr} = C_1 \frac{\pi^2 E I_z}{l_{LT}^2} \sqrt{\frac{\left(\frac{k}{k_w}\right)^2 I_w + 0.039 l_{LT}^2 I_t}{I_z}} \quad (2.54)$$

I_t : enkesitin burulma atalet momenti,

I_w : enkesitin çarpılma atalet momenti,

$l_{LT} = k L_{LT}$: eğilme düzlemi dışına burkulmada burkulma boyu,

L_{LT} : yanal doğrultuda tutulu noktalar arası uzunluk,

k, k_w : etkili boy katsayıları, $\begin{cases} \text{kiriş uçları dönebilir} \Rightarrow k, k_w = 1.0 \\ \text{kiriş uçları ankastre} \Rightarrow k, k_w = 0.5 \end{cases}$

C_1 : kiriş uçları sınır şartlarına ve yanal doğrultuda tutulu noktalar arasındaki moment oranına bağlı bir katsayıdır (Şekil 2.13'te grafik verilmiştir).

Eğilme momenti ve eksenel çekme kuvvetinin varlığı halinde ise çekme kuvvetinin hesap değeri $\psi = 0.8$ kombinasyon katsayısıyla indirgenir (eğilme momenti ve çekme kuvvetinin birbirinden bağımsız olarak değişmesi şartıyla). Basınca maruz kenar lifte;

$$\sigma_{com,Ed} = \frac{M_{sd}}{W_{com}} - \psi \frac{N_{t,sd}}{A} \quad (2.55)$$

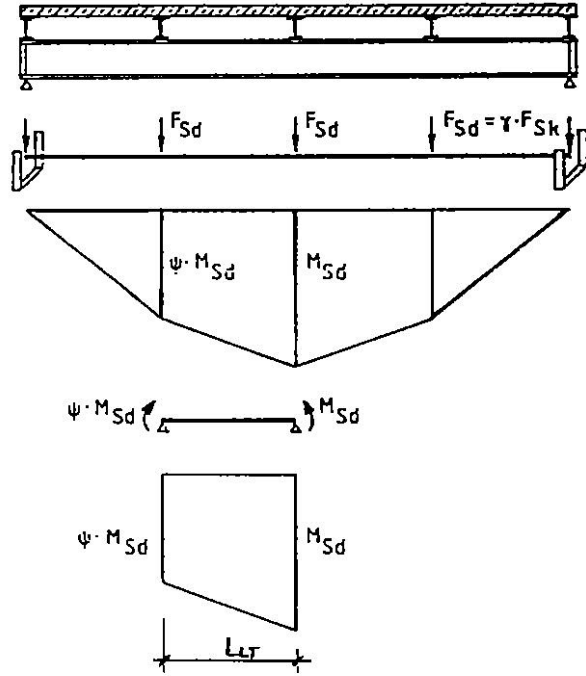
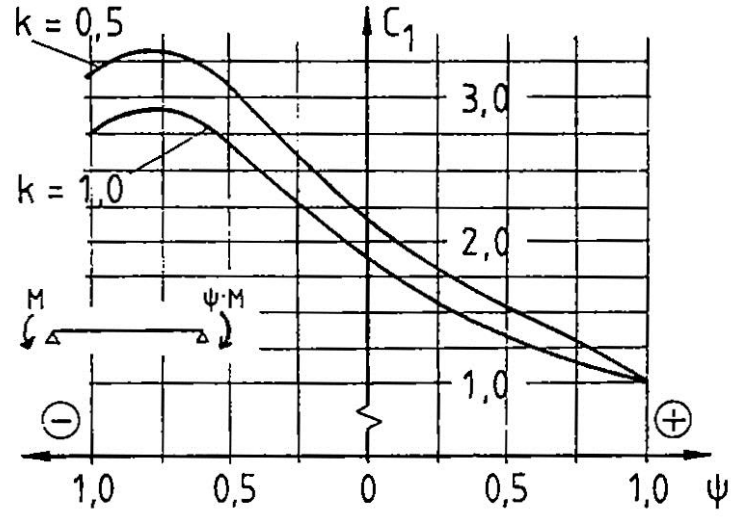
hesaplanır. Bu değer akma gerilmesini aşabilir. Formülde;

W_{com} : basınca maruz kenar life göre elastik mukavemet momenti

$N_{t,sd}$: çekme kuvvetinin tasarım değeridir.

$$M_{eff,sd} = W_{com} \sigma_{com,Ed} \leq M_{b,Rd} \quad (2.56)$$

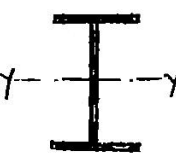
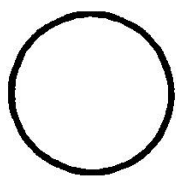
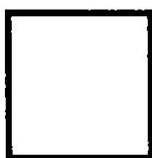
eşitliğine göre enkesitin dayanımı tahkik edilir.



Şekil 2.13: C_1 katsayısının tespiti

Çeşitli enkesit tipleri için plastik moment dayanımlarının kesme kuvveti ve eksenel kuvvetle etkileşimi sonucunda indirgenmesinde kullanılan bağıntılar Tablo 2.7’de verilmiştir. Buradaki bağıntılar, uygulama örneğinde kolonların indirgenmiş moment dayanımlarının hesaplanmasında kullanılacaktır.

Tablo 2.7. Çeşitli enkesit tipleri için eksenel kuvvet ve kesme kuvvetiyle etkileşim sonucunda plastik moment dayanımlarının indirgenmesinde yararlanılan formüller

Hadde ve kaynaklı profiller	Eksenel yükün şiddeti	$V_{Sd} \leq 0,5 V_{Rd}$	$V_{Sd} > 0,5 V_{Rd}$
	düşük	$\frac{M_{N.V.Rd}}{M_{y.Rd}} = 1,0$	$\frac{M_{N.V.Rd}}{M_{y.Rd}} = 1 - \rho$
	yüksek	$\frac{M_{N.V.Rd}}{M_{y.Rd}} = 1,11(1 - n)$	$\frac{M_{N.V.Rd}}{M_{y.Rd}} = 1,11(1 - n - \rho)$
	düşük	$\frac{M_{N.V.Rd}}{M_{z.Rd}} = 1,0$	$\frac{M_{N.V.Rd}}{M_{z.Rd}} = 1 - \rho$
	yüksek	$\frac{M_{N.V.Rd}}{M_{z.Rd}} = 1,56(1 - n)(n + 0,6)$	$\frac{M_{N.V.Rd}}{M_{z.Rd}} = 1,56(1 - n - \rho) \left(0,6 + \frac{n}{1 - \rho} \right)$
Boru ve kutu profiller		$V_{Sd} < 0,5 V_{Rd}$	$V_{Sd} > 0,5 V_{Rd}$
	$N_{Sd} \leq 0,25 N_{Rd}$	$\frac{M_{N.V.Rd}}{M_{Rd}} = 1,0$	$\frac{M_{N.V.Rd}}{M_{Rd}} = 1 - \rho$
	$N_{Sd} > 0,25 N_{Rd}$	$\frac{M_{N.V.Rd}}{M_{Rd}} = 1,04 (1 - n^{1,2})$	$\frac{M_{N.V.Rd}}{M_{Rd}} = 1,04 \left(1 - \rho - \frac{n^{1,2}}{(1 - \rho)^{0,7}} \right)$
	düşük	$\frac{M_{N.V.Rd}}{M_{Rd}} = 1,0$	$\frac{M_{N.V.Rd}}{M_{Rd}} = 1 - \rho$
	yüksek	$\frac{M_{N.V.Rd}}{M_{Rd}} = 1,26 (1 - n)$	$\frac{M_{N.V.Rd}}{M_{Rd}} = 1,26 (1 - n - \rho)$
	düşük	$\frac{M_{N.V.Rd}}{M_{y.Rd}} = 1,0$	$\frac{M_{N.V.Rd}}{M_{y.Rd}} = 1 - \rho$
	yüksek	$\frac{M_{N.V.Rd}}{M_{y.Rd}} = 1,33 (1 - n)$	$\frac{M_{N.V.Rd}}{M_{y.Rd}} = 1,33 (1 - n - \rho)$
	düşük	$\frac{M_{N.V.Rd}}{M_{z.Rd}} = 1,0$	$\frac{M_{N.V.Rd}}{M_{z.Rd}} = 1 - \rho$
	yüksek	$\frac{M_{N.V.Rd}}{M_{z.Rd}} = \frac{1 - n}{0,5 + \frac{ht}{A}}$	$\frac{M_{N.V.Rd}}{M_{z.Rd}} = \frac{1 - n - \rho}{0,5 - \frac{ht}{A}}$
Eksenel yükün şiddeti düşük $\begin{cases} N_{Sd} \leq 0,25 N_{Rd} \\ N_{Sd} \leq \frac{d t f_y}{2 V_{Mo}} \end{cases}$		Eksenel yükün şiddeti yüksek $\begin{cases} N_{Sd} > 0,25 N_{Rd} \\ N_{Sd} > \frac{d t f_y}{2 V_{Mo}} \end{cases}$	
$n = \frac{N_{Sd}}{N_{Rd}} = \frac{N_{Sd}}{\frac{A \cdot f_y}{V_{Mo}}} \quad \rho = \left(2 \frac{V_{Sd}}{V_{Rd}} - 1 \right)^2$			

3. ÇELİK ÇERÇEVELERİN PLASTİK HESABI İÇİN BİR YÖNTEM (Mazzolani – Piluso Yöntemi)

Süneklik depreme dayanıklı yapı tasarımında çok önemli bir rol oynar. Yapılar şiddetli depremlerde açığa çıkan enerjiyi bünyelerinde plastik deformasyonlar yaparak sönmüleyecek şekilde tasarlanır. Yapıda mevcut süneklik deprem halinde gerekenden fazla olduğu sürece göçmenin önlenebileceği açıktır.

Verilen bir yapı için global süneklik, belirlenmiş bir yer değiştirmenin – çerçeveler için genellikle tepe deplasmanının – göçme ve akma anındaki değerlerinin oranı olarak tanımlanmıştır. Tek serbestlik dereceli yapıların inelastik davranışı ile ilgili çok miktardaki veri, bu tanıma göre çok serbestlik dereceli yapılarda da kullanılmaya çalışılmıştır. Ancak burada kritik nokta çok serbestlik dereceli yapıların mekanizma düzenlerini belirleyen çok fazla parametre olmasıdır. Örneğin farklı mekanizma durumlarında aynı miktarda inelastik yer değiştirme elde edilebilmektedir. Ayrıca süneklik, oluşabilecek yapısal hasarın tespitinde tek başına yeterli olmamaktadır [4].

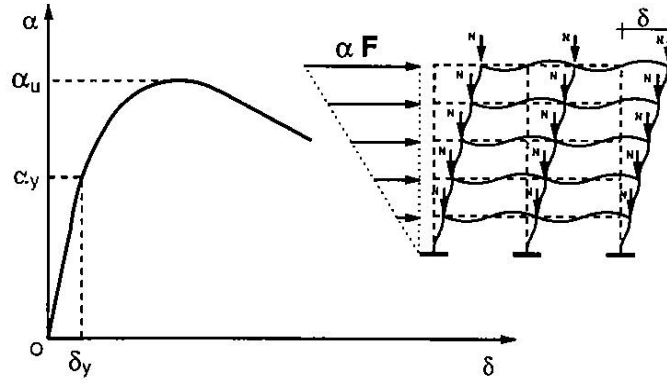
3.1. Global Düktilite İle İlgili Tanımlar

Global düktilite kavramı yapısal bir sistemin belirgin bir mukavemet kaybı olmaksızın akma gerilmesi değerinin üzerinde deformasyonlar yapabilmesi olarak tanımlanmaktadır. Süneklik kavramının fiziksel anlamının evrensel olarak tanınmış olmasına rağmen, birçok parametreye bağlılığı açıkça tanımlanmasını engellemiştir.

Sismik tasarımda esas problem, genliği bir α çarpanıyla ayarlanan bir yatay kuvvetler dağılımının seçilmesidir. Varsayılan titreşim modu sayısına bağlı olarak farklı dağılım düzenleri uygulanabilir. Yatay kuvvetler dağılımının seçiminden sonra, global süneklik tepe yatay deplasmanının (δ) göçme ve akma halindeki değerlerinin oranı şeklinde hesaplanabilir. Akma ve göçme durumları için değişik kabuller yapılabileceğinden süneklik oranının anlaşılır biçimde tanımlanması mümkün olmamıştır.

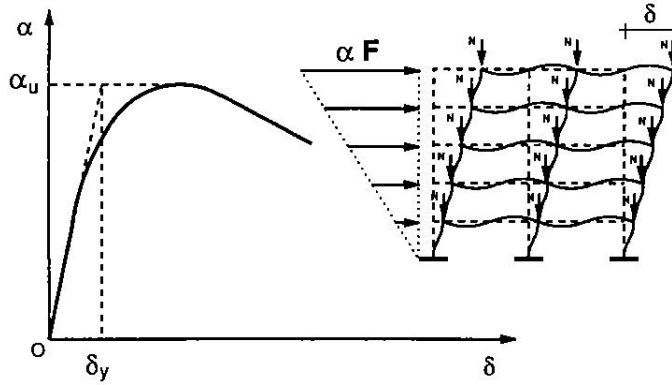
Yapıda akma halini tanımlamada kullanılabilecek bazı kabuller şunlardır:

a) Akmanın ilk oluştuğu andaki tepe yatay deplasmanı (bkz. Şekil 3.1);



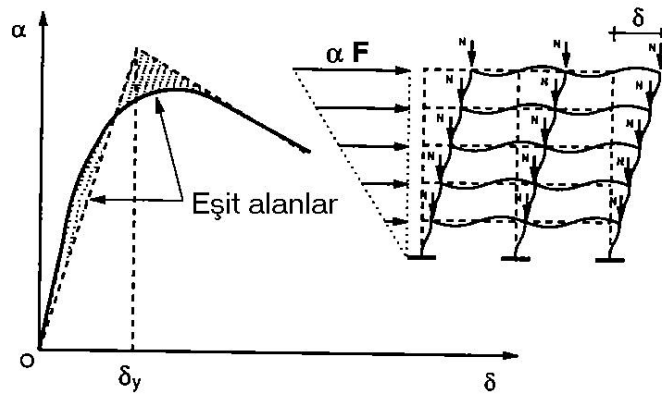
Şekil 3.1 [4]

b) Göçme yüküne eşit bir yük altındaki elastik deplasman (bkz. Şekil 3.2);



Şekil 3.2 [4]

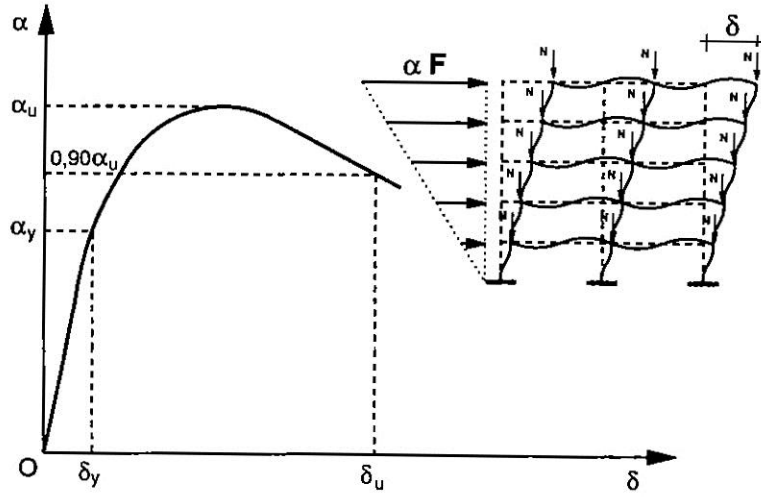
c) Enerji yutma kapasitelerinin eşitliği baz alınarak α - δ eğrisi üzerinde bilineer yaklaşımla elde edilecek bir akma deplasmanı (bkz. Şekil 3.3).



Şekil 3.3 [4]

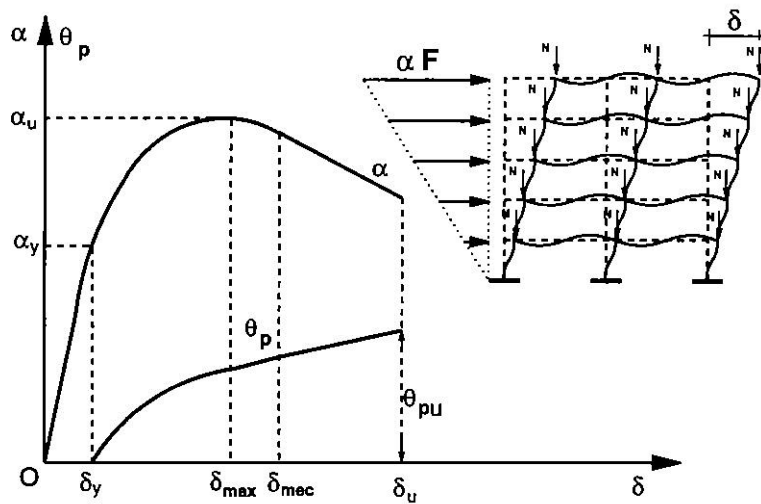
Süneklik kavramı akma noktasının ötesinde deformasyonların belirgin mukavemet kaybı olmadan gözlenebilmesi olarak tanımlandığından, göçme halindeki yer değiştirmenin belirlenmesi için de değişik seçenekler mevcuttur:

a) Yük taşıma kapasitesindeki azalmanın belli bir yüzdeye (örneğin %10) ulaştığı andaki deplasman (bkz. Şekil 3.4);



Şekil 3.4 [4]

b) Kritik plastik mafsaldaki dönme kapasitesine (R) ulaşıldığı andaki veya önceden belirlenmiş bir yerel hasara tekabül eden dönme kapasitesi sınır değerine ulaşıldığı andaki deplasman (bkz. Şekil 3.5).



Şekil 3.5 [4]

3.2. Monoton Yükleme Altındaki Yapıda Cevap Parametreleri

Verilen herhangi bir monoton yatay yükler dağılımına yapının tepkisi tam anlamıyla, *yükselen* ve *alçalan kısımlardan* oluşan α - δ davranış eğrisiyle (Şekil 3.5 kullanılabilir) açıklanabilir.

Eğrinin *yükselen* kısmı ikiye ayrılabilir. Orijinden ilk akmanın oluştuğu noktaya kadar olan kısmı elastik davranışa karşılık gelmektedir. *İlk akma* çarpanı α_y ve buna karşı gelen yer değiştirme δ_y eğrinin ikinci kısmının başladığını gösterir. Bu kısım göçme gözlenene kadar yapıda moment dağılımının değişmesinden ileri gelmektedir.

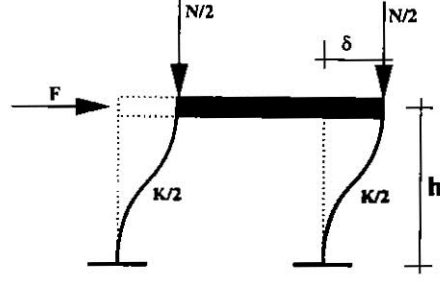
Eğrinin *alçalan* kısmı da ikiye ayrılır. Birinci kısım, yapının hala hiperstatik oluşu ve kinematik bir mekanizma görülene kadar plastik mafsalların oluşumu ile karakterize edilebilir. Bir göçme mekanizmasının oluşmasına karşılık gelen δ_{mec} deplasmanı eğrinin ikinci kısmını başlatır. Bu kısım göçme mekanizmasının türüyle ve düşey yüklerin genliğiyle çok yakından ilişkilidir. Maksimum tepe deplasmanına kritik plastik mafsaldaki maksimum dönme kapasitesi tükendiği zaman ulaşılır.

Bir yapının inelastik davranış performansını karakterize eden en önemli parametreler şu şekilde özetlenebilir:

- global süneklik oranı $\mu = \frac{\delta_u}{\delta_y}$
- moment dağılımındaki değişime ilişkin parametre $\frac{\alpha_u}{\alpha_y}$
- alçalan kısmın eğimi γ (stabilite katsayısı)
- kritik plastik mafsaldaki dönme kapasitesi R
- göçme mekanizmasının türü

Davranış eğrisinin eğim parametresini tanımlamak amacıyla göz önüne alınan sistemin denge denklemlerinden hareket edilebilir. Elastik – mükemmel plastik bir tek serbestlik dereceli sistemin, geometrik non-lineerlik de hesaba katılarak elastik bölgedeki denge denklemi şöyle yazılabilir [4]:

$$F + \frac{N \delta}{h} = K \delta \quad (3.1)$$



N : toplam düşey yük,

K : yapının yanal rijitliğidir. Plastik bölgedeki denge denklemi de;

$$F + \frac{N \delta}{h} = F_y \quad (3.2)$$

şeklinde yazılabilir. Burada F_y kesme akma mukavemetidir.

$$\gamma = \frac{N}{K h} \quad (3.3)$$

tanımı yapılarak denklem (3.1) aşağıdaki şekilde düzenlenebilir:

$$F = K \delta (1 - \gamma) \quad (3.4)$$

(3.2) eşitliğinden hareketle,

$$F = F_y - K \gamma \delta \quad (3.5)$$

denkleminin F - δ eğrisinin alçalan kısmı ifade edilebilir. Dış yük için;

$$F = \alpha F_1 \quad (3.6a)$$

$$F_1 = K \delta_1 \quad (3.6b)$$

yazılabilir. Burada;

F_1 : referans alınacak dış yükleme,

δ_1 : ikinci mertebe etkileri dikkate alınmaksızın F_1 yüklemesi altında oluşan tepe deplasmanıdır. Son bir düzenlemeyle;

$$\alpha = \frac{F_y}{K \delta_1} - \gamma \frac{\delta}{\delta_1} \quad (3.7)$$

denklemini elde edilir. Bu durumda α - δ davranış eğrisinin alçalan kısmında eğimin mutlak değeri;

$$\gamma_s = \frac{\gamma}{\delta_1} \quad (3.8)$$

olmaktadır. Denklem (3.3)'e göre γ eğim parametresi sistemin ikinci mertebe etkilere karşı hassasiyetini göstermektedir.

Sistemdeki moment dağılımının değişmesi iki sonuç doğurmaktadır [4]. Birincisi akma değerine kıyasla sistemin yük taşıma kapasitesinde artış sağlanması, ikincisi ise bütün plastik mafsalların oluşumu eşzamanlı olmadığı için bazı mafsallarda daha fazla inelastik dönme meydana gelmesidir. İkinci olay elemanların yerel sünekliğindeki sınırlamalardan dolayı erken göçmeye sebep olabilmektedir.

3.3. Global Düktiliteyi Etkileyen Parametreler

Önceki açıklamalarda da belirtildiği üzere, moment dağılımının değişmesi ve sistemin ikinci mertebe etkilere olan hassaslığının getirdiği sonuçlar değerlendirilirse şu parametrelerin mevcut global sünekliği etkilediği ortaya çıkmaktadır:

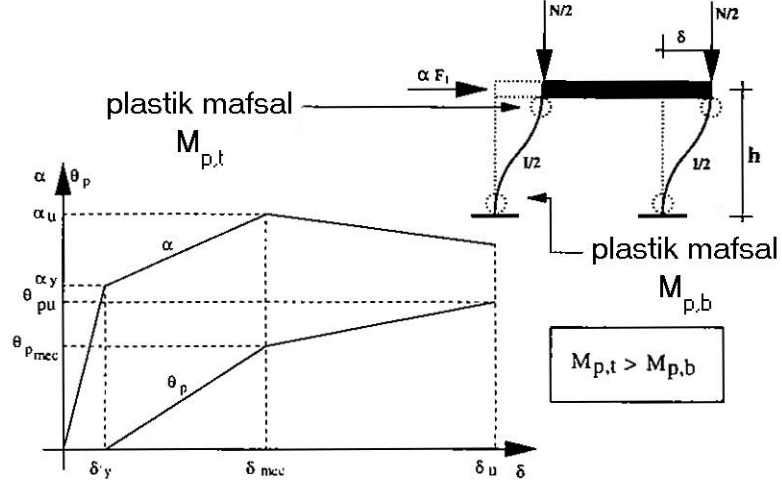
- moment dağılımındaki değişime ilişkin parametre $\frac{\alpha_u}{\alpha_y}$
- her bir elemanın dönme kapasitesi R
- stabilite katsayısı γ

Yukarıdaki parametrelerin mevcut global sünekliğe olan etkilerinin açıklanması için kullanılabilecek en basit model *Grinter çerçevesi* (bkz. Şekil 3.6) olarak anılan [4], gerçek çerçevelerdeki moment dağılımının değişimini karakterize etmesi açısından kolonların üst ve alt uçlarındaki plastik moment dayanımlarının farklı olduğu kabul edilen yapı tipidir.

İlk akmanın gerçekleştiği durum baz alınarak aşağıdaki eşitlik yazılabilir [4];

$$\alpha_y F_1 + \frac{N \delta_y}{h} = \frac{12 E I}{h^3} \delta_y \quad (3.9)$$

$$\rightarrow \delta_y = \frac{h^3}{12 E I} \left(\alpha_y F_1 + \frac{N \delta_y}{h} \right) \quad (3.10)$$



Şekil 3.6: Grinter çerçevesi

Göçme mekanizmasının oluşmasıyla denge denklemi şu hale gelir;

$$\alpha_u F_1 + \frac{N \delta_{mec}}{h} = \frac{12 E I}{h^3} \delta_y + \frac{3 E I}{h^3} (\delta_{mec} - \delta_y) \quad (3.11)$$

Denklem (3.10)'un kullanımıyla aşağıdaki eşitlik elde edilir:

$$(\delta_{mec} - \delta_y) = \frac{h^3}{3 E I} \left[(\alpha_u - \alpha_y) F_1 + \frac{N (\delta_{mec} - \delta_y)}{h} \right] \quad (3.12)$$

Kolonların alt ucundaki plastik moment dayanımının üst ucundakinden küçük olduğu varsayılarak ilk plastik mafsallar kolon alt uçlarında oluşacaktır. Yapı göçme mekanizmasına ulaştığı anda bu mafsallardaki plastik dönme;

$$\theta_{p_{mec}} = \frac{h^2}{2 E I} \left[(\alpha_u - \alpha_y) F_1 + \frac{N (\delta_{mec} - \delta_y)}{h} \right] \quad (3.13)$$

ile verilir. Düşey yüklerin kritik elastik çarpanının

$$\alpha_{cr} = \frac{N_{cr}}{N} = \frac{\pi^2 E I}{N h^2} \quad (3.14)$$

olarak tanımlanmasıyla denklem (3.12) şu şekli alır;

$$(\delta_{mec} - \delta_y) = \frac{h^3 F_1}{3 E I} (\alpha_u - \alpha_y) \frac{1}{1 - \frac{\pi^2}{3 \alpha_{cr}}} \quad (3.15)$$

Denklem (3.10) ve (3.14) kullanılarak;

$$\frac{h^3 F_1}{3 E I} = \frac{4 \delta_y}{\alpha_y} \left(1 - \frac{\pi^2}{12 \alpha_{cr}} \right) \quad (3.16)$$

elde edilir. Böylece (3.15) şu hale gelir;

$$(\delta_{mec} - \delta_y) = 4 \frac{\alpha_u - \alpha_y}{\alpha_y} \delta_y \frac{1 - \frac{\pi^2}{12 \alpha_{cr}}}{1 - \frac{\pi^2}{3 \alpha_{cr}}} \quad (3.17)$$

(3.16) ve (3.17) kullanılarak (3.13) denklemi de şu şekilde düzenlenebilir;

$$\theta_{P_{mec}} = 6 \frac{\alpha_u - \alpha_y}{\alpha_y} \frac{\delta_y}{h} \frac{1 - \frac{\pi^2}{12 \alpha_{cr}}}{1 - \frac{\pi^2}{3 \alpha_{cr}}} \quad (3.18)$$

Kolon alt uçlarındaki plastik mafsalların maksimum dönme miktarı θ_{P_u} ile gösterilirse maksimum tepe deplasmanı;

$$\delta_u = \delta_y + (\delta_{mec} - \delta_y) + (\theta_{P_u} - \theta_{P_{mec}}) h \quad (3.19)$$

olarak yazılabilir. (3.17) ve (3.18) kullanıldığında bu denklem;

$$\delta_u = \delta_y - 2 \left(\frac{\alpha_u}{\alpha_y} - 1 \right) \delta_y f(\alpha_{cr}) + \theta_{P_u} h \quad (3.20)$$

halini alır. Formülde geçen fonksiyon;

$$f(\alpha_{cr}) = \frac{1 - \frac{\pi^2}{12 \alpha_{cr}}}{1 - \frac{\pi^2}{3 \alpha_{cr}}} \quad (3.21)$$

olarak tanımlıdır. Böylelikle mevcut global süneklik;

$$\mu = \frac{\delta_u}{\delta_y} = 1 - 2 \left(\frac{\alpha_u}{\alpha_y} - 1 \right) f(\alpha_{cr}) + R \quad (3.22)$$

şeklinde yazılabilir. Burada

$$R = \frac{\theta_{P_u} h}{\delta_y} \quad (3.23)$$

kolon alt uçlarındaki plastik mafsalların dönme kapasitesidir. Basitleştirilmiş model için,

$$\gamma = \frac{N}{K h} = \frac{\pi^2}{12 \alpha_{cr}} \quad (3.24)$$

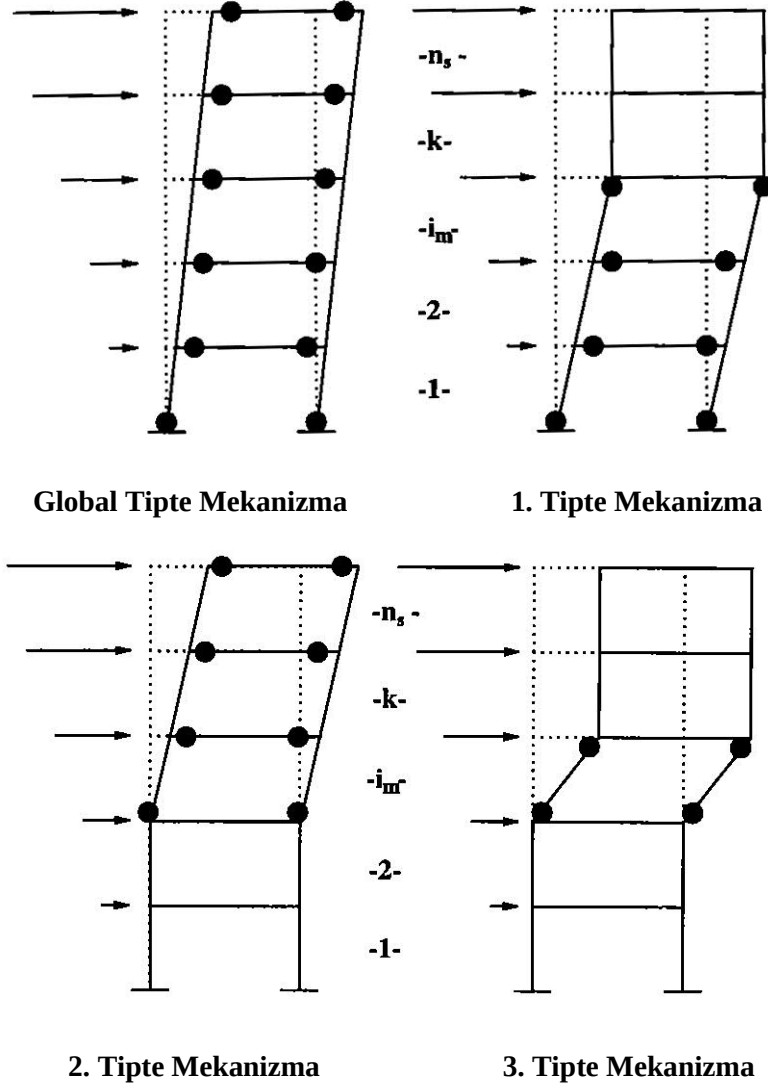
yazılarak (3.22) denklemi şöyle düzenlenebilir;

$$\mu = 1 - 2 \left(\frac{\alpha_u}{\alpha_y} - 1 \right) \frac{1 - \gamma}{1 - 4 \gamma} + R \quad (3.25)$$

Bu son denkleme göre; çerçevenin ikinci mertebe etkilere olan hassasiyeti (γ ile gösterilmektedir) ve moment dağılımındaki değişim kapasitesi ($\frac{\alpha_u}{\alpha_y}$ ile gösterilmektedir) arttıkça global süneklik azalmakta, buna karşılık sistemi oluşturan elemanların plastik mafsallardaki dönme kapasitesi (yerel süneklik) arttıkça global süneklik artmaktadır. Ancak çok katlı yapılar için (3.24) ifadesi geçerliliğini kaybetmekte, γ ve R değerleri göçme mekanizmasının tipinden oldukça etkilenmektedir.

3.4. Göçme Mekanizmasının Stabilité Katsayısına Etkisi

Moment taşıyan çerçevelerin sismik yatay yükler altında göçme mekanizmalarının üç ana tipte olduğu varsayılabilir (bkz. Şekil 3.7). Global tipteki göçme mekanizması da 2. tip mekanizmanın özel bir türü olarak yorumlanabilir.



Şekil 3.7: Yapılarda gözlemlenebilecek göçme mekanizması türleri

Sistemdeki yatay tasarım kuvvetleri vektörü [4];

$$\{F\}^T = \{F_1, F_2, \dots, F_k, \dots, F_{n_s}\} \quad (3.26)$$

olarak verilmiş olsun. Burada F_k k 'ninci kata etkiyen yatay kuvvet ve n_s kat sayısıdır. Kat yükseklikleri vektörü;

$$\{h\}^T = \{h_1, h_2, \dots, h_k, \dots, h_{n_s}\} \quad (3.27)$$

olsun. Burada h_k k 'ninci katın yerden yüksekliğidir. Katlardaki düşey yükler vektörü de;

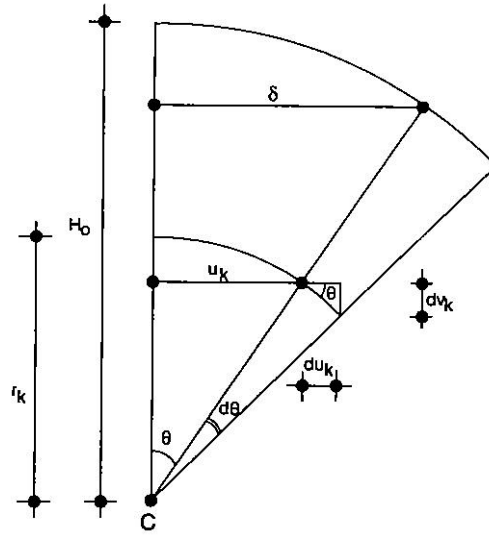
$$\{V\}^T = \{V_1, V_2, \dots, V_k, \dots, V_{n_s}\} \quad (3.28)$$

olsun. Burada da V_k k 'nıncı kattaki toplam düşey yüküdür. Bu yüklerin çerçevenin düğüm noktalarında yoğunlaştığı kabul edilmiştir. Virtüel iş teoremi yardımıyla, en genel halde göçme mekanizmasına ait denge denklemi [4],

$$\alpha \{F\}^T \{du\} + \{V\}^T \{dv\} = \{M_p\}^T \{d\theta\} \quad (3.29)$$

olarak yazılabilir. Burada;

- α yatay yüklemenin çarpanı,
- $\{du\}$ ilgili mekanizmaya ait virtüel yatay yer değiştirmelerin vektörü,
- $\{dv\}$ ilgili mekanizmaya ait virtüel düşey yer değiştirmelerin vektörü,
- $\{d\theta\}$ ilgili mekanizmaya ait plastik mafsallardaki virtüel dönmelerin vektörü,
- $\{M_p\}$ ilgili mekanizmanın plastik mafsallarındaki plastik momentlerin vektörüdür.



Şekil 3.8: Yatay ve düşey virtüel yer değiştirmeler

Şekil 3.8'den de takip edilebileceği gibi en genel mekanizma halinde k 'nıncı kattaki yatay yer değiştirme

$$u_k = r_k \sin \theta \quad (3.30)$$

olarak yazılabilir. Bu eşitlikte r_k k 'nıncı katın C dönme merkezinden uzaklığı, θ dönme açısıdır. Bu durumda tepe katındaki yatay yer değiştirme

$$\delta = H_0 \sin \theta \quad (3.31)$$

olmaktadır. Burada H_0 mekanizmaya dâhil olan katların kat yükseklikleri toplamıdır. Düşey ve yatay virtüel yer değiştirmeler arasındaki ilişki yaklaşık olarak,

$$dv_k = du_k \sin \theta \quad (3.32)$$

olduğuna göre, $\frac{dv_k}{du_k}$ oranı dikkate alınan kattan bağımsızdır. Gerçekte virtüel yatay yer değiştirmeler,

$$du_k = r_k d\theta \quad (3.33)$$

olmakta; virtüel düşey yer değiştirmeler de benzer yaklaşımla,

$$dv_k = \frac{\delta}{H_0} r_k d\theta \quad (3.34)$$

olarak verilmektedir. Dolayısıyla yatay ve düşey yer değiştirmeler aynı r_k şekline sahip olmaktadır [4] (r_k virtüel yatay yer değiştirme vektörünün şeklini tanımlamaktadır). Sonuç olarak; $\{I\}$ birim vektör, $\{s\}$ yatay yer değiştirmelerin şekil vektörü olmak üzere, sistemdeki tüm plastik mafsallar aynı virtüel dönmeye maruz kaldıklarından;

$$\{du\} = \{s\} d\theta \quad (3.35a)$$

$$\{dv\} = \frac{\delta}{H_0} \{s\} d\theta \quad (3.35b)$$

$$\{d\theta\} = \{I\} d\theta \quad (3.35c)$$

yazılabilir. Böylece denklem (3.29)'dan

$$\alpha = \frac{\{M_p\}^T \{I\}}{\{F\}^T \{s\}} - \frac{\{V\}^T \{s\}}{\{F\}^T \{s\}} \frac{1}{H_0} \delta \quad (3.36)$$

elde edilir. Bu denklem de;

$$\alpha = \alpha_0 - \gamma_s \delta \quad (3.37)$$

olarak basitleştirilebilir. Burada α_0 genel haldeki göçme mekanizması için, malzemenin rijit-plastik davranışı kabulüne göre limit tasarım teorisi esas alınarak yatay kuvvetler için belirlenebilecek en uygun kinematik çarpandır. Eşitlikte geçen γ_s ise α - δ davranış eğrisinin alçalan kısmında eğimin mutlak değeridir. Bu iki kavram aşağıdaki tanımlamalar dikkate alınarak açık şekilde yazılacaktır.

- n_s toplam kat sayısıdır,
- n_c kattaki toplam kolon sayısıdır,
- n_b kattaki toplam açıklık (kiriş) sayısıdır,
- k kat indisidir,
- i kolon indisidir,
- j açıklık (kiriş) indisidir,
- i_m mekanizma indisidir,
- $M_{c,ik}$ eksenel kuvvetin varlığı altında k 'ninci kat i 'ninci kolonun indirgenmiş plastik moment dayanımıdır,
- $M_{b,jk}$ k 'ninci kat j 'ninci kirişin plastik moment dayanımıdır,
- $\alpha^{(g)}$ ve $\gamma_s^{(g)}$ sırasıyla global tip mekanizmaya karşılık gelen, yatay yükleme çarpanı (rijit-plastik teoriye göre) ve α - δ davranış eğrisinin alçalan kısmındaki eğim değeridir,
- $\alpha_{i_m}^{(t)}$ ve $\gamma_{s i_m}^{(t)}$ önceki sembollerle aynı anlamı taşır, sadece t 'ninci tip ($t = 1 \sim 3$) i_m 'ninci kat mekanizmasına karşılık gelir.

Global tipte mekanizma halinde yatay deplasmanların şekil vektörü $\{s\} = \{h\}$ ve tüm katlar mekanizmaya dâhil edildiğinden $H_0 = h_{n_s}$ olmaktadır. Buna göre [4];

$$\alpha^{(g)} = \frac{\sum_{i=1}^{n_c} M_{c,i1} + \sum_{k=1}^{n_s} \left(\sum_{j=1}^{n_b} 2 M_{b,jk} \right)}{\sum_{k=1}^{n_s} F_k h_k} \quad (3.38)$$

$$\gamma_s^{(g)} = \frac{\frac{1}{h_{n_s}} \sum_{k=1}^{n_s} V_k h_k}{\sum_{k=1}^{n_s} F_k h_k} \quad (3.39)$$

Birinci tipte i_m 'ninci mekanizma için yatay yer değiştirmelerin şekil vektörü $\{s\}^T = \{h_1, h_2, h_3, \dots, h_{i_m}, \dots, h_{i_m}\}$ ve $H_0 = h_{i_m}$ olmaktadır. Böylece;

$$\alpha_{i_m}^{(1)} = \frac{\sum_{i=1}^{n_c} M_{c,i1} + \sum_{k=1}^{i_m-1} \left(\sum_{j=1}^{n_b} 2 M_{b,jk} \right) + \sum_{i=1}^{n_c} M_{c,ii_m}}{\sum_{k=1}^{i_m} F_k h_k + h_{i_m} \sum_{k=i_m+1}^{n_s} F_k} \quad (3.40)$$

$$\gamma_{s i_m}^{(1)} = \frac{\frac{1}{h_{i_m}} \left(\sum_{k=1}^{i_m} V_k h_k + h_{i_m} \sum_{k=i_m+1}^{n_s} V_k \right)}{\sum_{k=1}^{i_m} F_k h_k + h_{i_m} \sum_{k=i_m+1}^{n_s} F_k} \quad (3.41)$$

İkinci tipte i_m 'ninci mekanizma için yatay yer değiştirmelerin şekil vektörü $\{s\}^T = \{0, 0, 0, \dots, 0, h_{i_m} - h_{i_m-1}, h_{i_m+1} - h_{i_m-1}, \dots, h_{n_s} - h_{i_m-1}\}$ ve $H_0 = h_{n_s} - h_{i_m-1}$ olur.

$$\alpha_{i_m}^{(2)} = \frac{\sum_{i=1}^{n_c} M_{c,ii_m} + \sum_{k=i_m}^{n_s} \left(\sum_{j=1}^{n_b} 2 M_{b,jk} \right)}{\sum_{k=i_m}^{n_s} F_k (h_k - h_{i_m-1})} \quad (3.42)$$

$$\gamma_{s i_m}^{(2)} = \frac{\frac{1}{h_{n_s} - h_{i_m-1}} \sum_{k=i_m}^{n_s} V_k (h_k - h_{i_m-1})}{\sum_{k=i_m}^{n_s} F_k (h_k - h_{i_m-1})} \quad (3.43)$$

Son olarak üçüncü tipte i_m 'ninci mekanizma için yatay yer değiştirmelerin şekil vektörü de $\{s\}^T = \{0, 0, 0, \dots, 0, 1, 1, \dots, 1\} (h_{i_m} - h_{i_m-1})$ ve $H_0 = h_{i_m} - h_{i_m-1}$ olur.

$$\alpha_{i_m}^{(3)} = \frac{2 \sum_{i=1}^{n_c} M_{c,ii_m}}{(h_{i_m} - h_{i_m-1}) \sum_{k=i_m}^{n_s} F_k} \quad (3.44)$$

$$\gamma_{s i_m}^{(3)} = \frac{\sum_{k=i_m}^{n_s} V_k}{(h_{i_m} - h_{i_m-1}) \sum_{k=i_m}^{n_s} F_k} \quad (3.45)$$

3.5. Global Düktilitenin Hesaplanması

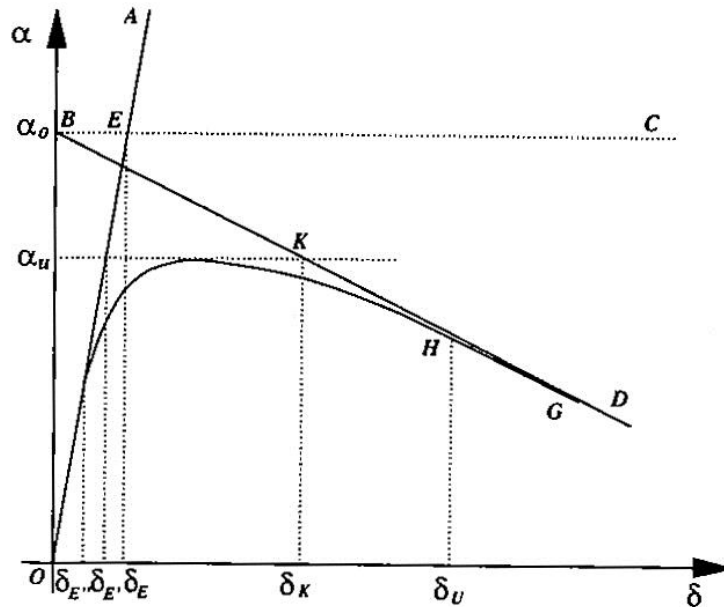
3.5.1. Statik inelastik analizle

Hem geometrik non-lineerlik, hem de malzeme non-lineerliğinin hesaba katıldığı bir statik analiz, α - δ davranış eğrisinin tam olarak elde edilmesini sağlayacağından, mümkün olan en iyi sonucu veren tek hesap yöntemidir. Ancak bu yöntem oldukça komplike hesaplar gerektirdiği için tasarım aşamasında uğraştırıcı olmakta ve basitleştirilmiş yöntemlere ihtiyaç duyulmaktadır.

3.5.2. Mekanizma eğrisi yöntemiyle

Şekil 3.9'da genel bir mekanizma eğrisi verilmiştir. Eğrinin OA ve BD kısımları şu adımlarla elde edilir [4]:

- OA arası için lineer-elastik hesap yapılarak yük çarpanıyla tepe deplasmanı arasındaki ilişki bulunur;
- BD arası için mekanizma tipine bağlı olarak $\alpha = \alpha_0 - \gamma_s \delta$ denkleminden yararlanılır. γ_s BD doğrusunun mutlak değerce eğimini verecektir.



Şekil 3.9: Mekanizma eğrisi

Rijit – plastik sınır çarpanı α_0 'a karşı gelen bir yükleme altındaki lineer – elastik tepe deplasmanı δ_E ile δ_K arasında $\delta_K = 2.5 \delta_E$ ilişkisinin olduğu [4] kabulüyle K noktası,

dolayısıyla gerçek α - δ davranış eğrisine ait en büyük yük çarpanı α_u yeterli doğrulukla tesbit edilir.

İhtiyaç halinde α_u 'ya karşı gelen yükleme altındaki tepe deplasmanı $\delta_{E'}$ veya ilk akmadaki tepe deplasmanı $\delta_{E''}$ de belirlenebilir. En büyük tepe deplasmanı yük taşıma kapasitesindeki belli miktardaki azalmaya karşı gelen değer olarak kabul edilmişse, δ_u bu eğri yardımıyla kolayca elde edilebilir.

3.5.3. Yaklaşık formüllerle

Değişik araştırmacılar tarafından farklı derecelerde doğrulukla önerilmiş formüller arasından

$$\mu = 1 - 2 \left(\frac{\alpha_u}{\alpha_y} - 1 \right) + \psi R \quad (3.46)$$

ifadesi tatmin edici sonuçlar vermektedir [4]. Burada ψ kolon-kiriş rijitlik oranına ve yükseklik boyunca kolon rijitliğinin dağılımına bağlı bir katsayıdır. Ortalama olarak $\frac{2}{3}$ alınabilir.

3.6. Göçme Modunun Kontrolü

Modern sismik tasarım normlarında evrensel olarak tanınan

$$\sum M_{R,c} > \sum M_{R,b} \quad (3.47)$$

şartının sağlanması değişik yorumlamalar ve kriterlerle gerekli görülmektedir. Bu şart, kolon-kiriş birleşim noktalarında kolon eğilme rijitliklerinin kirişlerinkinden fazla olması gerektiği anlamına gelir.

Değişik şartnamelerde öngörülen kuralların ışığında, statik inelastik analiz yapılarak çelik çerçevelerin elastik olmayan yapı davranışı incelenmiş; çok çeşitli yapısal şemaların analiz sonucu α - δ davranış eğrileri ve akma düzenleri belirlenerek aşağıdaki bulgulara varılmıştır [4]:

- Kolon eğilme momentlerinin büyütülmesi esasına dayanan tasarım yöntemleri yapıların global mekanizma ile göçmesini sağlamada yetersizdir.

- Global modda göçme mekanizmasının meydana gelmiş olması, ön tasarımda alınan q -faktöründen (düktilite faktörü) daha büyük değerler elde edilmesi için yeterli bir şart değildir.
- Kolonların uçlara doğru kesitlerinin azaltılması veya arttırılması global tipte göçme mekanizmasının oluşumunu engellemektedir.

Global mekanizma ile göçen bir çerçeve tasarlamak için; kolon enkesitleri, global tipte mekanizmaya karşı gelen yatay yükleme çarpanı diğer mekanizmalarınkinden küçük olacak şekilde seçilmelidir. Başka bir deyişle denklem (3.36) ve (3.37) esas alınarak;

$$\alpha_o^{(g)} - \gamma_s^{(g)} \delta \leq \alpha_{oi_m}^{(t)} - \gamma_{si_m}^{(t)} \delta \quad i_m = 1 \sim n_s \quad \text{ve} \quad t = 1 \sim 3 \quad (3.48)$$

şartının sağlanmasına dikkat edilmelidir. (3.38)'den (3.45)'e kadar olan ifadeler yardımıyla global tip haricindeki diğer her mekanizma türünden kaçınmak için gerekli koşullar açık olarak düzenlenebilir. Buna göre n_s katlı bir çerçeve için $3n_s$ adet kıyaslama yapılmalıdır.

Ayrıca, i_m 'inci kat kolonları indirgenmiş plastik momentleri toplamının birinci kat kolonlarıninkine oranı için;

$$\rho_{i_m} = \frac{\sum_{i=1}^{n_c} M_{c,ii_m}}{\sum_{i=1}^{n_c} M_{c,i1}} \quad (3.49)$$

“teknolojik koşul” tanımlaması yapılabilir [4]. Kolon kesitleri;

$$\begin{aligned} \rho_{i_m} &= \max \left\{ \rho_{i_m}^{(t)} \right\} \quad t = 1, 2, 3 \\ \rho_1 &\geq \rho_2 \geq \rho_3 \geq \dots \geq \rho_{n_s} \end{aligned} \quad (3.50)$$

şartları sağlanacak şekilde düzenlenmelidir.

Kolonların plastik mukavemet momentlerinin hesabı için göçme anındaki eksenel kuvvetlere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu kuvvetler ise; göçme anında kirişlerdeki kesme kuvvetlerinin, düşey yüklemeye ve kiriş uçlarındaki plastik mafsallara etkiyen plastik momentlere bağlı olduğu gerçeğinden hareketle bulunabilir [4].

3.7. Dönme Kapasitesi ve Maksimum Ötelenmenin Hesaplanması

Kinematikçe en uygun yatay yükleme çarpanının hesaplanmasında, global mekanizma gerçekleştiği zaman yapının yaptığı ötelenme çok önemli bir detaydır. Bu ötelenme değeri, kirişlerin plastik dönme kapasitesinden başlanarak;

$$\delta = \theta_{p_u} h_{n_s} \quad (3.51)$$

ile elde edilebilir [4]. Burada θ_{p_u} kirişlerdeki en büyük dönme miktarıdır.

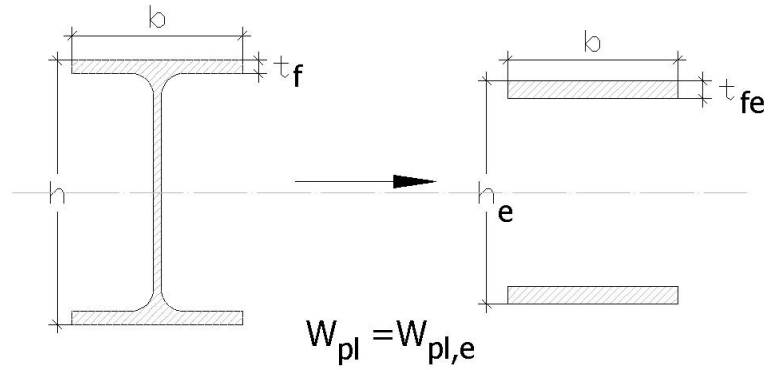
Bir göçme mekanizmasının tam anlamıyla meydana gelebilmesi için, enkesitlerin, eğilme dayanımını yitirmeden yeterli derecede dönme yapabilmesi gerekir. Çelik yapı elemanlarında yerel burkulmalar dönme kapasitesini önemli ölçüde azaltmaktadır. Dolayısıyla enkesitlerin geometrik özellikleri burkulmadan önce plastikleşmeye elverişli olmalıdır. Araştırmacılar [5], plastik tasarıma uygun bir enkesitin pekleşme gerçekleşmeden burkulmaması gerektiğini ortaya koymuşlardır. Buna ek olarak, çeşitli araştırmacıların deneyleri sonucunda enkesitin yerel burkulmadan sonra bile önemli bir miktar plastik deformasyon yapabildiği görülmüştür [5]. Dolayısıyla, burkulma sonrası davranışı bir enkesitin dönme kapasitesinin hesabında dikkate değer katkı yapabilmektedir.

Literatürde dönme kapasitesi hesabında, matematiksel modellerden yola çıkılarak hazırlanmış teorik yöntemler ve çeşitli araştırmacıların bunları deneysel bulgularla destekledikleri yarı – ampirik yöntemler mevcuttur. Ancak tüm bu yöntemler, enkesit dönme kapasitesinin sadece kararlı (stabil – R_{st}) kısmını hesaplamaya elverişlidir. Burkulma sonrası davranışın da göz önüne alınabildiği, sonlu şerit metodu veya sonlu eleman metoduna dayanan az miktarda ampirik yöntem de bulunmaktadır [5]. Ancak burkulma sonrası dönme kapasitesinin buradaki uygulamada hesaba katılmasına gerek duyulmadığından, sözü geçen yöntemler hakkında bilgi verilmeyecektir.

3.7.1. Teorik Yöntemler

Bu yöntemler enkesite ait moment – eğrilik ilişkisinin yaklaşık olarak belirlenmesine ve teorik burkulma analizine dayanmaktadır. Moment – eğrilik ilişkisinin belirlenmesinde, teknik literatürde de kabul gören, ideal iki başlıklı kesit esas alınır [5]. Bu kabul; gerçek yapı elemanı ile aynı enkesit alanına sahip, yüksekliği her iki

enkesit için plastik mukavemet momentlerinin eşitliğinden hesaplanan, sadece iki başlıktan ibaret (bkz. Şekil 3.10) yeni bir enkesit kullanmayı gerektirir.



Şekil 3.10: Bir gerçek kesitin iki başlıklı ideal kesite dönüştürülmesi

Burada moment – eğrilik ifadesinin hangi denklemler sonucunda elde edildiği, ayrıntıların fazlalığı nedeniyle gösterilmeyecektir. Çünkü bu ilişki, doğal olarak, her iki başlığın elastik bölgede oluşuna, üst başlığın plastikleşmiş olmasına ve üst başlık burkulma sonucu dayanımını yitirdiğinde alt başlığın elastik bölgede, plastik bölgede veya pekleşme bölgesinde oluşuna [5] bağlı olarak değişik fonksiyonlarla tanımlanmaktadır. Burada önemli olan moment – dönme arasındaki ilişkidir ki bu da moment – eğrilik ifadesinin integrasyonu ile bulunmaktadır.

Dönme kapasitesi, göçme anındaki $\theta_p = \theta_u - \theta_y$ plastik dönme miktarının maksimum elastik dönmeye (θ_y) oranı şeklinde tanımlanabilir. Bu tanıma göre;

$$R = \frac{\theta_p}{\theta_u} = \frac{\theta_u - \theta_y}{\theta_y} = \frac{\theta_u}{\theta_y} - 1 \quad (3.52)$$

yazılarak kararlı kısım için

$$R_{st} = \frac{\theta_m}{\theta_y} - 1 \quad (3.53)$$

elde edilir. Burada θ_m moment – eğrilik ilişkisinin entegrasyonu sonucunda dönme kapasitesinin kararlı kısmı için hesaplanan maksimum dönme miktarıdır. Gerçek enkesitin akma dönmesi ise,

$$\theta_y = (1-\rho)L \frac{\varepsilon_y}{h} \quad \text{veya} \quad \theta_y = (1-\rho) \frac{M_p L}{2 E I} \quad (3.54)$$

ile hesaplanabilir. Buradaki ifadede $\rho = \frac{N}{N_{pl}}$ ve L , genel olarak eğilme momentinin

sıfır olduğu enkesitle en büyük değerini aldığı enkesit arasındaki mesafedir [5].

Enkesitteki aksenal kuvvete ve kullanılan malzemenin elastik-plastik akma-pekleşme davranışı veya rijit-plastik akma-pekleşme davranışı göstermesi kabulüne bağlı olarak R_{st} aşağıdaki gibi bulunmuştur [5]:

- malzemenin davranışı elastik – plastik akma – pekleşme biçiminde;

$$\rho > \frac{s-1}{2} \text{ için } \rightarrow$$

$$R_{st} = \frac{1}{(s-\rho)} \left\{ (1-\rho) \frac{h}{h_e} + \frac{s-1}{1-\rho} \left[(1-2\rho) \frac{h}{h_e} + \frac{\varepsilon_h}{\varepsilon_y} \frac{h}{h_e} + (s-1) \frac{E}{E_r} \frac{I}{I_e} \right] \right\} - 1 \quad (3.55)$$

$$\rho \leq \frac{s-1}{2} \text{ için } \rightarrow$$

$$R_{st} = \frac{1}{(s-\rho)(1-\rho)} \left\{ \left[1 + \rho^2 - 2\rho(s-1) \right] \frac{h}{h_e} + 2 \frac{\varepsilon_h}{\varepsilon_y} \frac{h}{h_e} (s-\rho-1) + \frac{E}{E_r} \frac{I}{I_e} 4\rho(s-\rho-1) + (s-2\rho-1)^2 \frac{E}{E_h} \frac{I}{I_e} \right\} - 1 \quad (3.56)$$

- malzemenin davranışı rijit – plastik akma – pekleşme biçiminde;

$$\rho > \frac{s-1}{2} \text{ için } \rightarrow \quad R_{st} = \frac{s-1}{2(s-\rho)(1-\rho)} \left[2 \frac{\varepsilon_h}{\varepsilon_y} \frac{h}{h_e} + (s-1) \frac{E}{E_h} \frac{I}{I_e} \right] \quad (3.57)$$

$$\rho \leq \frac{s-1}{2} \text{ için } \rightarrow$$

$$R_{st} = \frac{1}{(s-\rho)(1-\rho)} \left\{ 2 \frac{\varepsilon_h}{\varepsilon_y} \frac{h}{h_e} (s-\rho-1) + \frac{E}{E_h} \frac{I}{I_e} \left[2\rho^2 + (s-1)(s-2\rho-1) \right] \right\} \quad (3.58)$$

Bu ifadelerde kullanılan sembollerin anlamları şunlardır:

- s basınç başlığında yerel burkulmadan (veya yanal burulmalı burkulmadan) dolayı oluşan kritik gerilmenin malzeme akma gerilmesine oranıdır. EC3'te tanımlı enkesit sınıfları baz alınarak, sünek ve kompakt kesitler için $s \geq 1$, yarı – kompakt kesitler için $s < 1$ ve narin kesitler için $s \leq \frac{W_{el}}{W_{pl}}$ olmaktadır. Buradan hareketle yarı – kompakt ve narin kesitlerde

$R=0$ bulunur.

- ε_y akma deformasyonu,
- ε_h pekleşme deformasyonudur. Fe 360 çeliği için $\frac{\varepsilon_h}{\varepsilon_y} = 12.3$ olarak belirlenmiştir.
- E_h pekleşme anındaki elastisite modülüdür. Fe 360 çeliği için $\frac{E}{E_h} = 37.5$ olarak belirlenmiştir.
- E_r indirgenmiş elastisite modülü olup $E_r = \frac{2 E E_h}{E + E_h}$ şeklinde hesaplanır.
- h gerçek enkesitin yüksekliği,
- h_e ideal (iki başlıklı) enkesitin yüksekliği,
- I gerçek enkesitin atalet momenti,
- I_e ideal enkesitin atalet momentidir.

Kirişler ($\rho = 0$) için (3.56) ve (3.58) denklemleri sırasıyla,

$$R_{st} = \frac{1}{s} \left\{ \frac{h}{h_e} + 2 \frac{\varepsilon_h}{\varepsilon_y} \frac{h}{h_e} (s-1) + (s-1)^2 \frac{E}{E_h} \frac{I}{I_e} \right\} - 1 \quad (3.59)$$

$$R_{st} = \frac{1}{s} \left[2 \frac{\varepsilon_h}{\varepsilon_y} \frac{h}{h_e} (s-1) + \frac{E}{E_h} \frac{I}{I_e} (s-1)^2 \right] \quad (3.60)$$

şeklinde sadeleştirilebilmektedir.

3.7.1.1. Kritik Gerilmenin Hesabı

Uygulamada düzlemsel çerçeve kullanılacağından burada sadece basınç başlığının yerel burkulmasına ait kritik gerilmenin bulunmasına değinilecektir. Gövdenin mesnetliği ihmal edilirse, basınç başlığında inelastik burkulmadan dolayı oluşan kritik gerilme;

$$\sigma_{cr} b_f t_f = \frac{12}{b_f^2} \frac{b_f t_f^3}{3} G_h \quad (3.61)$$

ilişkisiyle tanımlanabilir [5]. Burada b_f başlığın genişliği, t_f başlığın et kalınlığı, G_h ise pekleşme anındaki tanjant modülüdür. Ayrıca $\nu = 0.3$ (çelik için Poisson oranı) olmak üzere;

$$G_h = \frac{E}{1 + \nu + \frac{E}{4 E_h}} \quad (3.62)$$

şeklinde verilmiş olup, (3.63) denkleminde hareketle;

$$s = \frac{\sigma_{cr}}{\sigma_y} = \left(\frac{t_f}{b_f} \right)^2 \frac{16 E_h}{5.2 E_h + E} \frac{1}{\epsilon_y} \quad (3.63)$$

bulunmaktadır.

Ancak bu ifade gövdenin etkisini dikkate almadığından yetersiz kalmaktadır. Bunun yerine araştırmacılar, kolonlarda eksenel basınç deneylerinden elde ettikleri veriler sonucunda H profiller için şu ampirik bağıntıyı üretmişlerdir [5]:

$$\frac{1}{s} = 0.6003 + \frac{1.6}{\alpha_f} + \frac{0.1535}{\alpha_w} \quad (3.64a)$$

$$\alpha_f = \frac{E}{\sigma_y} \left(\frac{t_f}{b_f/2} \right)^2 \quad \text{ve} \quad \alpha_w = \frac{E}{\sigma_y} \left(\frac{t_w}{d_w} \right)^2 \quad (3.64b)$$

Bu denklemin kusuru da, gövdenin üniform olarak basınç aldığı kolon deneylerine dayanıyor olmasıdır. Gerçekte ise hem kirişlerde hem de kolonlarda eğilme

etkisinden dolayı gövdede değişken bir gerilme yayılımı oluşmaktadır. Bu fark, “etkili gövde genişliği” tanımlanarak dikkate alınabilir [5]:

$$d_{we} = \frac{1}{2} \left\{ 1 + \frac{A}{A_w} \rho \right\} d_w \leq d_w \quad (3.65)$$

A toplam enkesit alanı,

A_w gövdenin alanı olmak üzere.

Bunlara ek olarak, deneysel verilerin incelenmesiyle, (3.64)’ten daha eksiksiz olduğu varsayılan şu ampirik ifade elde edilmiştir [5]:

$$\begin{aligned} \frac{1}{s} = & 0.546321 + 1.632533 \lambda_f^2 + 0.062124 \lambda_w^2 - 0.602125 \frac{b_f}{L} \\ & + 0.001471 \frac{E}{E_h} + 0.007766 \frac{\varepsilon_h}{\varepsilon_y} \end{aligned} \quad (3.66a)$$

$$\lambda_f = \frac{b_f}{2 t_f} \sqrt{\varepsilon_y} \quad \text{ve} \quad \lambda_w = \frac{d_{we}}{t_w} \sqrt{\varepsilon_y} \quad (3.66b)$$

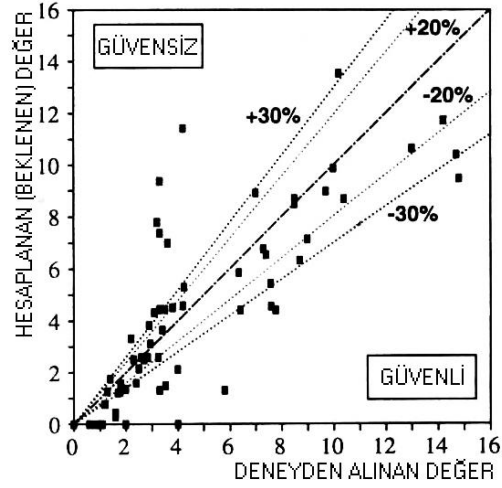
3.7.2. Yarı – Ampirik Yöntemler

Bu yöntemlerde moment – eğrilik ilişkisinin entegrasyonu, basınç başlığının yerel burkulmasına (bazı hallerde yanal burulmalı burkulmasına) sebep olan şartların deneysel bulgulara dayanarak ampirik denklemler sonucunda belirlenmesiyle yapılır. Literatürde mevcut bazı yarı – ampirik hesap yöntemi arasında, bu araştırmaya referans olan kaynakta bir karşılaştırma yapılmıştır [5]. Bu karşılaştırmaya bağlı olarak, burada sadece en tatmin edici sonuçları veren iki tanesine değinilecektir.

3.7.2.1. Kato Metodu

İki başlıklı ideal enkesit kabulünün kullanıldığı bu yöntemde rijit – plastik akma – pekleşme biçimindeki malzeme davranışı göz önüne alınmaktadır. Dolayısıyla dönme kapasitesi hesabında (3.57), (3.58) ve (3.60) denklemleri kullanılmalıdır. Kritik gerilme parametresi s için de, (3.65) ile etkili gövde genişliği dikkate alınarak (3.64) tercih edilmektedir.

Aşağıdaki şekilde, bu metotla elde edilen dönme kapasitesi değerleri deney sonucunda bulunanlarla karşılaştırılmaktadır [5].



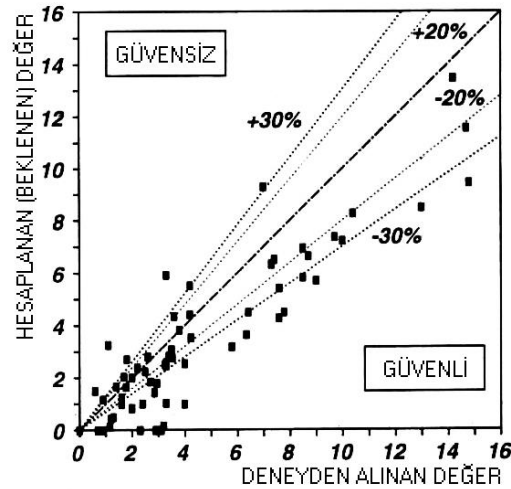
Şekil 3.11: Kato Metoduna ait sonuçların deney verileriyle kıyaslanması

3.7.2.2. Mazzolani – Piluso Metodu

Burada da ideal enkesit kavramının kabulüne rağmen, bu sadece akma dönmesinin hesabında kullanılmakta, dönme kapasitesinin hesabı $\frac{h}{h_e} = \frac{I}{I_e} = 1$ ile yapılmaktadır.

Malzemenin davranışı elastik – plastik akma – pekleşme biçiminde tanımlanmış olup, buna göre (3.55), (3.56) ve (3.59) denklemleri kullanılmaktadır. Kritik gerilme parametresi ise, etkili gövde genişliği (yine denklem (3.65)’e göre) dikkate alınarak (3.66) ile belirlenmektedir.

Aşağıdaki şekilde, bu metotla elde edilen dönme kapasitesi değerleri deney sonucunda bulunanlarla karşılaştırılmaktadır [5].



Şekil 3.12: Mazzolani – Piluso Metoduna ait sonuçların deney verileriyle kıyaslanması

4. PUSHOVER ANALİZİ

Geleneksel tasarım yaklaşımında sadece kullanılabilirlik ve dayanım limit durumları incelenebilmektedir; bu nedenle yapıda performansa dayalı bir tasarım anlayışının geliştirilmesine ihtiyaç duyulmuştur. Nonlineer statik analiz (pushover) bu amaçla ortaya çıkmış kullanışlı bir hesap şeklidir; dinamik analizle kıyaslandığında, eleman ve sistem deformasyon seviyeleri yaklaşık olarak aynı doğrulukta tespit edilmektedir.

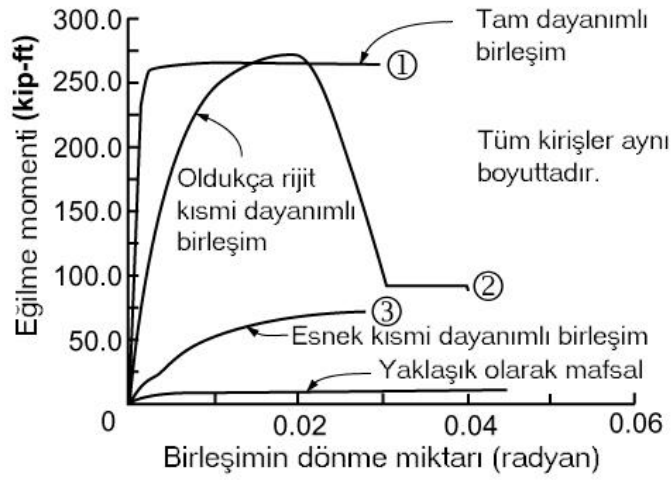
Bu hesap yönteminde; bir çerçeve elemanındaki potansiyel plastik mafsalları enkesitinin, nonlineer yük – deformasyon karakteristikleri önceden tanımlanmış bir *sözde yarı – rijit* birleşim gibi davrandığı varsayılmaktadır [6]. Yapıya uygulanan yüklemenin büyüklüğü önceden tanımlanmış bir düzene göre adım adım arttırılarak yapının zayıf noktaları ve göçme modu tespit edilmekte, böylelikle her bir çerçeve elemanındaki ve bütün sistemdeki ilk akma ve ilerleyen plastikleşme gözlemlenebilmektedir. Bir yapının gerçeğe en yakın dayanımını belirlemede son derece kullanışlı olan bu hesap şekli, monoton bir yük – deformasyon ilişkisine ve yapının çeşitli sönmüleme davranışlarına dayanarak yükün boşalmasına ve tekrarlı yüklenmesine de izin vermektedir [7].

Bu çalışmada, SAP2000 kullanılarak çerçeveye pushover analizi uygulanacaktır. Dolayısıyla analize geçmeden önce kullanılan programdaki veri girişleri ve hesabın ilerleyişi hakkında biraz bilgi vermek yerinde olacaktır. Pushover diyalog pencereleri ve tanımlama menüleri biraz daha kolay anlaşılır olduğu için 7.12 versiyonu tercih edilmiştir (CSI'nin en son v9.01'i piyasaya sürdüğü bilinmektedir).

4.1. Mafsallık Özelliklerinin Tanımlanması

Programda, varsayılan mafsallık özellikleri olarak FEMA–273 ve ATC–40 normlarında belirlenmiş özellikler kullanılmaktadır. FEMA–273'te moment aktaran çelik çerçeveler birleşim tiplerine göre sınıflandırılmıştır. Birleşimler, modern yüksek mukavemetli bulonlu ve kaynaklı birleşim tiplerinden eski tip perçinli birleşimlere kadar çeşitlenmektedir.

Başlıkları kaynaklı, gövdeleri bulonlu modern birleşimler çok az deformasyon yaptıkları için tam dayanımlı (bütünüyle tutulu) birleşim olarak tanımlanmıştır. Kısmi dayanımlı birleşimlerde ise belirgin bir deformasyon ve dönme gözlemlenmektedir; dolayısıyla, dayanımları ve rijitlikleri değişmekle beraber, birçok bulonlu ve perçinli birleşim kısmi dayanımlı olarak sınıflandırılmaktadır. Aşağıdaki şekilde, farklı birleşim tiplerinin rijitlikleri ve yaptıkları deformasyon miktarları karşılaştırılmaktadır [8].

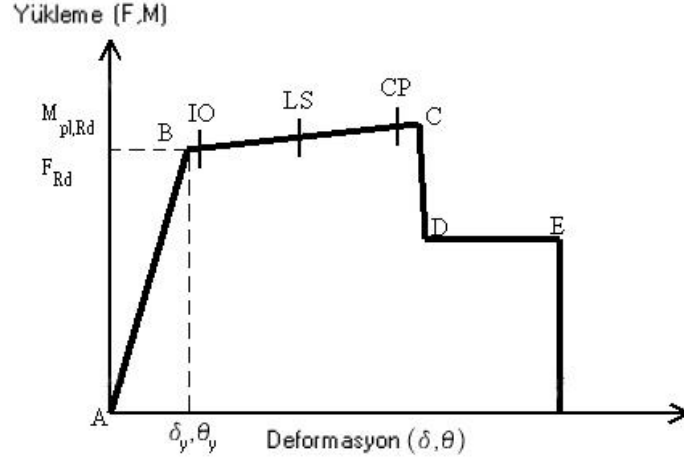


Şekil 4.1: Çeşitli birleşim tipleri için moment – dönme eğrileri

Plastik mafsal tanımında varsayılan eğri olarak program tarafından ② numaralı eğri belirlenmiştir. Bu, kısmi dayanımlı birleşim tiplerine uygun olduğu gibi, tam dayanımlı birleşimler için panel bölgesi akma deformasyonunu karakterize etmekte de kullanılmaktadır.

FEMA–273'te tam dayanımlı birleşimler için kullanılan akma deformasyonları ve dayanım değerleri AISC LRFD normlarından alınmıştır [8]. Akma deformasyonları hesaplanırken, kullanılan elemanların ankastre mesnetli ve eğriliğin değiştiği noktanın eleman açıklıklarının tam ortasında olduğu kabul edilmektedir. Tam plastik moment dayanımına ulaşana kadar tüm elemanların bütünüyle elastik kaldığı varsayılmaktadır. Akan elemanlar ve panel bölgelerinin rijitliği indirgenirken, diğer tüm elemanlar ve birleşimlerde elastik rijitlik kullanılmaktadır. Eğilme momentinden başka zorlamalara maruz yapı elemanlarında ise plastik moment kapasitesi lineer interpolasyonla indirgenmektedir.

Enkesitin moment – dönme ilişkisi ve buna ilişkin şartnamelerce belirlenmiş kabul edilebilir deformasyon sınırları (performans seviyeleri) aşağıdaki gibi açıklanabilir [9]:



Şekil 4.2: Mafsal tanımında kullanılan basitleştirilmiş yük – deformasyon eğrisi

- **B** : Birleşimde ilk akma dönmesine karşılık gelir; programda varsayılan değerler θ_y ve $M_{pl,Rd} (F_{Rd})$.
- **C** : Birleşimde malzemenin pekleşmesi sebebiyle plastik moment dayanımındaki artışın en büyük değeridir, B – C arasında eğim elastik bölgedeki (A – B arasındaki) eğimin %3'ü kabul edilmiştir; programda varsayılan değerler $6 \theta_y$ ve $1.25 M_{pl,Rd} (F_{Rd})$.
- **D** : Birleşimde artık (*residual*) dayanımın olmasına karşılık gelir; programda varsayılan değer $0.2 M_{pl,Rd} (F_{Rd})$.
- **E** : Birleşimde dönme kapasitesinin tükenmiş olmasına, diğer bir deyişle göçmeye karşılık gelir; programda varsayılan değer $8 \theta_y$.

Şekilde de görüldüğü gibi, eğrinin B–C arasındaki bölümünde özel olarak belirlenmiş performans seviyeleri mevcuttur. Bunlar da sırasıyla şöyle tanımlanabilir:

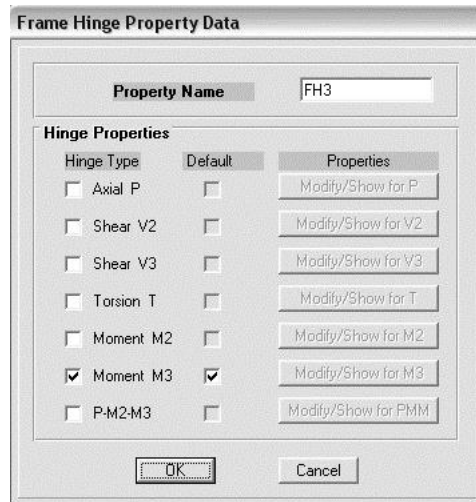
- **IO (Immediate Occupancy)** : Yapıda çok az hasarın meydana geldiği, yapının ve elemanlarının ilk rijitliğini ve dayanımını büyük ölçüde koruduğu deformasyon miktarı olarak yorumlanabilir; programda varsayılan değer $2 \theta_y$.
- **LS (Life Safety)** : Deprem sırasında yeterli can güvenliği sağlayabilecek derecedeki deformasyon miktarı olarak yorumlanabilir; bu performans

seviyesinde yapı hasar görmüş, rijitliğini önemli ölçüde yitirmiştir; programda varsayılan değer $4 \theta_y$.

- **CP (Collapse Prevention)** : Yapıda ciddi hasarın meydana geldiği, bundan sonraki deformasyonların yapıda instabilite veya göçmeye neden olabileceği ekstrem durum olarak yorumlanabilir; programda varsayılan değer $6 \theta_y$.

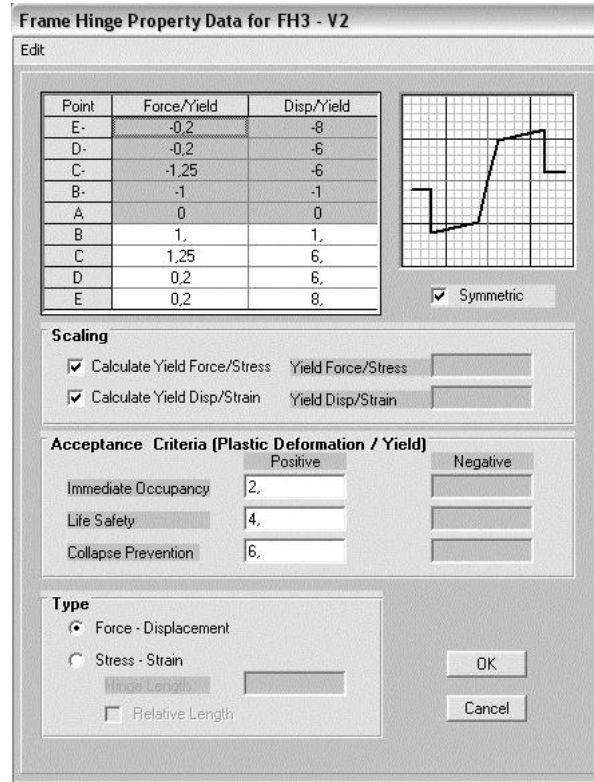
Benzer şekilde taşıyıcı sistemin tümü için de performans seviyeleri düzenlenebilir. Bunun için arakat ötelenmesi referans alınmaktadır [8]. *IO (Immediate Occupancy)* performans seviyesinde arakat ötelenmesinin en çok kat yüksekliğinin 0.01'i olması istenir. Bu limit, çelik çerçevelerin genelde 0.005 ile 0.01 arasında bir arakat ötelenmesi değerinde akması nedeniyle seçilmiştir. Çelik sünek bir malzeme olduğu için bu performans seviyesinde çerçevede belirgin bir hasar beklenmemektedir. *LS* ve *CP* performans seviyeleri için ise pratikteki arakat ötelenme sınırları sırasıyla 0.02 ve 0.04 olarak seçilebilir.

Şartnamelerde [8] ayrıca, çelik çerçeveler için bazı güçlendirme teknikleri ile dönme kapasitesi ve performansı arttırabilecek bazı öneriler de sunulmaktadır. Benzer öneriler ve hesap prosedüründe kullanılabilecek bazı ayrıntılar, kısmi dayanımlı birleşimlere sahip çerçeveler, çaprazlı çerçeveler, çelik levhali duvarlar (perdeler), kagir veya beton dolgulu çerçeveler, çelik çatı diyaframları (kafes sistemler) ve çelik temel kazıkları için de oldukça detaylı bir şekilde verilmektedir. Ancak bu çalışmada çerçeve birleşimlerinin tam dayanımlı olması tercih edildiğinden, diğer birleşim tipleri için daha fazla açıklama yapılmayacaktır.



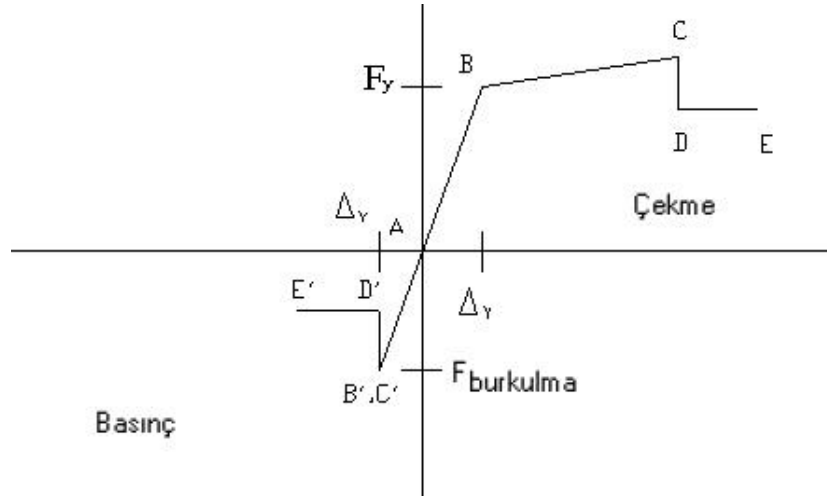
Şekil 4.3: SAP 2000’de yeni bir plastik mafsals tanımlanırken karşılaşılan pencere

SAP 2000'deki plastik mafsalları tanımlamalarına dönecek olursak; Şekil 4.3'ten de görüleceği gibi, bir mafsallın aksel kuvvet, kesme ($V2$ ve $V3$) kuvveti, eğilme ($M2$ ve $M3$) ile burulma momentleri ve aksel kuvvet – eğilme momenti etkileşiminden (PMM) oluşan enkesit zorlamaları altında meydana gelmesi mümkün olmaktadır. Aynı enkesite birden fazla mafsallı atanabilmesine rağmen, sadece PMM tipi mafsallarda enkesit zorlamalarının (burada aksel kuvvetle enkesitin güçlü ve zayıf eksenleri etrafındaki eğilme momentlerinin) birbirleri arasındaki etkileşime, biri yüzünden diğerinin indirgenmesine müsaade edilmektedir. Buna göre, örneğin $V2$ ile $M3$ işaretlenmiş bir enkesitte plastik mafsall oluşması için, kesme kuvveti veya eğilme momenti dayanımlarından herhangi birinin aşılması yeterli olmaktadır.



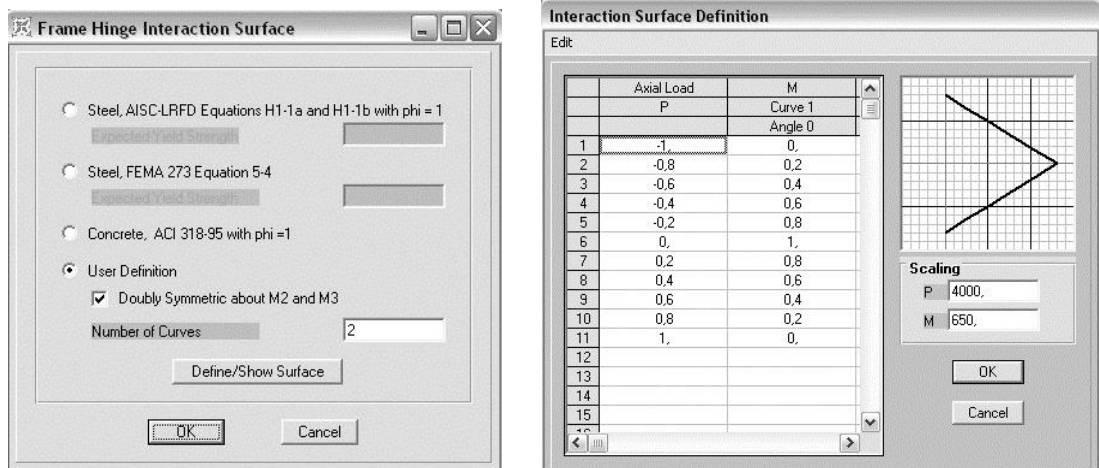
Şekil 4.4: Mafsall özelliklerinin girildiği veri penceresi örneği

Yukarıda sayılan enkesit zorlamalarından P genellikle çaprazlı çerçevelerdeki çapraz elemanlarda veya pandül kolonlarda, V genellikle dışmerkez çaprazlar arasındaki bağlantı kirişlerinde, T , $M2$ ve/veya $M3$ genellikle kirişlerde, PMM de genellikle kolonlarda plastik mafsall tanımlamak için tercih edilmektedir. İncelendiği takdirde, tüm mafsallar için kesit zoru – dönme ilişkisinin aşağı yukarı benzer özellikte olduğu görülecektir. Sadece P için, aksel basınçta burkulma güvenliğini dikkate alan bir sınır değerin kullanılmasıyla eğrinin şekli değişmektedir [10] (bkz. Şekil 4.5).

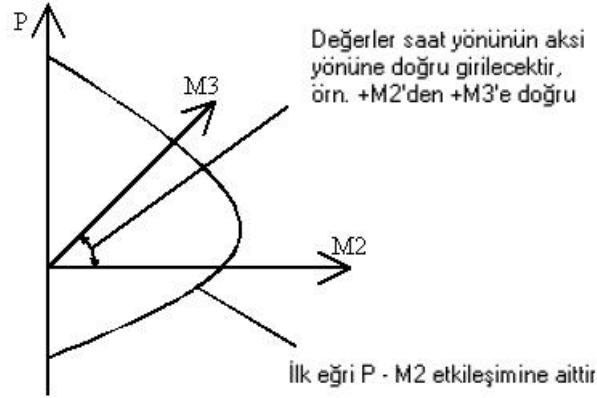


Şekil 4.5: Bir eksenel kuvvet mafsasında kullanılabilecek yük – deformasyon eğrisi

Çelik çerçeve elemanlarında *PMM* tipi mafsal için eksenel kuvvet ile eğilme moment(ler)i arasındaki etkileşim FEMA–273 veya AISC–LRFD standartları esas alınarak tanımlanabildiği gibi (bkz. Şekil 4.6), bu ilişki etkileşim eğrileri kullanılarak da belirlenebilir. Bunun için en az iki eğri kullanılmalıdır. Şekil 4.7’de görüldüğü üzere; açının 0° olduğu değerler için $P - M_2$ arasındaki etkileşim, açının 90° olduğu değerler için de $P - M_3$ arasındaki etkileşim tanımlanır. Kullanılan eğri sayısına bağlı olarak da aradaki açı değerleri için yeni etkileşim eğrileri tanımlamak mümkündür.



Şekil 4.6: Moment ve eksenel kuvvet arasındaki etkileşimin tanımlandığı pencereler



Şekil 4.7: PMM tipi mafsals için esas alınan moment – eksenel kuvvet etkileşim eğrisi

Burada açıklanmasına gerek görülmeyen diğer küçük ayrıntılara uygulama sırasında değinilmesi uygun bulunmuştur. Dolayısıyla plastik mafsals özellikleri ile ilgili bilgilere burada son verilecektir.

4.2. Analiz Özelliklerinin Tanımlanması

Bir nonlinear statik (pushover) analiz yapabilmek için ilgili diyalog penceresinde girilmesi gereken veriler ve bunların ne anlama geldiği aşağıdaki gibi özetlenmeye çalışılacaktır. Pushover analizine geçebilmek için kullanılan bu versiyonda statik model, yüklemeler ve analiz seçenekleri tanımlandıktan sonra bir kez sistemin çözdürülmesi ve tercihen enkesit kontrolü (*Design/Check of Structure*) yaptırılması gerekmektedir.

- **Push to Load Level Defined by Pattern :** Statik modelin oluşturulması sırasında tanımlanmış olan yüklenme durumlarından herhangi birini yapıya yüklemektedir. Bu seçenek daha çok düşey yüklerin ve genliği bilinen yatay yüklerin yapıya uygulanması için kullanılmaktadır. Yapının uygulanan kuvvetlere karşı dayanımının kontrolünde en çok tercih edilen seçenektir.
- **Push to Displacement of :** Yapıya, yanındaki kutuya girilen değer kadar deplasman yaptırmakta kullanılır. Bu seçenek yapıya etkiyen yüklerin tam olarak ne kadar artacağının tahmin edilemediği durumlarda, daha çok yapıların performansa dayalı analizinde tercih edilir. “Load Pattern” olarak en az bir yüklenme durumunun tanımlanmış olması zorunludur. Program

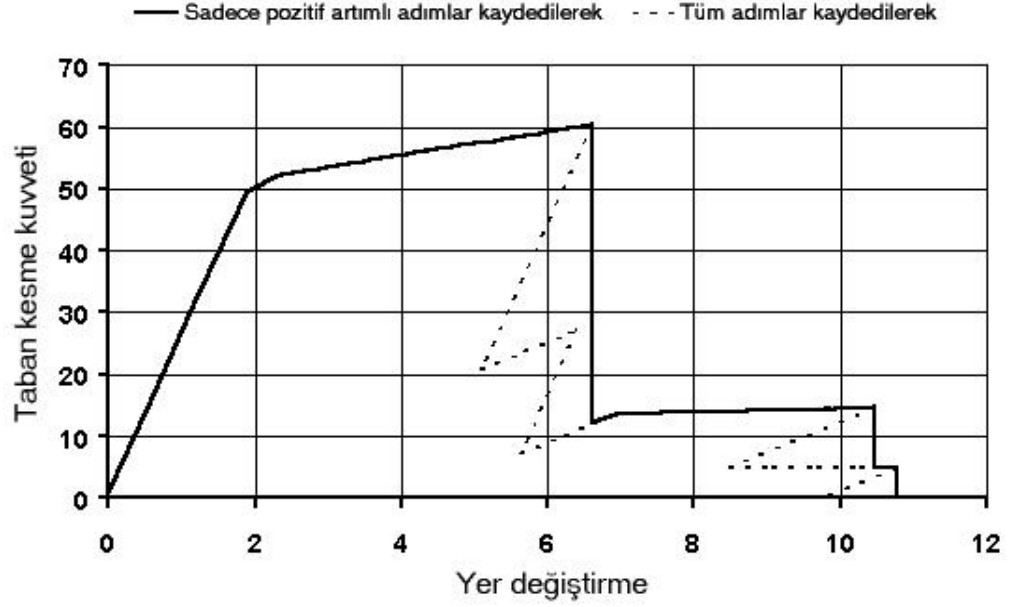
belirlenen ötelenme miktarına, bu yüklemeyi referans alıp gerektiğinde arttırarak veya azaltarak ulaşacaktır.

Şekil 4.8: Yeni bir pushover analizi için girilmesi gereken veriler

- **Control Joint** : Belirlenen deplasman miktarının yapı üzerinde hangi noktaya tatbik edileceğini tanımlar.
- **Control Direction** : Belirlenen deplasman miktarının koordinat ekseninde hangi doğrultuda tatbik edileceğini tanımlar.
- **Start from Previous Pushover** : Daha önce tanımlanmış bir *pushover* yükleme durumu veya durumları varsa, bunlardan birinin sonuçları esas alınarak analiz yapılması, diğer bir deyişle önceki pushover yüklemesinden devam edilmesi istendiğinde seçilir.
- **Save Positive Increments Only** : Analiz sırasında bazı hesap adımlarında bulunan ötelenme veya kuvvet miktarları bir önceki adım(lar)dan küçük olabilmekte, yani ardışık iki hesap adımı arasındaki sonuçların artım miktarı negatif çıkabilmektedir. Bu durum, yükün boşalması esnasında yapıda o anki kalıcı plastik deformasyonları tespit etmek açısından kullanışlı olabilir. Artımın sadece pozitif olduğu hesap adımları ile elde edilen pushover

eğrisinin tüm adımların kullanılmasıyla elde edilenden farkı şu şekil üzerinde gösterilebilir:

Örnek Pushover Eğrisi (Restart When Unloading Seçeniği Kullanılmadan)

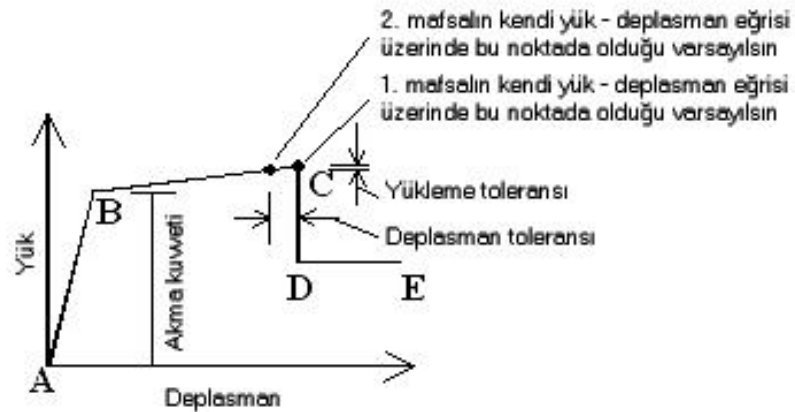


Şekil 4.9: *Save Positive Increments Only* seçeneğini açıklayan örnek pushover eğrisi

- **Minimum Saved Steps :** Analizde hedeflenen yükleme veya deformasyon miktarına ulaşmak için en az kaç adım hesap yapılacağını belirler. Örneğin 1 m ötelenme yapması istenen yapı için bu değer 10 olarak seçilmişse, program yapıya her bir adımda $100/10 = 10cm$ ötelenme yaptıracaktır. Değerin çok küçük olması pushover eğrisinde çok az nokta kullanılmasına, çok büyük olması ise analiz sırasında daha çok zaman harcanmasına ve hafızada fazla yer işgaline sebep olmaktadır.
- **Maximum Total Steps :** Program, bir üstte açıklaması verilen değeri kullanarak hesap yaptığı sırada çözümün ıraksadığı adımlarla karşılaşabilir. Böyle bir durumda hesap adımının büyüklüğünü değiştirerek tekrar çözmeyi dener ve yeni adım aralığı olarak son kullandığı değeri belirler. Her ıraksaklıkta adım aralığı değiştiği için hesap adımlarının sayısı da artar. *Maximum Total Steps* ile programın analizde en çok kaç adım hesap yapacağı belirlenir. Bu değere ulaşıldığında program analizi bitirir. Tabii hedeflenen ötelenme/yükleme miktarı program bu değere ulaşmadan da elde edilebilir. Ancak, hesap adımlarının bitmesine rağmen hedeflenen miktar(lar)a

ulaşılamaması *Maximum Total Steps* değerinin arttırılması gerektiğine işaret eder.

- **Maximum Null Steps** : Programın analiz sırasında hesap adımlarının aralığını değiştirmesine rağmen yapıdaki ciddi bir kusurdan (göçme) veya hesaptaki nümerik zorluklardan dolayı çözümün ıraksadığı adımların maksimum sayısını belirtir. Bu değer ulaşılmasıyla program analizi keser.
- **Maximum Iterations/Step** : Her hesap adımında yapılacak iterasyon sayısıdır. Büyük değerler *null step* ile karşılaşılma olasılığını düşürürken analizin uzamasına sebep olabilir.
- **Iteration Tolerance** : Ardışık iki iterasyonun sonuçları arasındaki farkın ne kadar olacağını belirler. Fark bu değerden küçükse program yeni bir iterasyon yapmaz. Modellediği yapının yaklaşık olarak nasıl davranacağını tahmin edebilen tecrübeli bir mühendisin, analizde ıraksaklık (*null step*) meydana geldiği zaman değiştireceği verilerden biri budur.
- **Event Tolerance** : Program her adımda elde ettiği verilerin tümünü kaydetmez. Her mafsallın, kendi moment – dönme eğrisinde tanımlı noktalara (B, IO, LS, CP, C, D ve E) ulaşması bir “*olay*” olarak nitelendirilir. Disk alanından ve analiz süresinden tasarruf etmek için, program bu *olay* noktalarına çok yakın mafsallı gruplarını aynı olayın birer parçası olarak birleştirir [10]. Tabii bu işlem, mafsalların iç kuvvet sonuçlarında çok küçük bir miktar hatayı da beraberinde getirir. Dolayısıyla tolerans değerinin küçük tutulmasına dikkat edilmelidir.



Şekil 4.10: Pushover analizinde kullanılan yükleme de deplasman toleransları

Şekil 4.10’da moment – dönme eğrisi üzerinde iki mafsalsın yeri verilmektedir. Bunlardan *Mafsal 1* yeni bir olayın eşiğindedir. *Mafsal 2* tanımlı tolerans değerini sağladığı sürece aynı olayın bir parçası olarak yorumlanacaktır (şekilde *yükleme toleransı* ve *deplasman toleransı* olmak üzere iki ayrı kriter kullanıldığına dikkat edilmelidir). Şöyle ki; yükleme toleransının akma kuvvetine bölümünden *olayın yükleme toleransı* elde edilir. *Olayın deplasman toleransının* hesabı ise mafsalsın o sırada moment – dönme eğrisinin neresinde olduğuna bağlıdır. Örneğin mafsalsın elastik bölgede ise A – B arası yatay mesafe, pekleşme bölgesinde ise B – C arası yatay mesafe [10] bölün olarak kullanılır. Buna göre, *olayın yükleme* ve *deplasman toleranslarından* her ikisi birden tanımlanmış olan değerden küçükse mafsalsın o olayın bir parçası haline gelir. Bu tolerans değerinde değişiklik yapmak analiz sonunda elde edilen mekanizmanın değişmesine sebep olabilmektedir.

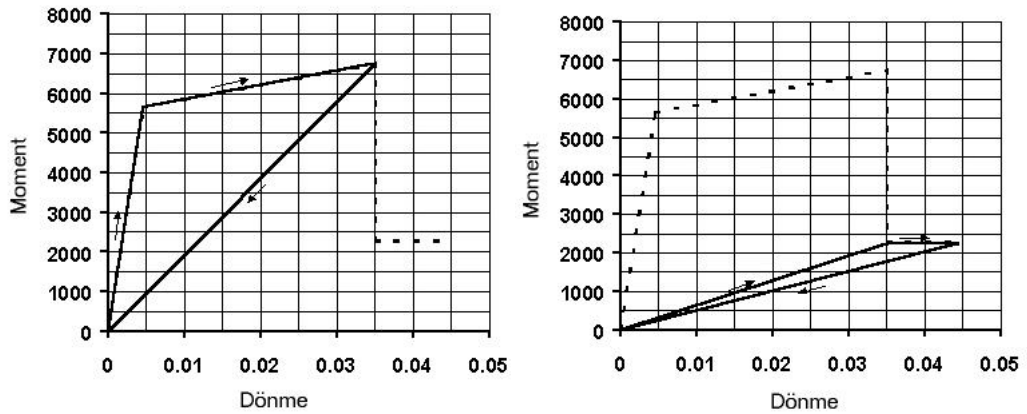
- **Member Unloading Method :** Mafsalları moment – dönme eğrilerinde C veya E noktasına ulaşmış elemanların üzerindeki yüklerin kısmen veya tamamen boşaltılıp diğer yapı elemanlarına dağıtılması işlemi burada “unloading” olarak yorumlanmıştır. Farklı problem tiplerinde çözüme ulaşmak için farklı yaklaşımlar gerekebilmektedir. Dolayısıyla programda 3 farklı yük boşaltma metodu sunulmaktadır [10].

- Unload Entire Structure: En verimli/hızlı çalışan ve ilk önerilen metottur. Herhangi bir mafsalsın moment – dönme eğrisinde negatif eğimli bir noktaya geldiğinde, program her zamanki gibi yükü artırır. Bu işlem deformasyonların artmasıyla sonuçlanıyorsa devam eder. Aksi durumda, program tüm yapıya etkiyen yükü azaltıp mafsalsın moment – dönme eğrisinde bir sonraki noktaya ulaşmasını bekler. Bu gerçekleştiği zaman yükler eskisi gibi artırılır, böylece mafsaldan boşaltılan yük yapının diğer elemanlarına dağıtılmış olur. Bir mafsalsın yüklerin artırılmasını gerektirirken bir diğeri azaltılmasını istiyorsa program hata verir ve analizi keser. Bu gibi hallerde diğer metotlar denenmelidir.

- Apply Local Redistribution: En etkili metot olmasına rağmen çok fazla *null step* ile sonuçlanabilmektedir. *Null step* limitinin, maksimum hesap adımı sayısının %40 - %70’i kadar seçilmesi

önerilmektedir. Bu metodun öncekinden farkı; tüm yapıdaki yükü azaltmak yerine, sadece yükün boşaltılması gereken yapı elemanına geçici olarak üzerindeki yükü dengede olan bir iç kuvvet uygulanmak suretiyle mafsaldaki yükün boşaltılmasıdır. Daha sonra geçici kuvvet kaldırılarak mafsaldan boşalan yük diğer yapı elemanlarında dağıtılmış olur. Bu yöntemle, yerel atalet kuvvetlerinin hızla yükü boşaltılan elemanları stabilize edebileceği durumlar simüle edilmeye çalışılmıştır. Bir önceki metotta olduğu gibi, bir mafsal yüklerin artırılmasını gerektirirken bir diğeri azaltılmasını istiyorsa program hata verir ve analizi keser. Bu gibi hallerde diğer metotlar denenmelidir.

○ Restart Using Secant Stiffness: Üç metot arasından en yavaş çalışan metot olup çok fazla hesap adımına ihtiyaç duyabilir. Ancak hata verme ihtimali yok denecek kadar azdır. Analiz sırasında moment – dönme eğrisinde negatif eğimli bir noktaya ulaşan mafsallar ortaya çıktığında program analizi tekrar başlatarak bu mafsallar için sekant rijitliklerini kullanır. Bu işlem aşağıdaki şekilde görsel olarak açıklanmaya çalışılmıştır. Yöntem, özellikleri gereği monoton artan yüklerden çok, genliği artan tekrarlı yüklerin kullanımına uygundur.



Şekil 4.11: *Restart Using Secant Stiffness* metodu ile sırasıyla i 'nci ve $i+1$ 'inci hesap adımlarında herhangi bir mafsalda kullanılan moment – dönme eğrileri

- **Geometric Nonlinearity Effects :** Adından da anlaşılacağı üzere programın analizde hangi tür geometrik nonlineerliği kullanacağını (ya da kullanmayacağını) tanımlar. Deprem yüklemesi altında yapıdaki mafsallaşma

izlenmek istendiğinde genellikle *P – Delta and large Displacements* seçeneği tercih edilmektedir.

- **Load Pattern** : Programın analiz sırasında hangi yüklemeleri referans alacağını tanımlar (en az bir yükleme durumu girilmek zorundadır). Programın kullanabildiği yükleme durumları şunlardır [10]:

- Önceden tanımlanmış herhangi bir statik yükleme uygulanabilir.
- İstenilen doğrultuda (X, Y, Z) bir üniform ivmelenme verilebilir. Böyle bir durumda düğüm noktalarına uygulanan kuvvetler, düğüm noktalarının kütleleriyle orantılı olacak şekilde otomatik olarak hesaplanır. Daha çok, modellenen yapıda plastikleşmenin yaklaşık olarak nasıl ilerleyeceğini veya zayıf kat varlığını tespit etmek için kullanılabilir.
- Eğer yapıya ait mod şekilleri belirlenmişse, bunlardan herhangi birine ilişkin yükleme durumu kullanılabilir. Uygulanacak kuvvetlerin hesabında yine düğüm noktalarının kütleleri esas alınır.
- Yukarıdaki yüklemeler çeşitli şekilde kombine edilebilir.

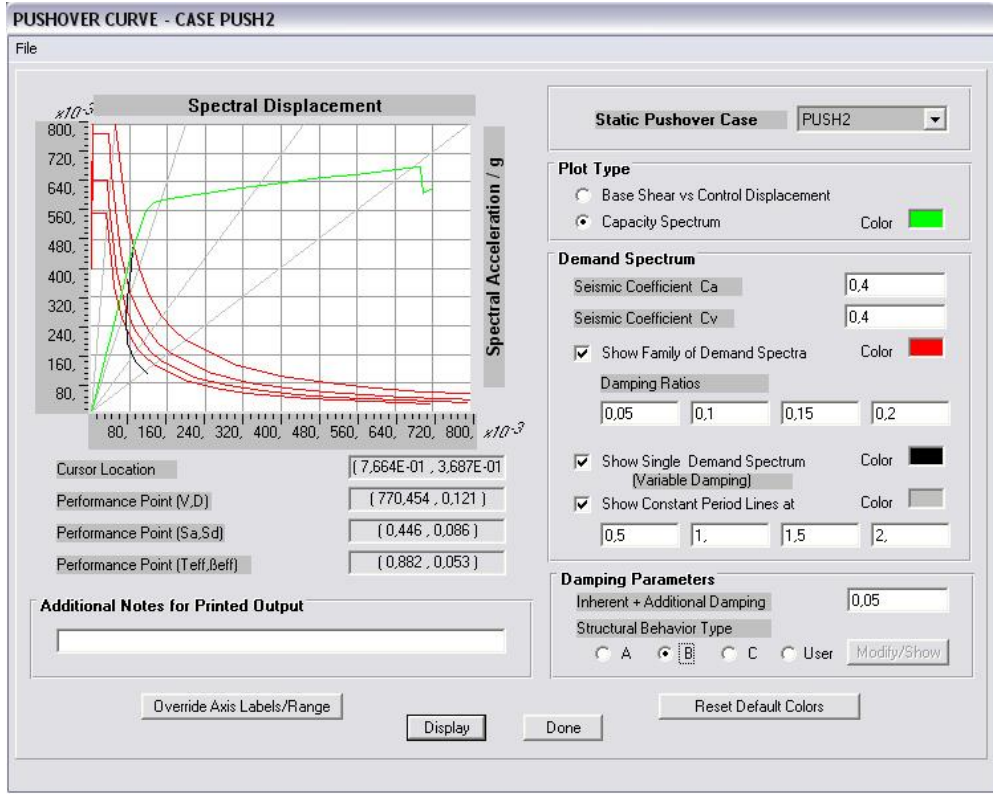
4.3. Pushover Eğrisi

Pushover analizi sonrasında, modellenen yapıya ait yük – deplasman (kapasite) eğrisi incelenebilir. Bu seçeneğe, analiz tamamlandıktan sonra programın *Display* menüsünden ulaşılabilir. Şekil 4.12’de örnek olarak rasgele bir pushover eğrisi görülmektedir.

Göstergede yeşil renkle görülen eğri, sağ üst köşedeki kutudan seçilecek pushover durumuna ait yük – deplasman (kapasite) eğrisidir. *Plot Type* seçeneklerinde fark edileceği gibi, bu eğri temel seviyesindeki kesme kuvveti ile analiz verilerinde *Control Joint* olarak seçilen noktanın yapmış olduğu deplasman arasında çizilmektedir.

Göstergedeki açık gri renkli doğrular sabit periyoda sahip radyal doğrular olarak isimlendirilmiştir. Bunların kapasite eğrisiyle kesişim noktaları, yapının 1. doğal modda bu periyotla titreşirken yapacağı yatay ötelenme miktarını verir. Birden fazla periyot doğrusu kullanılmasının sebebi ise; yapının, plastik mafsalların oluşumu

yüzünden rijitliğini yitirdikçe doğal periyodunun artması, buna bağlı olarak daha fazla ötelenme yapmasıdır.



Şekil 4.12: Analiz sonunda elde edilen bir pushover eğrisi örneği

Göstergenin altındaki kutularda sırasıyla;

- Kursörün çizim üzerinde bulunduğu yerin koordinatları,
- Taban kesme kuvveti / kontrol noktası deplasmanı koordinat sisteminde performans noktasının, yani kapasite eğrisiyle indirgenmiş sismik talep spektrumunun kesişim noktasının yeri,
- Spektral ivmelenme / spektral deplasman koordinat sisteminde performans noktasının yeri,
- Performans noktasındaki etkili periyot ve etkili sönümleme oranı verilmektedir.

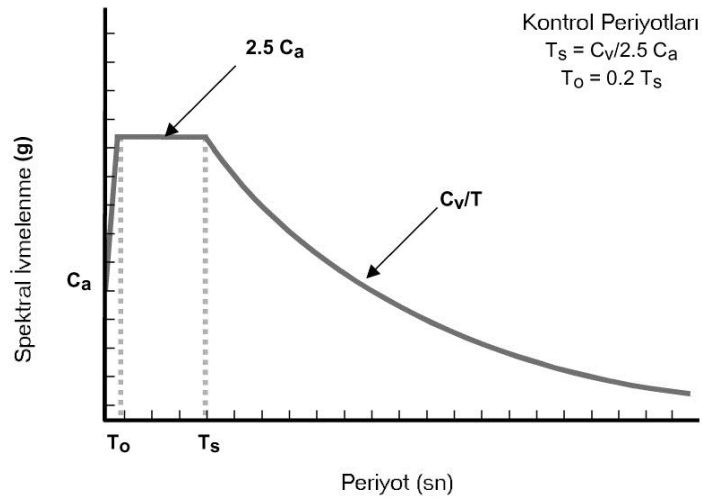
Kırmızı renkle görülen eğriler, dinamik analizden aşına olduğumuz sismik talep (*demand*) spektrumlarıdır. Çeşitli sönümleme oranlarına bağlı olarak göstergede en fazla 4 spektrum çizdirilebilmektedir. Bunlarla yakından ilişkili C_a (ivme – kontrollü) ve C_v (hız – kontrollü) sismik katsayıları için verilen değerler şunlardır [11]:

Tablo 4.1. Zemin cinsi ve deprem bölgesine bağlı olarak değişen C_a ve C_v değerleri

Zemin Cinsi	Sismik Bölge Faktörü Z									
	Z = 0.075		Z = 0.15		Z = 0.20		Z = 0.3		Z = 0.4	
	C_a	C_v	C_a	C_v	C_a	C_v	C_a	C_v	C_a	C_v
S_A	0.06	0.06	0.12	0.12	0.16	0.16	0.24	0.24	$0.32N_a$	$0.32N_v$
S_B	0.08	0.08	0.15	0.15	0.20	0.20	0.30	0.30	$0.40N_a$	$0.40N_v$
S_C	0.09	0.13	0.18	0.25	0.24	0.32	0.33	0.45	$0.40N_a$	$0.56N_v$
S_D	0.12	0.18	0.22	0.32	0.28	0.40	0.36	0.54	$0.44N_a$	$0.64N_v$
S_E	0.19	0.26	0.30	0.50	0.34	0.64	0.36	0.84	$0.36N_a$	$0.96N_v$
S_F	Daha kesin değerler için araziye özel geoteknik araştırma ve dinamik arazi analizi yapılmalıdır									

Buradaki çizelgede zemin cinsi S_A 'dan S_F 'ye doğru kötüleşmektedir. Daha kesin zemin cinsi sınıflandırmaları için ATC – 40 yönetmeliğine başvurulmalıdır. Sismik bölge faktörünün küçük değerleri deprem riskinin az olduğu bölgelere, büyük değerleri riskin çok olduğu bölgelere karşılık gelmektedir. Son olarak, sadece *Zone 4* ($Z = 0.4$) olarak adlandırılan bölgeye mahsus, fay hattına olan uzaklıkla ilgili N_a (değeri 1 ile 1.5 arasında değişiyor) ve N_v (değeri 1 ile 2 arasında değişiyor) yakınlık katsayıları kullanılmaktadır.

Sismik talep spektrumları aşağıdaki şekilde görülen hesaplamalarla elde edilmektedir [9].



Şekil 4.13: Sismik talep spektrumlarının elde edilişi

Pushover eğrisi örneğinde siyah (orijinalinde sarı) renkle görülen eğri ise, “*indirgenmiş sismik talep spektrumu*” adıyla yorumlanabilir. Bunun kapasite

eğrisiyle kesişim noktası “*performans noktası*” olarak tanımlanmıştır. Bu noktanın özelliği; girilen sismik katsayılar, yapı davranış tipi, histerik özellikler, sönümleme oranı vs. ile simüle edilen bir deprem halinde yapının gerçek davranışının yaklaşık olarak tespit edilmesini sağlamasıdır. Şöyle ki, performans noktasındaki deplasman ve taban kesme kuvveti değerleri, böyle bir deprem simülasyonu ile elde edilecek değerlere yakındır. Diğer bir deyişle performans noktasında, kapasite ve sismik talep birbirine eşittir. Buna bağlı olarak yapıda oluşabilecek hasarlar tahmin edilebilir ve güçlendirme ihtiyaçları saptanabilir. Programın bu eğriyi nasıl elde ettiği aşağıdaki çizimde açıklanmıştır [10].



Şekil 4.14: İndirgenmiş sismik talep spektrumunun elde edilmesi

Yukarıdaki şekilde özetlenen hesap prosedürü, ATC – 40 şartnamesinde verilmiş olan *Prosedür B* ile aynıdır. Aradaki tek fark, akmadan sonraki rijitliğin sabit olduğu kabulünün kullanılmamasıdır. Programda, kapasite spektrumuyla sismik talep spektrumları arasında anlamlı bir karşılaştırma yapabilmek amacıyla, kapasite spektrumunu yük – deplasman koordinatlarından ADRS formatına dönüştürmek için ATC – 40 ‘ta verilen

$$S_{ai} = \frac{V_i}{\alpha_1 W} \quad \text{ve} \quad S_{di} = \frac{\Delta_{roof}}{(PF_1 \times \phi_{1,roof})} \quad (4.1)$$

formülleri kullanılmaktadır. Formüllerdeki sembollerin anlamları aşağıdaki gibidir.

S_{ai} : analizin i ’nci adımındaki spektral ivme değeri

S_{di} : analizin i 'ninci adımındaki spektral deplasman değeri

V_i : analizin i 'ninci adımındaki taban kesme kuvveti

W : yapı ağırlığı

Δ_{roof} : tepe deplasmanı

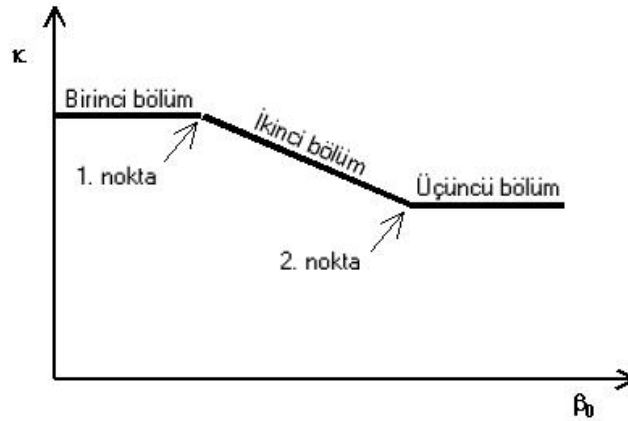
α_1 : yapının birinci doğal titreşim moduna ilişkin modal kütle katsayısı

PF_1 : yapının birinci doğal titreşim moduna ilişkin modal katılım faktörü

$\Phi_{1,roof}$: yapının birinci doğal titreşim modunda tepe noktasının genliği

Deprem sırasında, plastik deformasyonlar vasıtasıyla deprem enerjisinin bir kısmı sönümlendiği için yapıya aktif olarak etkimesi beklenen deprem kuvvetleri (*demand*) azalmaktadır. Bu durumda sismik talep spektrumlarının indirgenmesi gerekir. Aynı anda yapı rijitliğinin azalması sonucunda yapı doğal periyodu artmakta, talep spektrumu ile periyot doğrusunun kesim noktaları gittikçe yatıklaşan bir eğri meydana getirmektedir. Şekil 4.14'te indirgenmiş sismik talep spektrumuna ait “*değişken sönümleme*” tanımlaması ile bu özellik kastedilmektedir.

Pencerenin *Damping Parameters* bölümünde, yapının davranış tipi ve yapının kendi sönümleme oranı ile inşaat sırasında yapıya monte edilebilecek çeşitli sönümleyici malzemelerin (viskoz damperler vb.) sönümleme oranları toplamı girilebilir. Programda verilen davranış tipleri ATC – 40 normlarından alınmış olup A – iyi, B – orta ve C – zayıf yapı performansına karşılık gelmektedir. Kullanıcı tarafından tanımlanmış yapı davranış tiplerinde 1. ve 2. noktaya ait β_0 ve κ koordinatları girilir. β_0 ve κ katsayıları kısaca; tekrarlı yükler halinde, yapı davranış tipine bağlı olarak histerik sönümleme döngülerinin alanlarının hesabıyla ilişkilendirilmiş katsayılardır [10].



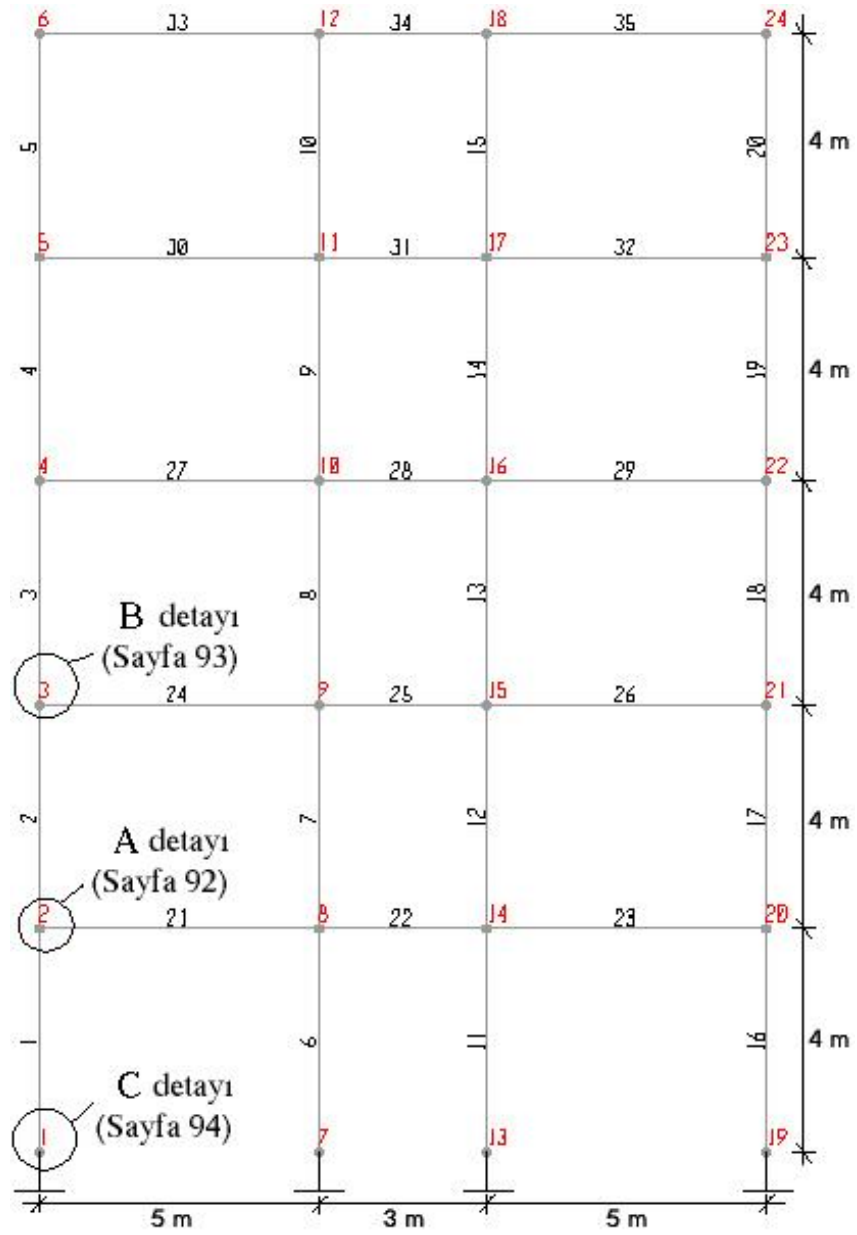
Şekil 4.15: β_0 ve κ katsayıları arasındaki bağıntı

5. UYGULAMALAR

5.1. Kısmi Güvenlik Katsayıları Yöntemine İlişkin Bir Uygulama

5.1.1. Statik Sistem:

Yapının statik sistemi ve dispozisyon planı takip eden şekillerde verilmiştir.



Şekil 5.1.1: Uygulamada kullanılan statik sistem

5.1.2. Yük Analizi:

5.1.2.1. Çerçeve Sabit Yükleri:

Çatı katında	→	İzolasyon : 0.5 kN/m^2 (2 cm şap, 10 cm ısı yalıtımı + 5 cm su yalıtımı) Betonarme betonu (10 cm) : 2.5 kN/m^2 Trapezoidal sac : 0.15 kN/m^2 Asma tavan + çelik taşıyıcısı : 0.15 kN/m^2 Tesisat : 0.3 kN/m^2
Ara katlarda	→	Kaplama : 0.06 kN/m^2 (Gerflor PVC) Betonarme betonu (10 cm) : 2.5 kN/m^2 Trapezoidal sac : 0.15 kN/m^2 Asma tavan + çelik taşıyıcısı : 0.15 kN/m^2 Tesisat : 0.3 kN/m^2 Cephe duvarları : 1.68 kN/m^2 (YTONG G4 sınıfı 20 cm) Bölme duvarları : 0.84 kN/m^2 (YTONG G4 sınıfı 10 cm)

* Duvarlarda kapı ve pencere boşlukları dikkate alınmayacaktır.

* Betonarme döşeme ve döşeme kirişleri kompozit çalıştırılacak, böylelikle döşeme kirişleri yanal doğrultuda tutulu kabul edilecektir.

5.1.2.2. Çerçeve Hareketli Yükleri:

Çatıda	: 2 kN/m^2
Koridor ve ara kat döşemelerinde	: 5 kN/m^2

* Hareketli yük azaltması dikkate alınmayacaktır.

5.1.2.3. Kar Yükü:

Çatı eğimi 0° olduğundan $q_{kar} = 0.75 \text{ kN/m}^2$ (I. Bölge) alınmıştır.

5.1.2.4. Rüzgar Yükü:

0 ~ 8 m için	→	$q_r = 0.5 \text{ kN/m}^2$
8 ~ 20 m için	→	$q_r = 0.8 \text{ kN/m}^2$

5.1.2.5. Deprem Yüğü:

Karşılaştırma yapılacak diğér hesap yöntemlerinde düzlem çerçeve kullanılacağı için sadece enine doğrultuda deprem etkileri dikkate alınacaktır. %5 ekzantrisite etkileri hesaba katılacaktır.

Yapı ağırlığının tayini için $G+0.3Q$ şeklinde bir yük kombinasyonu oluşturularak her katta kolon eksenel kuvvetlerinin toplanması yoluna gidilecektir.

$$\begin{aligned} 1. \text{ deprem bölgesi} & \rightarrow A_0 = 0.4 \\ Z3 \text{ zemin sınıfı} & \rightarrow T_A = 0.15sn \text{ \& } T_B = 0.6sn \\ \text{Yapı tipi : İşhanı} & \rightarrow I = 1 \end{aligned}$$

Taşıyıcı sistemde stabilite çaprazı kullanılmayacak, deprem kuvvetleri sadece çelik çerçevelerce taşınacaktır ($R = 8$).

$$\left. \begin{aligned} T_1 &= 0.08(H)^{3/4} = 0.08 \times (20)^{3/4} = 0.76sn \\ S(T) &= 2.5 \times \left(\frac{0.6}{0.76}\right)^{0.8} = 2.07 \end{aligned} \right\} A(T) = 0.4 \times 1 \times 2.07 = 0.83$$

5.1.3. Analizde Kullanılacak Yükleme Durumları:

5.1.3.1. Rüzgar Yüklemesi:

$$\begin{aligned} V_{r1} &= 0.8 \times 0.5 \times 4 \times 5 = 8kN & V_{r1}' &= 0.4 \times 0.5 \times 4 \times 5 = 4kN \\ V_{r2} &= 0.8 \times \left(\frac{0.5 \times 2}{4} + \frac{0.8 \times 2}{4} \right) \times 5 = 10.4kN & V_{r2}' &= 0.4 \times 2.6 \times 5 = 5.2kN \\ & \quad \quad \quad 2.6kN/m \\ V_{r3} &= 0.8 \times 0.8 \times 4 \times 5 = 12.8kN & V_{r3}' &= 0.4 \times 0.8 \times 4 \times 5 = 6.4kN \\ V_{r4} &= 0.8 \times 0.8 \times 4 \times 5 = 12.8kN & V_{r4}' &= 0.4 \times 0.8 \times 4 \times 5 = 6.4kN \\ V_{r5} &= 0.8 \times 0.8 \times 2 \times 5 = 6.4kN & V_{r5}' &= 0.4 \times 0.8 \times 2 \times 5 = 3.2kN \end{aligned}$$

Çerçeveye uygulanacak yükler eklerde (bkz. Şekil A.1) verilmiştir.

5.1.3.2. Kar Yüklemesi:

$$q_{kar} = 0.75kN/m^2 \rightarrow V_{kar} = 0.75 \times 1 \times 5 = 3.75kN$$

$$\text{Dış akslarda : } V_{kar}' = 0.75 \times 0.5 \times 5 = 1.88kN$$

Çerçeveye uygulanacak yükler eklerde (bkz. Şekil A.2) verilmiştir.

5.1.3.3. Sabit Yükler:

$$\text{çatı katında : } g = 0.5 + 2.5 + 0.15 + 0.15 + 0.3 = 3.6 \text{ kN} / \text{m}^2$$

$$V_g = 3.6 \times 1 \times 5 = 18 \text{ kN} \quad (\text{Döşeme kiriş i aralı ğı 1 m'dir})$$

$$\text{Dış aksta : } V_g' = 3.6 \times 0.5 \times 5 = 9 \text{ kN}$$

$$\text{Ara katlarda : } g = 0.06 + 2.5 + 0.15 + 0.15 + 0.3 = 3.16 \text{ kN} / \text{m}^2$$

Enine do ğrultuda duvarlar dahil edilerek;

$$V_{g1} = 3.16 \times 1 \times 5 + 0.84 \times 1 \times 4 = 19.16 \text{ kN}$$

Boyuna do ğrultuda duvarlar dahil edilerek;

$$V_{g2} = 3.16 \times 1 \times 5 + 0.84 \times 4 \times 5 = 32.6 \text{ kN}$$

$$\text{Dış akslarda : } V_{g2}' = 3.16 \times 0.5 \times 5 + 1.68 \times 4 \times 5 = 41.5 \text{ kN}$$

ereveye uygulanacak yükler eklerde (bkz. Ş ekil A.3) verilmiştir .

5.1.3.4. Hareketli Yükler:

$$\text{çatı katında : } q = 2 \text{ kN} / \text{m}^2 \rightarrow$$

$$V_q = 2 \times 1 \times 5 = 10 \text{ kN} \quad (\text{Dış aksta : } V_q' = 5 \text{ kN})$$

$$\text{Ara katlarda : } q = 5 \text{ kN} / \text{m}^2 \rightarrow$$

$$V_q = 5 \times 1 \times 5 = 25 \text{ kN} \quad (\text{Dış aksta : } V_q' = 12.5 \text{ kN})$$

ereveye uygulanacak yükler eklerde (bkz. Ş ekil A.4) verilmiştir .

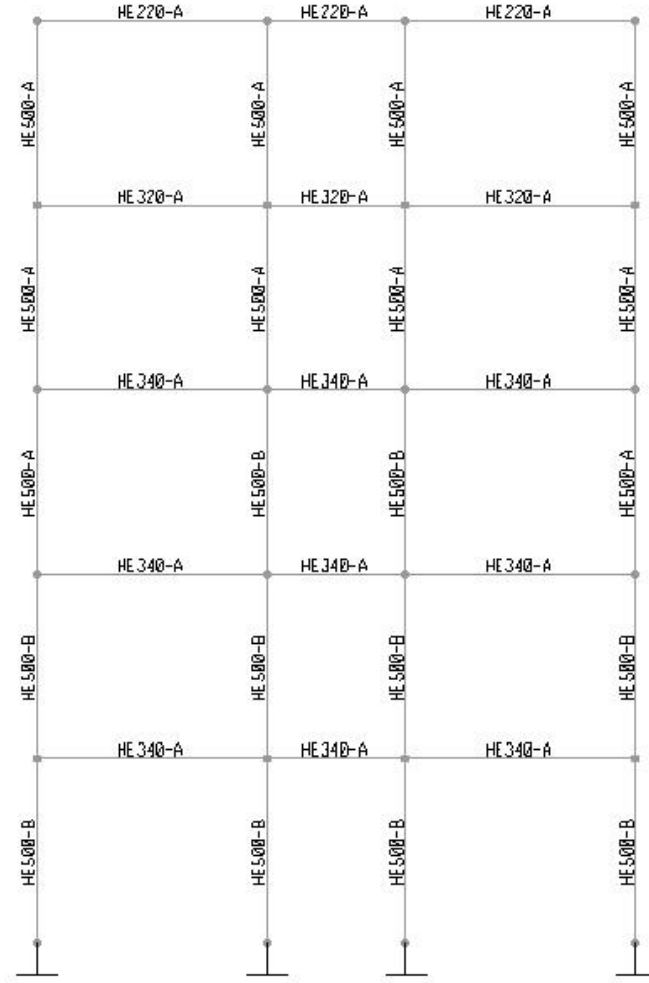
5.1.3.5. ereve Kusurları:

$$n_c = 4 \rightarrow k_c = \sqrt{0.5 + \frac{1}{4}} = 0.87 < 1 \quad \checkmark$$

$$n_s = 5 \rightarrow k_s = \sqrt{0.2 + \frac{1}{5}} = 0.63 < 1 \quad \checkmark$$

$$\varphi_o = \frac{1}{200} \rightarrow \varphi = \frac{1}{200} \times 0.87 \times 0.63 = 2.74 \times 10^{-3}$$

Kolon ve kiriş enkesitleri aşağıdaki şekilde verildiği gibi seçilerek analiz yapılmış, sabit yüklerden oluşan kat ağırlıkları aşağıdaki gibi elde edilmiştir.



Şekil 5.1.3: Çerçevenin teşkilinde tercih edilen enkesitler

$$G_5 = 264.75kN \rightarrow I_{G5} = 2.74 \times 10^{-3} \times 264.75 = 0.73kN$$

$$G_4 = 376.53kN \rightarrow I_{G4} = 1.03kN$$

$$G_3 = 379.94kN \rightarrow I_{G3} = 1.04kN$$

$$G_2 = G_1 = 382.45kN \rightarrow I_{G2} = I_{G1} = 1.05kN$$

Katların her birindeki hareketli yükler toplamı ise;

$$Q_5 = 130kN \rightarrow I_{Q5} = 2.74 \times 10^{-3} \times 130 = 0.36kN$$

$$Q_4 = Q_3 = Q_2 = Q_1 = 325kN \rightarrow I_{Q4} = I_{Q3} = I_{Q2} = I_{Q1} = 0.89kN$$

Hesaplanan bu değerler daha sonra *SABIT* ve *HAREKET* yükleme durumlarına yatay kuvvetler olarak ilave edilecektir.

5.1.3.6. Deprem Yüklemesi:

G+0.3Q yükleme kombinasyonunun sonucunda kat ağırlıkları olarak aşağıdaki değerler elde edilmiştir.

$$W_5 = 303.76kN$$

$$W_3 = 477.44kN$$

$$W_4 = 474.01kN$$

$$W_2 = W_1 = 479.96kN$$

$$\sum W = 8 \times (303.76 + 474.01 + 477.44 + 2 \times 479.96) = 17721.04kN$$

$$\rightarrow V_T = \frac{\sum W A(T)}{R} = \frac{17721.04 \times 0.83}{8} = 1838.56kN$$

$$\sum W_k h_k = 303.76 \times 20 + 474.01 \times 16 + 477.44 \times 12 + 479.96 \times (8 + 4) = 25148.16kN$$

$$F_5 = 1838.56 \times \frac{303.76 \times 20}{25148.16} = 444.15kN$$

$$F_4 = 554.47kN$$

$$F_2 = 280.72kN$$

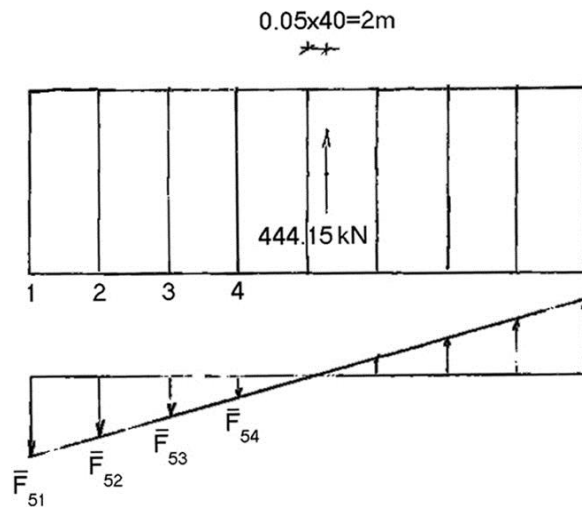
$$F_3 = 418.86kN$$

$$F_1 = 140.36kN$$

② aksı çerçevesine bu değerlerin 1/8'i etkiyecektir. Bunlar düğüm noktalarına döşeme alanlarıyla orantılı olarak dağıtılacaktır.

5.1.3.7. %5 Ekzantrisite Etkisinin Hesabı:

5. kat için:



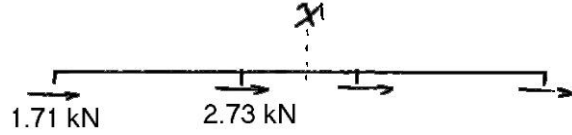
%5 ekzantrisiteyle etkiyen deprem yüklerinin meydana getireceği moment şeklindeki gibi çerçevelere dağıtılmalıdır.

Yapının ağırlık merkezine göre moment alınırsa;

$$444.15 \times (0.05 \times 40) = 2 \times (20 \bar{F}_{51} + 15 \bar{F}_{52} + 10 \bar{F}_{53} + 5 \bar{F}_{54})$$

$$444.15 \times 2 = 2 \bar{F}_{52} \times (20 \times \frac{4}{3} + 15 + 10 \times \frac{2}{3} + 5 \times \frac{1}{3})$$

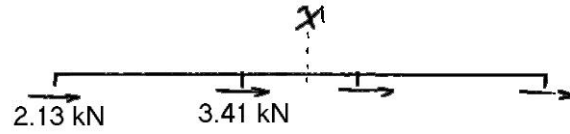
$$\rightarrow \bar{F}_{52} = 8.88 kN$$



4. kat için:

$$554.47 \times 2 = 2 \bar{F}_{42} \times 50$$

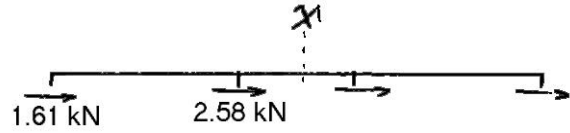
$$\rightarrow \bar{F}_{42} = 11.09 kN$$



3. kat için:

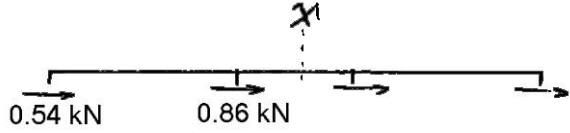
$$418.86 = \bar{F}_{32} \times 50$$

$$\rightarrow \bar{F}_{32} = 8.38 kN$$



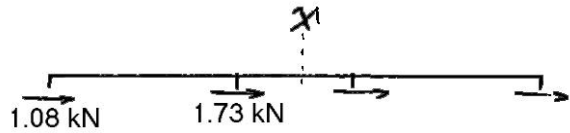
2. kat için:

$$\rightarrow \bar{F}_{22} = 5.61 kN$$



1. kat için:

$$\rightarrow \bar{F}_{12} = 2.81 kN$$



Çerçeveye etkiyecek toplam deprem yükü Şekil A.5'te verilmiştir.

5.1.4. Analiz Sonuçları:

Analizde ikinci mertebe etkiler de dikkate alınmıştır. Konu içerisinde çok fazla kopukluk meydana getirmemek ve yerden tasarruf etmek için sonuçlar eklerde gösterilmiştir. Sırasıyla, düğüm noktalarındaki deplasmanlar ile çerçeve iç kuvvetlerinin tüm yükleme kombinasyonları sonucunda elde edilen değerleri ve her enkesit tipine ait dayanım kontrolleri (programdan alındığı şekliyle) EK B'de verilmektedir.

5.1.4.1. Enkesit Sınıflarının Kontrolü

Örnek olarak sadece bir kiriş ve bir kolon enkesiti ile tahkik yapılacaktır. Bu tahkiklerde Tablo A.1 (Sayfa 135-138) kullanılmaktadır.

$$\text{Fe 360 için } f_y = 235 \text{ N / m}^2 \quad \rightarrow \quad \varepsilon = \sqrt{235 / f_y} = 1.0$$

HE 220 A (Kiriş):

$$t_f = 11 \text{ mm} \quad t_w = 7 \text{ mm} \quad b_f = 220 \text{ mm} \quad d_w = 152 \text{ mm}$$

$$\text{Başlık kısmı:} \quad \frac{220/2}{11} = 10 = 10 \varepsilon \quad \rightarrow \quad \text{Sınıf 1}$$

$$\text{Gövde kısmı:} \quad \frac{152}{7} = 21.7 < 72 \varepsilon \quad \rightarrow \quad \text{Sınıf 1}$$

Sonuç olarak tüm enkesit Sınıf 1'e aittir. Aynı kontroller diğer kiriş enkesitleri için de tekrarlanarak enkesit sınıfları tespit edilebilir. Arzulanan yeterli dönme kapasitesi için bunların da sınıf 1 olması gereklidir.

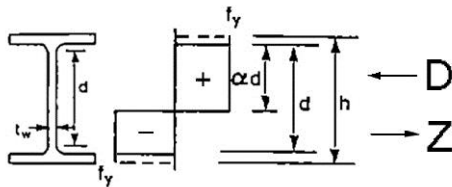
HE 500 A (Kolon):

$$t_f = 23 \text{ mm} \quad t_w = 12 \text{ mm} \quad b_f = 300 \text{ mm} \quad d_w = 390 \text{ mm}$$

$$\text{Başlık kısmı:} \quad \frac{300/2}{23} = 6.52 < 10 \varepsilon \quad \rightarrow \quad \text{Sınıf 1}$$

Gövde kısmı:

$$(N_{sd})_{\max} = 553.68 \text{ kN (18 numaralı kolon, KAR yükleme kombinasyonu)}$$



$$N_{sd} = D - Z$$

$$N_{sd} = (A_f + \alpha d t_w) f_y - (A_f + (1 - \alpha) d t_w) f_y$$

$$N_{sd} = d t_w (2 \alpha - 1) f_y$$

$$\alpha = \frac{1}{2} \left(\frac{N_{sd}}{d t_w f_y} + 1 \right) = \frac{1}{2} \times \left(\frac{553.68}{39 \times 1.2 \times 3.5} + 1 \right) = 0.75 > 0.5$$

$$\rightarrow \frac{d}{t_w} \leq \frac{396 \varepsilon}{13 \alpha - 1} \text{ sağlandığı takdirde enkesit gövdesi Sınıf 1'e girecektir.}$$

$$\rightarrow \frac{390}{12} = 32.5 < \frac{396}{13 \times 0.75 - 1} = 45.26 \quad \checkmark$$

Buna göre tüm enkesit Sınıf 1'dir. Aynı kontroller diğer kolon enkesiti için de tekrarlanarak enkesit sınıfı tespit edilebilir. Arzulanan yeterli dönme kapasitesi için bunun da sınıf 1 olması gereklidir.

5.1.4.2. Deprem Yönetmeliği Ötelenme Şartları

Yönetmeliğimizce bu şart, taşıyıcı olmayan yapı elemanlarında fazla hasar oluşmaması ve ikinci mertebe etkilerin küçük kalması amaçlanarak düzenlenmiştir. Plastik global analiz kullanımıyla daha küçük kesitlere sahip bir çerçeve tasarlanabilmesine rağmen, bu uygulamadaki çerçeveyi oluşturan kesitlerin bu şart sağlanacak biçimde seçilmesine gayret edilmiştir. En büyük ara kat ötelenmeleri, hazırlanan yükleme kombinasyonları arasından *DEPREM* isimli kombinasyon sonucunda elde edilmiştir. Değerlerin hesabında 1'den 6'ya kadar olan düğüm noktaları referans alınmıştır.

$$\Delta_1 = 0.00603m$$

$$\Delta_2 = 0.01027m$$

$$\Delta_3 = 0.0101m \quad \rightarrow \quad \left(\frac{\Delta_i}{h_i} \right)_{\max} = \frac{0.01027}{4} = 2.57 \times 10^{-3} \left\{ \begin{array}{l} < 0.0035 \\ \approx \frac{0.02}{R} = 0.0025 \end{array} \right. \quad \checkmark$$

$$\Delta_4 = 0.0084m$$

$$\Delta_5 = 0.0072m$$

Eurocode 3'e göre bu ara kat ötelenmelerinin kontrolü de (2.48) bağıntısı esas alınarak (bkz. Bölüm 2.9 Sayfa 31) aşağıdaki gibi yapılabilir:

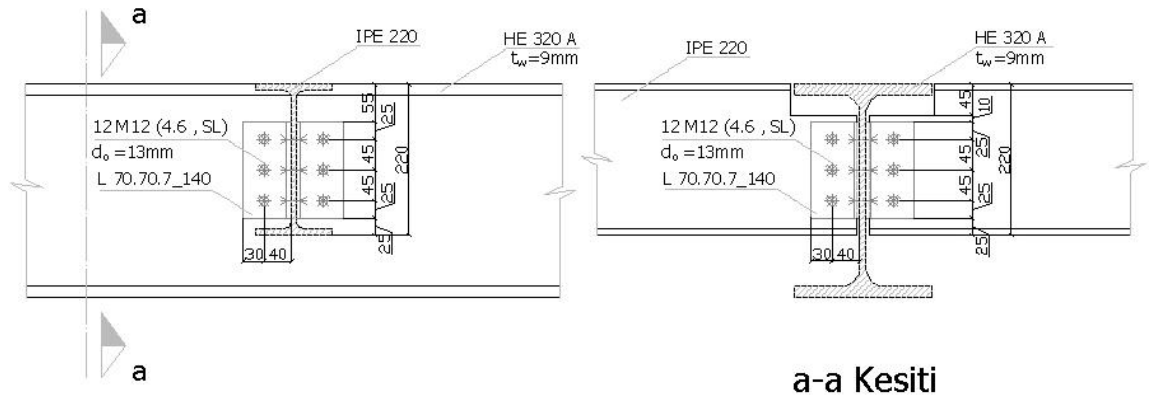
$$(\Delta_i)_{\max} = 0.01027m < \frac{h}{300} = \frac{4}{300} = 0.01333m \quad \checkmark$$

$$\delta = \sum \Delta_i = 0.042m \approx \frac{h}{500} = \frac{20}{500} = 0.04m$$

5.1.5. Döşeme Kirişlerinin Boyutlandırılması

Burada örnek olarak ara katlardaki döşeme kirişlerinin kat kirişlerine birleşimi tahkik edilecektir. Döşeme kirişlerinin birleşimi gövdelerinden bulonlu olarak yapılacaktır, dolayısıyla statik sistemlerinin basit kiriş biçiminde tasarlanması uygun olacaktır.

Aşağıdaki şekilde gösterilen birleşim 4. katın ① numaralı aksındaki kat kirişlerine döşeme kirişlerinin bağlantısıdır. Düşey yükün daha fazla olduğu iç akslardaki kat kirişlerine iki taraftan döşeme kirişi mesnetlendiği için, kat kirişi gövdesindeki bulonlar çift tesirli olup dayanımları daha fazladır. Yüklerin ve kat kirişi boyutlarının azaldığı çatı katı için ise döşeme kirişi boyutları ve birleşim araçlarının aralıkları buna uyacak şekilde değiştirilebilir. Burada bu değişikliği gösterme ihtiyacı duyulmamıştır.



Enkesit Sınıfının Tespiti: ($\varepsilon = 1.0$)

Başlık kısmı: $\frac{110/2}{9.2} = 5.98 = 10 \varepsilon \rightarrow$ Sınıf 1

Gövde kısmı: $\frac{177.6}{5.9} = 30.1 < 72 \varepsilon \rightarrow$ Sınıf 1

Sonuç olarak tüm enkesit Sınıf 1'e aittir.

Enkesitin Kesme Dayanımı Kontrolü:

$$V_{pl,Rd} = \frac{(1.04 \times 22 \times 0.59) \times 23.5}{\sqrt{3} \times 1.1} = 166.5kN > V_{sd} = 29.43kN \quad \checkmark$$

$V_{sd} < 0.5 V_{pl,Rd} = 83.25kN$ olduğundan kesme kuvvetinden dolayı eğilme momenti dayanımının indirgenmesine gerek yoktur.

Enkesitin Eğilme Dayanımı Kontrolü:

$$M_{pl,Rd} = \frac{285.4 \times 23.5}{1.1} = 6097kNcm = 60.97kNm > M_{sd} = 36.78kNm \quad \checkmark$$

Sehim Kontrolü:

$$\delta_{\max} = \frac{5}{384} \times \frac{(7.5 + 4.27) \times 10^{-2} \times 500^4}{20000 \times 2772} = 1.73cm < \frac{500}{250} = 2cm \quad \checkmark$$

$$\delta_2 = \frac{5}{384} \times \frac{7.5 \times 10^{-2} \times 500^4}{20000 \times 2772} = 1.1cm < \frac{500}{300} = 1.67cm \quad \checkmark$$

Bulon Aralıklarının Kontrolü:

$$e_1 = 25mm \begin{cases} > 1.2 \times 13 = 15.6mm \\ < \max(12 \times 5.9 = 70.8mm; 150mm) = 150mm \end{cases} \quad \checkmark$$

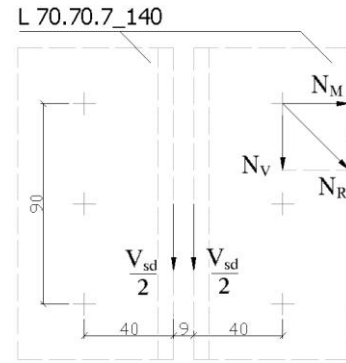
$$e_2 = 30mm \begin{cases} > 1.5 \times 13 = 19.5mm \\ < 150mm \end{cases} \quad \checkmark$$

$$p_1 = 45mm \begin{cases} > 2.2 \times 13 = 28.6mm \\ < \min(14 \times 5.9 = 82.6mm; 200mm) = 82.6mm \end{cases} \quad \checkmark$$

Kat Kirişi Gövdesindeki Bulonların Kontrolü:

$$M_{sd} = \frac{29.43}{2} \times 4 = 58.86 \text{ kNcm}$$

$$\left. \begin{aligned} N_M &= \frac{58.86}{9} = 6.54 \text{ kN} \\ N_V &= \frac{29.43}{6} = 4.91 \text{ kN} \end{aligned} \right\} N_R = 8.18 \text{ kN}$$



Bulonlar tek tesirli olduğundan bir bulonun makaslama dayanımı;

$$F_{V,Rd} = \frac{0.6 \times 40 \times 0.843}{1.25} = 16.19 \text{ kN}$$

Kat kirişi gövdesinin delik cidarında ezilme dayanımı ise;

$$\alpha = \min\left(\frac{25}{3 \times 13}; \frac{45}{3 \times 13} - \frac{1}{4}; \frac{40}{36}; 1.0\right) = \min(0.641; 0.904; 1.111; 1.0) = 0.641$$

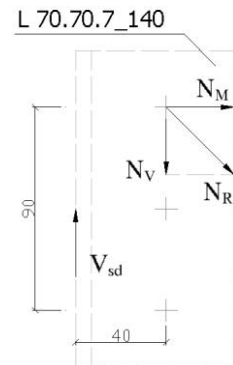
$$F_{b,Rd} = \frac{2.5 \times 0.641 \times 36 \times 1.2 \times 0.9}{1.25} = 49.84 \text{ kN}$$

$$\rightarrow F_{Rd} = \min(16.19; 49.84) = 16.19 \text{ kN} > N_R = 8.18 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Döşeme Kirişi Gövdesindeki Bulonların Kontrolü:

$$M_{sd} = 29.43 \times 4 = 117.72 \text{ kNcm}$$

$$\left. \begin{aligned} N_M &= \frac{117.72}{9} = 13.08 \text{ kN} \\ N_V &= \frac{29.43}{3} = 9.81 \text{ kN} \end{aligned} \right\} N_R = 16.35 \text{ kN}$$



Bulonlar çift tesirli olduğundan bir bulonun makaslama dayanımı;

$$F_{V,Rd} = 2 \times \frac{0.6 \times 40 \times 0.843}{1.25} = 32.38 \text{ kN}$$

Döşeme kirişi gövdesinin delik cidarında ezilme dayanımı ise;

$$\alpha = 0.641 \rightarrow F_{b,Rd} = \frac{2.5 \times 0.641 \times 36 \times 1.2 \times 0.59}{1.25} = 32.68kN$$

$$\rightarrow F_{Rd} = \min(32.38; 32.68) = 32.38kN > N_R = 16.35kN \quad \checkmark$$

Döşeme Kirişi Mesnede Gövdede Makaslama Kopması Kontrolü:

$$\begin{aligned} a_1 &= 35mm & L_v &= 90mm \\ a_2 &= 35mm & k &= 0.5 \\ a_3 &= 50mm & d_{o,t} &= d_{o,v} = 13mm \end{aligned}$$

$$L_1 = a_1 = 35mm < 5 \times 12 = 60mm$$

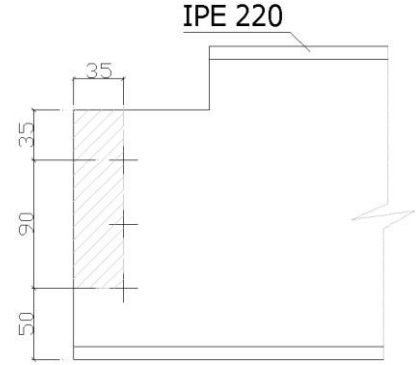
$$L_2 = (35 - 0.5 \times 13) \times \frac{36}{23.5} = 43.66mm$$

$$L_3 = 90 + 35 + 50 = 175mm$$

$$L_{v,eff} = 90 + 35 + 43.66 = 168.66mm < L_3 = 175mm$$

$$(90 + 35 + 50 - 3 \times 13) \times \frac{36}{23.5} = 208.34mm > L_3 = 175mm \quad \checkmark$$

$$V_{eff,Rd} = \frac{(0.59 \times 16.87) \times 23.5}{\sqrt{3} \times 1.1} = 122.77kN > V_{sd} = 29.43kN$$



Kornerlerde Kontrol:

$$V_{sd} = \frac{29.43}{2} = 14.72kN$$

$$M_{sd} = \frac{29.43}{2} \times 4 = 58.86kNcm$$

$$\left. \begin{aligned} A_v &= 14 \times 0.7 = 9.8cm^2 \\ A_{v,net} &= 14 \times 0.7 - 3 \times 0.7 \times 1.3 = 7.07cm^2 \end{aligned} \right\} \frac{7.07}{9.8} = 0.72 > \frac{23.5}{36} = 0.65$$

olduğundan kesme kuvveti alanında indirgeme yapılmayabilir.

$$V_{pl,Rd} = \frac{9.8 \times 23.5}{\sqrt{3} \times 1.1} = 120.88kN > V_{sd} = 14.72kN \quad \checkmark$$

$V_{sd} < 0.5V_{pl,Rd} = 60.44kN$ olduğundan kesme kuvvetinden dolayı eğilme momenti dayanımının indirgenmesine gerek yoktur. Ancak,

$$\left. \begin{aligned} A_t &= \frac{14 \times 0.7}{2} = 4.9 \text{ cm}^2 \\ A_{t,net} &= \frac{(14 - 3 \times 1.3) \times 0.7}{2} = 3.54 \text{ cm}^2 \end{aligned} \right\} 0.9 \times \frac{3.54}{4.9} = 0.65 < \frac{23.5}{36} \times \frac{1.25}{1.1} = 0.74$$

olduğundan çekme bölgesinde enkesit zayıflaması göz önüne alınmalıdır. Dolayısıyla,

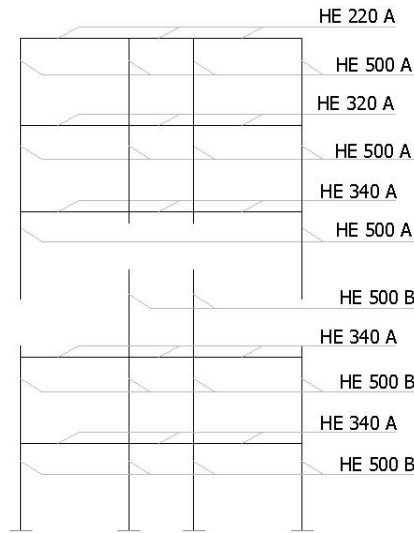
$$W_{pl} = \frac{0.7 \times 14^2}{4} - 1.3 \times 0.7 \times 4.5 = 30.21 \text{ cm}^3$$

$$M_{pl,Rd} = \frac{30.21 \times 23.5}{1.1} = 645.4 \text{ kNcm} > M_{sd} = 58.86 \text{ kNcm}$$

√

5.1.6. Kolon – Kiriş Birleşimi

Çerçeve köşeleri için uygulanabilecek birleşim tarzı Şekil 5.1.6’da verilmiştir. Çerçeve köşelerinin rijit birleşim olması arzulandığından kirişlerin, atölye şartları altında inşaat sahasında küt kaynaklarla kolonlara birleştirilmesi düşünülmektedir. Çerçevelerin, aşağıdaki şekilde görüldüğü gibi ikişer parça halinde hazırlanıp kolon ek yerlerinden birbirine monte edilmesi planlanmaktadır.

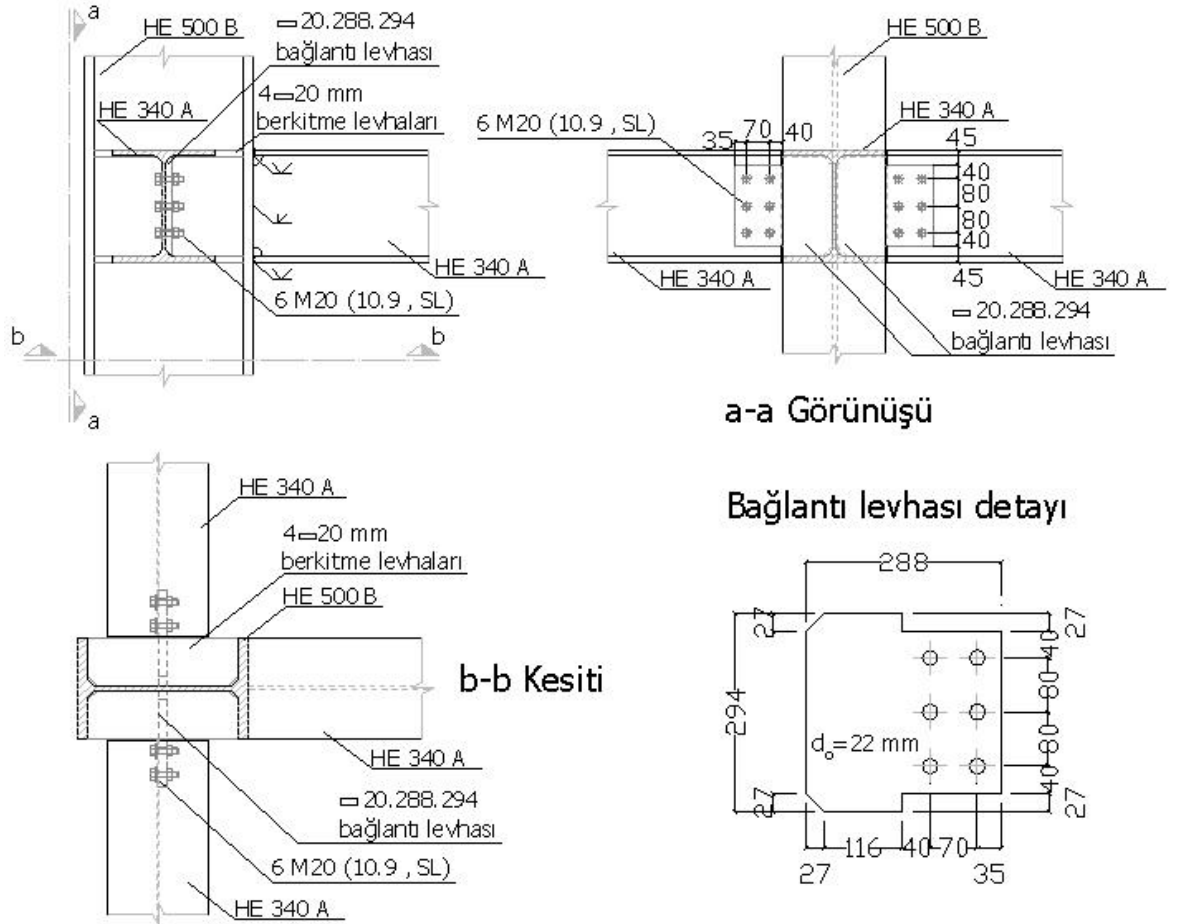


Şekil 5.1.5: Planlanan çerçeve birleştirme programı

Kolon – kiriş birleşiminde tercihen altta ve/veya üstte guseler kullanılabilir. Boyuna doğrultuda ise, kat kirişleriyle aynı enkesite sahip kirişlerin mafsallı olarak kolonlara birleştirilmesi düşünülmektedir. Böylece her çerçevenin bir diğerine bağlantısı da yapılmış olacaktır. Birleşimde kullanılan bağlantı levhaları doğrudan kolon

gövdesine değil, kolon berkitme levhalarına kaynaklanacaktır. Berkitme levhalarının kolonlara birleşimi ve bağlantı levhasının berkitme levhalarına birleşimi köşe kaynaklarla yapılabilir.

Tabii söylemek gerekir ki burada tasarlanan çerçeve köşesi birleşimi tamamen tahmini olup kullanılan parçaların ve birleşimin kendisinin etkiyen yüklere karşı dayanımı, ayrıntıların fazlalığı yüzünden tahkik edilmemiştir.

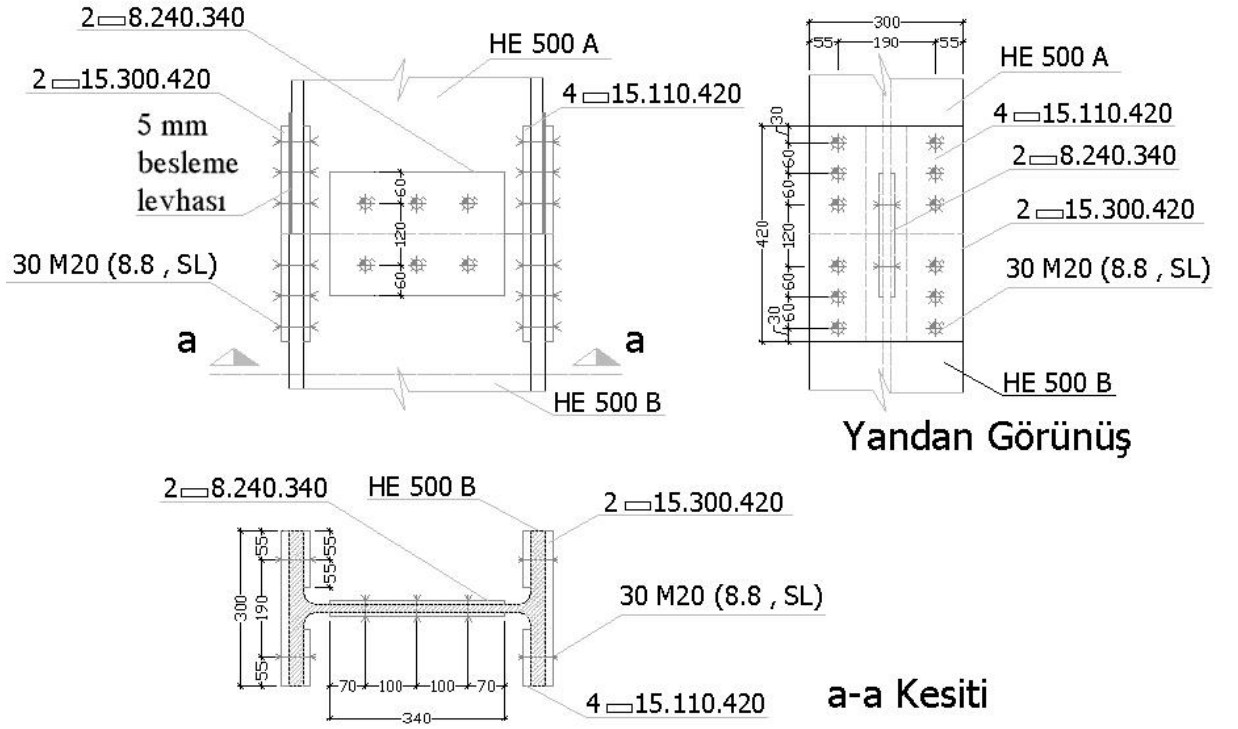


Şekil 5.1.6: Tahmini kolon – kiriş birleşimi

5.1.7. Kolon Eki Montajı

Buradaki birleşim de tamamen tahmini olup tahkik yapılmamıştır. Arzu edilirse gövde ek levhalarının altına da ~ 1 mm'lik besleme levhaları konulabilir.

Montajı kolaylaştırmak için gövde ek levhaları kolonların gövdelerine önceden köşe kaynaklarla birleştirilebilir. Aynı şekilde dış başlık levhaları da HE 500 B'nin başlığına kaynaklanmış olarak hazırlanabilir. Tabii bu durumda levha genişliğinin 280 ~ 290 mm'ye düşürülmesi uygun olacaktır.



Şekil 5.1.7: Tahmini kolon eki montajı

Kolon ekinin, kat alt veya üst seviyesinden 0.5 m içerde yapılması planlanmaktadır. Ancak eklerin yaklaşık olarak plastik mafsall oluşması beklenen noktalarda teşkil edilmesi Bölüm 5.2’de hedeflenen göçme mekanizmasının sağlanmasını engelleyebilir. Dolayısıyla ekin, mafsallaşma beklenmeyen bir bölgeye kaydırılması veya bulon yerine kaynakla yapılması belki de daha uygun olacaktır.

5.1.8. Kolon Ayağı Montajı

Her ne kadar Eurocode 3 ile bilgi verilirken kolon ayaklarına değinilmemişse de, bu uygulamada gerekli görülen ankastre kolon ayağı montajı için yaklaşık olarak Şekil 5.1.8’de verilen birleşim şekli kullanılabilir. Bu teşkil tarzının kama ve ankraj bulonlarıyla birlikte her iki doğrultuda yeterli rijtliği sağlayacağı tahmin edilmektedir, burada da tahkik yapılmamıştır.

Montaj aşamasında; taban levhaları ve kamaların çerçeve kolonlarına kaynaklanmış olarak hazırlanması, her bir çerçeve alt bölümünün (bkz. Bölüm 5.1.6) ankraj bulonları yerleştirilmiş ve henüz prizini tamamlamamış olan beton içine daldırılması ve bulonların sıkılması düşünülmektedir.

5.2. MAZZOLANİ & PİLUSO'NUN PLASTİK HESAP YÖNTEMİNE İLİŞKİN BİR UYGULAMA (Aynı Çerçeve)

5.2.1. Katlara Etkiyen Deprem Kuvvetleri

$$\begin{aligned} F_1 &= 20.35kN & F_2 &= 40.7kN & F_3 &= 60.74kN \\ F_4 &= 80.4kN & F_5 &= 64.4kN \end{aligned}$$

5.2.2. Katlara Etkiyen Düşey Çerçeve Kuvvetleri

$$V_1 = V_2 = V_3 = V_4 = 664.8kN \quad V_5 = 412.75kN$$

5.2.3. Çerçeveadaki Kirişlerin Moment Dayanımları

$$\underline{HE\ 220\ A\ için:} \quad M_{pl,Rd} = \frac{568.5 \times 23.5}{1.1} = 121.45kNm$$

$$\underline{HE\ 320\ A\ için:} \quad M_{pl,Rd} = 347.8kNm$$

$$\underline{HE\ 340\ A\ için:} \quad M_{pl,Rd} = 395.23kNm$$

Bu değerlere göre her kattaki kirişlerde oluşan plastik mafsalların moment dayanımları toplamı sırasıyla şunlar olmaktadır:

$$\begin{aligned} \underline{1. kat:} & 2371.38kNm & \underline{2. kat:} & 2371.38kNm & \underline{3. kat:} & 2371.38kNm \\ \underline{4. kat:} & 2086.8kNm & \underline{5. kat:} & 728.7kNm \end{aligned}$$

5.2.4. Çerçeveadaki Kolonların (İndirgenmemiş) Dayanımları

$$\underline{HE\ 500\ A\ için:} \quad M_{pl,Rd} = \frac{3949 \times 23.5}{1.1} = 843.65kNm$$

$$N_{pl,Rd} = \frac{197.5 \times 23.5}{1.1} = 4219.32kN$$

$$\underline{HE\ 500\ B\ için:} \quad M_{pl,Rd} = 1028.66kNm$$

$$N_{pl,Rd} = 5097.36kN$$

Kolonların indirgenmiş plastik moment dayanımlarının hesabı için, kiriş uçlarına;

$$V_{pl} = \frac{M_{A,pl,Rd} + M_{B,pl,Rd}}{L}$$

kadar kesme kuvvetleri eklenerek “*PLASTIK*” adı verilen yükleme durumları oluşturulmuştur. Denklemdaki M_A ve M_B kirişin iki ucundaki moment dayanımı değerleri, L ise kirişin açıklığıdır. İlgili mekanizmaya bağlı olarak plastik mafsallardan oluşan kirişlere kendi dayanım değerleri baz alınarak yukarıdaki kuvvet eklenmiş, bu şekilde kolonların göçme anındaki aksel kuvvetlerinin hesaplanması yoluna gidilmiştir. Bu uygulamadaki çerçeve için muhtemel tüm mekanizma durumlarına ilişkin “*PLASTIK*” yüklemeler ile rüzgar kuvvetleri haricindeki diğer tüm yükler kombine edilmiş, analiz sonucunda bu yük kombinasyonlarından elde edilen iç kuvvetler eklerde (bkz. EK C) verilmiştir.

5.2.5. Mekanizma Durumları

Global Mekanizma İçin İndirgenmiş Kolon Moment Dayanımları

Bunun için eklerde (bkz. Şekil A.6) verilen yükleme durumu oluşturularak *GOCME* adıyla yeni bir yükleme kombinasyonu üretilmiştir. Bu mekanizmaya ait kinematikçe en uygun çarpanın hesabında 1, 6, 11 ve 16 numaralı kolonların indirgenmiş moment dayanımlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu değerlerin hesaplanmasında, Tablo 2.7’de (Sayfa 35) verilen formüllerden yararlanılacaktır. Yazarlar konuyla ilgili daha fazla açıklama yapmadıklarından momentin kesme kuvvetiyle olan etkileşiminde $V_{sd} \leq 0.5V_{pl,Rd}$ kabul edilecektir.

$$\text{Kolon 1: HE 500 B için } N_{sd} = 17.99kN \quad \rightarrow \quad M_{N,Rd} = 1028.66kNm$$

$$\text{Kolon 6: HE 500 B için } N_{sd} = 544.63kN \quad \rightarrow \quad M_{N,Rd} = 1019.82kNm$$

$$\text{Kolon 11: HE 500 B için } N_{sd} = 1329.56kN \quad \rightarrow \quad M_{N,Rd} = 843.99kNm$$

$$\text{Kolon 16: HE 500 B için } N_{sd} = 1372.73kN \quad \rightarrow \quad M_{N,Rd} = 834.32kNm$$

Buna göre 1. kat indirgenmiş kolon momentleri toplamı 3726.79 kN olmaktadır.

$$\alpha_o^{(g)} = \frac{\sum_{i=1}^{n_c} M_{c,i1} + \sum_{k=1}^{n_s} \left(\sum_{j=1}^{n_b} 2 M_{b,jk} \right)}{\sum_{k=1}^{n_s} F_k h_k}$$

$$= \frac{3726.79 + 2371.38 \times 3 + 2086.8 + 728.7}{\frac{20.35 \times 4 + 40.7 \times 8 + 60.74 \times 12 + 80.4 \times 16 + 64.4 \times 20}{3710.28 \text{ kNm}}} = \mathbf{3.681}$$

$$\gamma_s^{(g)} = \frac{\frac{1}{h_{n_s}} \sum_{k=1}^{n_s} V_k h_k}{\sum_{k=1}^{n_s} F_k h_k} = \frac{1}{20} \frac{664.8 \times (4+8+12+16) + 412.75 \times 20}{3710.28} = \mathbf{0.47 \text{ 1/m}}$$

1. Tip Mekanizmalar

1. Tip 1. Kat Mekanizması İçin İndirgenmiş Kolon Moment Dayanımları

Bu 1. kat mekanizmasıyla (3. tip) aynıdır. Aslında bu mekanizmada uçlarında plastik mafsallardan oluşan kirişler olabileceği gerçeğine rağmen, böyle bir ihtimalin kombinasyon sayısının çok fazla olması yüzünden burada ihmal edilmiştir. Dolayısıyla indirgenmiş kolon momentlerinin hesabında, çerçevenin analizinde *DEPREM* adıyla kullanılmış olan kombodan yararlanılacaktır. Bu mekanizmaya ait kinematikçe en uygun çarpanın hesabında 1, 6, 11 ve 16 numaralı kolonların indirgenmiş moment dayanımlarına ihtiyaç duyulmaktadır.

$$\text{Kolon 1: HE 500 B için } N_{sd} = 512.56 \text{ kN} \rightarrow M_{N,Rd} = 1027 \text{ kNm}$$

$$\text{Kolon 6: HE 500 B için } N_{sd} = 757.13 \text{ kN} \rightarrow M_{N,Rd} = 972.22 \text{ kNm}$$

$$\text{Kolon 11: HE 500 B için } N_{sd} = 1116.99 \text{ kN} \rightarrow M_{N,Rd} = 891.61 \text{ kNm}$$

$$\text{Kolon 16: HE 500 B için } N_{sd} = 878.23 \text{ kN} \rightarrow M_{N,Rd} = 945.09 \text{ kNm}$$

Buna göre 1. kat indirgenmiş kolon momentleri toplamı 3835.92 kN olmaktadır.

$$\alpha_{oi_m}^{(1)} = \alpha_{o1}^{(1)} = \frac{\sum_{i=1}^{n_c} M_{c,i1} + \sum_{k=1}^{i_m-1} \left(\sum_{j=1}^{n_b} 2 M_{b,jk} \right) + \sum_{i=1}^{n_c} M_{c,ii_m}}{\sum_{k=1}^{i_m} F_k h_k + h_{i_m} \sum_{k=i_m+1}^{n_s} F_k}$$

$$= \frac{3835.92 \times 2}{\frac{(20.35 + 40.7 + 60.74 + 80.4 + 64.4) \times 4}{1066.36 \text{ kNm}}} = \mathbf{7.194}$$

$$\gamma_{s i_m}^{(1)} = \gamma_{s1}^{(1)} = \frac{\frac{1}{h_{i_m}} \left(\sum_{k=1}^{i_m} V_k h_k + h_{i_m} \sum_{k=i_m+1}^{n_s} V_k \right)}{\sum_{k=1}^{i_m} F_k h_k + h_{i_m} \sum_{k=i_m+1}^{n_s} F_k}$$

$$= \frac{1}{4} \frac{(664.8 \times 4 + 412.75) \times 4}{1066.36} = \mathbf{2.881} \text{ 1/m}$$

1. Tip 2. Kat Mekanizması İçin İndirgenmiş Kolon Moment Dayanımları

Bunun için Şekil A.7’de verilen yükleme oluşturularak GOCME12 adında bir yükleme kombinasyonu üretilmiştir. Bu mekanizmaya ait kinematikçe en uygun çarpanın hesabında 1, 2, 6, 7, 11, 12, 16 ve 17 numaralı kolonların indirgenmiş dayanımları gerekmektedir.

<u>Kolon 1:</u> HE 500 B için	$N_{sd} = 531.5kN$	$\rightarrow$	$M_{N,Rd} = 1022.76kNm$
<u>Kolon 2:</u> HE 500 B için	$N_{sd} = 538.88kN$	$\rightarrow$	$M_{N,Rd} = 1021.1kNm$
<u>Kolon 6:</u> HE 500 B için	$N_{sd} = 834.19kN$	$\rightarrow$	$M_{N,Rd} = 954.95kNm$
<u>Kolon 7:</u> HE 500 B için	$N_{sd} = 737.45kN$	$\rightarrow$	$M_{N,Rd} = 976.62kNm$
<u>Kolon 11:</u> HE 500 B için	$N_{sd} = 1040.01kN$	$\rightarrow$	$M_{N,Rd} = 908.85kNm$
<u>Kolon 12:</u> HE 500 B için	$N_{sd} = 733.75kN$	$\rightarrow$	$M_{N,Rd} = 977.45kNm$
<u>Kolon 16:</u> HE 500 B için	$N_{sd} = 859.21kN$	$\rightarrow$	$M_{N,Rd} = 949.35kNm$
<u>Kolon 17:</u> HE 500 B için	$N_{sd} = 547.37kN$	$\rightarrow$	$M_{N,Rd} = 1019.2kNm$

Buna göre 1. ve 2. kat indirgenmiş kolon momentleri toplamı sırasıyla 3835.91 kN ve 3994.37 kN olmaktadır.

$$\alpha_{o2}^{(1)} = \frac{3835.91 + 2371.38 + 3994.37}{\frac{20.35 \times 4 + (40.7 + 60.74 + 80.4 + 64.4) \times 8}{2051.32kNm}} = \mathbf{4.973}$$

$$\gamma_{s2}^{(1)} = \frac{1}{8} \frac{664.8 \times 4 + (664.8 \times 3 + 412.75) \times 8}{2051.32} = \mathbf{1.336} \text{ 1/m}$$

1. Tip 3. Kat Mekanizması İçin İndirgenmiş Kolon Moment Dayanımları

Bunun için Şekil A.8’de verilen yükleme oluşturularak GOCME13 adında bir yükleme kombinasyonu üretilmiştir. Bu mekanizmaya ait kinematikçe en uygun çarpanın hesabında 1, 3, 6, 8, 11, 13, 16 ve 18 numaralı kolonların indirgenmiş dayanımları gerekmektedir.

$$\text{Kolon 1: HE 500 B için } N_{sd} = 371.01kN \rightarrow M_{N,Rd} = 1028.66kNm$$

$$\text{Kolon 3: HE 500 A için } N_{sd} = 386.29kN \rightarrow M_{N,Rd} = 843.65kNm$$

$$\text{Kolon 6: HE 500 B için } N_{sd} = 740.64kN \rightarrow M_{N,Rd} = 975.91kNm$$

$$\text{Kolon 8: HE 500 B için } N_{sd} = 542.67kN \rightarrow M_{N,Rd} = 1020.25kNm$$

$$\text{Kolon 11: HE 500 B için } N_{sd} = 1133.56kN \rightarrow M_{N,Rd} = 887.89kNm$$

$$\text{Kolon 13: HE 500 B için } N_{sd} = 526.69kN \rightarrow M_{N,Rd} = 1023.83kNm$$

$$\text{Kolon 16: HE 500 B için } N_{sd} = 1019.7kN \rightarrow M_{N,Rd} = 913.4kNm$$

$$\text{Kolon 18: HE 500 A için } N_{sd} = 394.34kN \rightarrow M_{N,Rd} = 843.65kNm$$

Buna göre 1. ve 3. kat indirgenmiş kolon momentleri toplamı sırasıyla 3805.86 kN ve 3731.38 kN olmaktadır.

$$\alpha_{o3}^{(1)} = \frac{3805.86 + 2371.38 \times 2 + 3731.38}{\frac{20.35 \times 4}{4} + \frac{40.7 \times 8}{4} + \frac{(60.74 + 80.4 + 64.4) \times 12}{4} + \frac{2873.48kNm}{3}} = 4.274$$

$$\gamma_{s3}^{(1)} = \frac{1}{12} \frac{664.8 \times (4+8) + (664.8 \times 2 + 412.75) \times 12}{2873.48} = 0.838 \text{ 1/m}$$

1. Tip 4. Kat Mekanizması İçin İndirgenmiş Kolon Moment Dayanımları

Bunun için Şekil A.9’da verilen yükleme oluşturularak GOCME14 adında bir yükleme kombinasyonu üretilmiştir. Bu mekanizmaya ait kinematikçe en uygun çarpanın hesabında 1, 4, 6, 9, 11, 14, 16 ve 19 numaralı kolonların indirgenmiş dayanımları gerekmektedir.

$$\text{Kolon 1: HE 500 B için } N_{sd} = 209.88kN \rightarrow M_{N,Rd} = 1028.66kNm$$

$$\text{Kolon 4: HE 500 A için } N_{sd} = 235.66kN \rightarrow M_{N,Rd} = 843.65kNm$$

$$\text{Kolon 6: HE 500 B için } N_{sd} = 649.91kN \rightarrow M_{N,Rd} = 996.23kNm$$

$$\text{Kolon 9: HE 500 A için } N_{sd} = 342.96kN \rightarrow M_{N,Rd} = 843.65kNm$$

$$\text{Kolon 11: HE 500 B için } N_{sd} = 1224.28kN \rightarrow M_{N,Rd} = 867.57kNm$$

$$\text{Kolon 14: HE 500 A için } N_{sd} = 324.81kN \rightarrow M_{N,Rd} = 843.65kNm$$

$$\text{Kolon 16: HE 500 B için } N_{sd} = 1180.84kN \rightarrow M_{N,Rd} = 877.3kNm$$

$$\text{Kolon 19: HE 500 A için } N_{sd} = 241.64kN \rightarrow M_{N,Rd} = 843.65kNm$$

Buna göre 1. ve 4. kat indirgenmiş kolon momentleri toplamı sırasıyla 3769.76 kN ve 3374.6 kN olmaktadır.

$$\alpha_{o4}^{(1)} = \frac{3769.76 + 2371.38 \times 3 + 3374.6}{\frac{20.35 \times 4}{4} + \frac{40.7 \times 8}{4} + \frac{60.74 \times 12}{4} + \frac{(80.4 + 64.4) \times 16}{4} + \frac{3452.68kNm}{4}} = 4.13$$

$$\gamma_{s4}^{(1)} = \frac{1}{16} \frac{664.8 \times (4 + 8 + 12) + (664.8 + 412.75) \times 16}{3452.68} = 0.601 \text{ 1/m}$$

1. Tip 5. Kat Mekanizması İçin İndirgenmiş Kolon Moment Dayanımları

Bunun için Şekil A.10'da verilen yükleme oluşturularak GOCME15 adında bir yükleme kombinasyonu üretilmiştir. Bu mekanizmaya ait kinematikçe en uygun çarpanın hesabında 1, 5, 6, 10, 11, 15, 16 ve 20 numaralı kolonların indirgenmiş dayanımları gerekmektedir.

$$\text{Kolon 1: HE 500 B için } N_{sd} = 67.67kN \rightarrow M_{N,Rd} = 1028.66kNm$$

$$\text{Kolon 5: HE 500 A için } N_{sd} = 85.96kN \rightarrow M_{N,Rd} = 843.65kNm$$

$$\text{Kolon 6: HE 500 B için } N_{sd} = 571.78kN \rightarrow M_{N,Rd} = 1013.73kNm$$

$$\text{Kolon 10: HE 500 A için } N_{sd} = 138.25kN \rightarrow M_{N,Rd} = 843.65kNm$$

$$\text{Kolon 11: HE 500 B için } N_{sd} = 1302.41kN \rightarrow M_{N,Rd} = 850.07kNm$$

$$\text{Kolon 15: HE 500 A için } N_{sd} = 131.64kN \rightarrow M_{N,Rd} = 843.65kNm$$

$$\text{Kolon 16: HE 500 B için } N_{sd} = 1323.04kN \rightarrow M_{N,Rd} = 845.45kNm$$

$$\text{Kolon 20: HE 500 A için } N_{sd} = 87.69kN \rightarrow M_{N,Rd} = 843.65kNm$$

Buna göre 1. ve 5. kat indirgenmiş kolon momentleri toplamı sırasıyla 3737.91 kN ve 3374.6 kN olmaktadır.

$$\alpha_{o5}^{(1)} = \frac{3737.91 + 2371.38 \times 3 + 2086.8 + 3374.6}{\frac{20.35 \times 4 + 40.7 \times 8 + 60.74 \times 12 + 80.4 \times 16 + 64.4 \times 20}{3710.28}} = \mathbf{4.397}$$

$$\gamma_{s5}^{(1)} = \frac{1}{20} \frac{664.8 \times (4 + 8 + 12 + 16) + 412.75 \times 20}{3710.28} = \mathbf{0.47 \text{ 1/m}}$$

2. Tip Mekanizmalar

2. Tip 1. Kat Mekanizması İçin İndirgenmiş Kolon Moment Dayanımları

Global Mekanizma ile aynıdır.

2. Tip 2. Kat Mekanizması İçin İndirgenmiş Kolon Moment Dayanımları

Bunun için Şekil A.11’de verilen yükleme durumu oluşturularak GOCME52 adında bir yükleme kombinasyonu üretilmiştir. Bu mekanizmaya ait kinematikçe en uygun çarpanın hesabında 2, 7, 12 ve 17 numaralı kolonların indirgenmiş dayanımları gerekmektedir. Ancak teknolojik koşulun hesabı için 1, 6, 11 ve 16 numaralı kolonların dayanımı da belirlenecektir.

$$\text{Kolon 1: HE 500 B için } N_{sd} = 177.39kN \rightarrow M_{N,Rd} = 1028.66kNm$$

$$\text{Kolon 2: HE 500 B için } N_{sd} = 27.6kN \rightarrow M_{N,Rd} = 1028.66kNm$$

$$\text{Kolon 6: HE 500 B için } N_{sd} = 643.09kN \rightarrow M_{N,Rd} = 997.76kNm$$

$$\text{Kolon 7: HE 500 B için } N_{sd} = 437.82kN \rightarrow M_{N,Rd} = 1028.66kNm$$

$$\text{Kolon 11: HE 500 B için } N_{sd} = 1231.1kN \rightarrow M_{N,Rd} = 866.05kNm$$

$$\text{Kolon 12: HE 500 B için } N_{sd} = 1033.37kN \rightarrow M_{N,Rd} = 910.34kNm$$

$$\text{Kolon 16: HE 500 B için } N_{sd} = 1213.32kN \rightarrow M_{N,Rd} = 870.03kNm$$

$$\text{Kolon 17: HE 500 B için } N_{sd} = 1058.66kN \rightarrow M_{N,Rd} = 904.67kNm$$

Buna göre 1. ve 2. kat indirgenmiş kolon momentleri toplamı sırasıyla 3762.5 kN ve 3872.33 kN olmaktadır.

$$\alpha_{oi_m}^{(2)} = \alpha_{o2}^{(2)} = \frac{\sum_{i=1}^{n_c} M_{c,i_m} + \sum_{k=i_m}^{n_s} \left(\sum_{j=1}^{n_b} 2 M_{b,jk} \right)}{\sum_{k=i_m}^{n_s} F_k (h_k - h_{i_m-1})}$$

$$= \frac{3872.33 + 2371.38 \times 2 + 2086.8 + 728.7}{\frac{60.74 \times 4 + 60.74 \times 8 + 80.4 \times 12 + 64.4 \times 16}{2643.92}} = \mathbf{4.323}$$

$$\gamma_{s i_m}^{(2)} = \gamma_{s 2}^{(2)} = \frac{\frac{1}{h_{n_s} - h_{i_m-1}} \sum_{k=i_m}^{n_s} V_k (h_k - h_{i_m-1})}{\sum_{k=i_m}^{n_s} F_k (h_k - h_{i_m-1})}$$

$$= \frac{1}{16} \frac{664.8 \times (4 + 8 + 12) + 412.75 \times 16}{2643.92} = \mathbf{0.533} \text{ 1/m}$$

2. Tip 3. Kat Mekanizması İçin İndirgenmiş Kolon Moment Dayanımları

Bunun için Şekil A.12’de verilen yükleme durumu oluşturularak GOCME53 adında bir yükleme kombinasyonu üretilmiştir. Bu mekanizmaya ait kinematikçe en uygun çarpanın hesabında 3, 8, 13 ve 18 numaralı kolonların indirgenmiş dayanımları gerekmektedir.

$$\text{Kolon 1: HE 500 B için } N_{sd} = 337.88 \text{ kN} \rightarrow M_{N,Rd} = 1028.66 \text{ kNm}$$

$$\text{Kolon 3: HE 500 A için } N_{sd} = 37.84 \text{ kN} \rightarrow M_{N,Rd} = 843.65 \text{ kNm}$$

$$\text{Kolon 6: HE 500 B için } N_{sd} = 736.65 \text{ kN} \rightarrow M_{N,Rd} = 976.8 \text{ kNm}$$

$$\text{Kolon 8: HE 500 B için } N_{sd} = 533.12 \text{ kN} \rightarrow M_{N,Rd} = 1028.66 \text{ kNm}$$

$$\text{Kolon 11: HE 500 B için } N_{sd} = 1137.55 \text{ kN} \rightarrow M_{N,Rd} = 887 \text{ kNm}$$

$$\text{Kolon 13: HE 500 B için } N_{sd} = 742.67 \text{ kN} \rightarrow M_{N,Rd} = 975.45 \text{ kNm}$$

$$\text{Kolon 16: HE 500 B için } N_{sd} = 1052.83 \text{ kN} \rightarrow M_{N,Rd} = 905.98 \text{ kNm}$$

$$\text{Kolon 18: HE 500 A için } N_{sd} = 742.81 \text{ kN} \rightarrow M_{N,Rd} = 771.59 \text{ kNm}$$

Buna göre 1. ve 3. kat indirgenmiş kolon momentleri toplamı sırasıyla 3798.44 kN ve 3619.35 kN olmaktadır.

$$\alpha_{o3}^{(2)} = \frac{3619.35 + 2371.38 + 2086.8 + 728.7}{\frac{60.74 \times 4 + 80.4 \times 8 + 64.4 \times 12}{1658.96}} = \mathbf{5.308}$$

$$\gamma_{s3}^{(2)} = \frac{1}{12} \frac{664.8 \times (4 + 8) + 412.75 \times 12}{1658.96} = \mathbf{0.65} \text{ 1/m}$$

2. Tip 4. Kat Mekanizması İçin İndirgenmiş Kolon Moment Dayanımları

Bunun için Şekil A.13'te verilen yükleme durumu oluşturularak GOCME54 adında bir yükleme kombinasyonu üretilmiştir. Bu mekanizmaya ait kinematikçe en uygun çarpanın hesabında 4, 9, 14 ve 19 numaralı kolonların indirgenmiş dayanımları gerekmektedir.

$$\text{Kolon 1: HE 500 B için } N_{sd} = 499.02kN \rightarrow M_{N,Rd} = 1028.66kNm$$

$$\text{Kolon 4: HE 500 A için } N_{sd} = 48.46kN \rightarrow M_{N,Rd} = 843.65kNm$$

$$\text{Kolon 6: HE 500 B için } N_{sd} = 827.38kN \rightarrow M_{N,Rd} = 956.48kNm$$

$$\text{Kolon 9: HE 500 A için } N_{sd} = 217.02kN \rightarrow M_{N,Rd} = 843.65kNm$$

$$\text{Kolon 11: HE 500 B için } N_{sd} = 1046.83kN \rightarrow M_{N,Rd} = 907.32kNm$$

$$\text{Kolon 14: HE 500 A için } N_{sd} = 450.74kN \rightarrow M_{N,Rd} = 836.41kNm$$

$$\text{Kolon 16: HE 500 B için } N_{sd} = 891.69kN \rightarrow M_{N,Rd} = 942.07kNm$$

$$\text{Kolon 19: HE 500 A için } N_{sd} = 428.83kN \rightarrow M_{N,Rd} = 841.28kNm$$

Buna göre 1. ve 4. kat indirgenmiş kolon momentleri toplamı sırasıyla 3834.53 kN ve 3364.99 kN olmaktadır.

$$\alpha_{o4}^{(2)} = \frac{3364.99 + 2086.8 + 728.7}{804.44 + 644.88} = 7.386$$

$$\gamma_{s4}^{(2)} = \frac{1}{8} \frac{664.8 \times 4 + 412.75 \times 8}{836.8} = 0.891 \text{ 1/m}$$

2. Tip 5. Kat Mekanizması İçin İndirgenmiş Kolon Moment Dayanımları

Bunun için Şekil A.14'te verilen yükleme durumu oluşturularak GOCME55 adında bir yükleme kombinasyonu üretilmiştir. Bu mekanizmaya ait kinematikçe en uygun çarpanın hesabında 5, 10, 15 ve 20 numaralı kolonların indirgenmiş dayanımları gerekmektedir.

$$\text{Kolon 1: HE 500 B için } N_{sd} = 641.22kN \rightarrow M_{N,Rd} = 998.18kNm$$

$$\text{Kolon 5: HE 500 A için } N_{sd} = 37.99kN \rightarrow M_{N,Rd} = 843.65kNm$$

$$\text{Kolon 6: HE 500 B için } N_{sd} = 905.51kN \rightarrow M_{N,Rd} = 938.98kNm$$

$$\text{Kolon 10: HE 500 A için } N_{sd} = 103.09kN \rightarrow M_{N,Rd} = 843.65kNm$$

$$\text{Kolon 11: HE 500 B için } N_{sd} = 968.7kN \rightarrow M_{N,Rd} = 924.82kNm$$

$$\text{Kolon 15: HE 500 A için } N_{sd} = 166.81kN \rightarrow M_{N,Rd} = 843.65kNm$$

$$\text{Kolon 16: HE 500 B için } N_{sd} = 749.49kN \rightarrow M_{N,Rd} = 973.93kNm$$

$$\text{Kolon 20: HE 500 A için } N_{sd} = 135.65kN \rightarrow M_{N,Rd} = 843.65kNm$$

Buna göre 1. ve 5. kat indirgenmiş kolon momentleri toplamı sırasıyla 3835.91 kN ve 3374.6 kN olmaktadır.

$$\alpha_{o5}^{(2)} = \frac{3374.6 + 728.7}{\frac{64.4 \times 4}{257.6}} = 15.929 \quad \gamma_{s5}^{(2)} = \frac{1}{4} \frac{412.75 \times 4}{257.6} = 1.602 \text{ 1/m}$$

Kat Mekanizmaları

Daha önce belirtildiği gibi, herhangi bir kat mekanizması meydana geldiği zaman kombinasyonların çokluğu nedeniyle kirişlerde plastik mafsall oluşabileceği gerçeği burada ihmal edilmiştir. Dolayısıyla burada da eksenel kuvvetlerin tespiti için *DEPREM* yükleme kombosundan yararlanılacaktır. Teknolojik koşulun hesabında 1. katın indirgenmiş kolon moment dayanımlarının toplamı için daha önce 1. tip 1. kat mekanizmasında elde edilen değer kullanılacaktır.

1. Kat Mekanizması İçin İndirgenmiş Kolon Moment Dayanımları

1. tip 1. kat mekanizması ile aynıdır.

2. Kat Mekanizması İçin İndirgenmiş Kolon Moment Dayanımları

$$\text{Kolon 2: HE 500 B için } N_{sd} = 405.72kN \rightarrow M_{N,Rd} = 1028.66kNm$$

$$\text{Kolon 7: HE 500 B için } N_{sd} = 603.1kN \rightarrow M_{N,Rd} = 1006.72kNm$$

$$\text{Kolon 12: HE 500 B için } N_{sd} = 868.15kN \rightarrow M_{N,Rd} = 947.35kNm$$

$$\text{Kolon 17: HE 500 B için } N_{sd} = 680.48kN \rightarrow M_{N,Rd} = 989.39kNm$$

Buna göre 2. kat indirgenmiş kolon momentleri toplamı 3972.12 kN olmaktadır.

$$\alpha_{oi_m}^{(3)} = \alpha_{o2}^{(3)} = \frac{2 \sum_{i=1}^{n_c} M_{c,ii_m}}{(h_{i_m} - h_{i_m-1}) \sum_{k=i_m}^{n_s} F_k} = \frac{2 \times 3972.12}{4 \times \left(\frac{40.7}{4} + \frac{60.74}{4} + \frac{80.4}{4} + \frac{64.4}{4} \right)} = \mathbf{8.066}$$

$$\gamma_{si_m}^{(3)} = \gamma_{s2}^{(3)} = \frac{\sum_{k=i_m}^{n_s} V_k}{(h_{i_m} - h_{i_m-1}) \sum_{k=i_m}^{n_s} F_k} = \frac{664.8 \times 3 + 412.75}{984.96} = \mathbf{2.444} \text{ 1/m}$$

3. Kat Mekanizması İçin İndirgenmiş Kolon Moment Dayanımları

Kolon 3: HE 500 A için $N_{sd} = 305.05kN \rightarrow M_{N,Rd} = 843.65Nm$

Kolon 8: HE 500 B için $N_{sd} = 455.37kN \rightarrow M_{N,Rd} = 1028.66kNm$

Kolon 13: HE 500 B için $N_{sd} = 614.06kN \rightarrow M_{N,Rd} = 1004.26kNm$

Kolon 18: HE 500 A için $N_{sd} = 475.51kN \rightarrow M_{N,Rd} = 830.92kNm$

Buna göre 3. kat indirgenmiş kolon momentleri toplamı 3707.49 kN olmaktadır.

$$\alpha_{o3}^{(3)} = \frac{2 \times 3707.49}{4 \times \left(\frac{60.74}{4} + \frac{80.4}{4} + \frac{64.4}{4} \right)} = \mathbf{9.019}$$

$$\gamma_{s3}^{(3)} = \frac{664.8 \times 2 + 412.75}{822.16} = \mathbf{2.119} \text{ 1/m}$$

4. Kat Mekanizması İçin İndirgenmiş Kolon Moment Dayanımları

Kolon 4: HE 500 A için $N_{sd} = 199.1kN \rightarrow M_{N,Rd} = 843.65Nm$

Kolon 9: HE 500 A için $N_{sd} = 297.97kN \rightarrow M_{N,Rd} = 843.65Nm$

Kolon 14: HE 500 A için $N_{sd} = 369.83kN \rightarrow M_{N,Rd} = 843.65Nm$

Kolon 19: HE 500 A için $N_{sd} = 278.16kN \rightarrow M_{N,Rd} = 843.65Nm$

Buna göre 4. kat indirgenmiş kolon momentleri toplamı 3374.6 kN olmaktadır.

$$\alpha_{o4}^{(3)} = \frac{2 \times 3374.6}{4 \times \left(\frac{80.4}{4} + \frac{64.4}{4} \right)} = \mathbf{11.653} \quad \gamma_{s4}^{(3)} = \frac{664.8 + 412.75}{579.2} = \mathbf{1.86} \text{ 1/m}$$

5. Kat Mekanizması İçin İndirgenmiş Kolon Moment Dayanımları

$$\text{Kolon 5: HE 500 A için } N_{sd} = 78.89kN \rightarrow M_{N,Rd} = 843.65Nm$$

$$\text{Kolon 10: HE 500 A için } N_{sd} = 126.09kN \rightarrow M_{N,Rd} = 843.65Nm$$

$$\text{Kolon 15: HE 500 A için } N_{sd} = 143.81kN \rightarrow M_{N,Rd} = 843.65Nm$$

$$\text{Kolon 20: HE 500 A için } N_{sd} = 94.75kN \rightarrow M_{N,Rd} = 843.65Nm$$

Buna göre 5. kat indirgenmiş kolon momentleri toplamı 3374.6 kN olmaktadır.

$$\alpha_{o5}^{(3)} = \frac{2 \times 3374.6}{4 \times 64.4} = 26.2 \quad \gamma_{s5}^{(3)} = \frac{412.75}{579.2} = 1.602 \text{ 1/m}$$

5.2.6. Global Mekanizmada Yatay Ötelenmenin (δ) Hesabı

Çerçeveadaki kirişler için en büyük dönme kapasiteleri (mafsal özelliklerinin Bölüm 3.7.2.2’de anlatılan *Mazzolani – Piluso* metoduna göre tanımlanmış olduğu hal için) aşağıdaki gibi bulunmuştur. Bu değerler bundan sonraki pushover uygulamasında hesaplanmıştır (bkz. Bölüm 5.3.1); dolayısıyla bunların nasıl elde edildikleri adı geçen uygulama sayfalarında gösterilmektedir.

$$\text{HE 220 A için: } \theta_{p_u} = 4.575 \times 0.014 = 0.064$$

$$\text{HE 320 A için: } \theta_{p_u} = 5.631 \times 9.48 \times 10^{-3} = 0.053$$

$$\text{HE 340 A için: } \theta_{p_u} = 6.538 \times 8.921 \times 10^{-3} = 0.058$$

Buna göre, konu anlatımında (3.51) ile gösterilen denklem gereği;

$$\delta = \sum \theta_{p_u} h_{n_s} = 0.064 \times 4 + 0.053 \times 4 + 0.058 \times 12 = 1.164m$$

hesaplanmaktadır. Kontroller bu değer esas alınarak sonlandırılacaktır.

5.2.7. Son Kontroller

Konu anlatımında (3.48) ile gösterilen denkleme göre her mekanizmaya ait kinematikçe en uygun yükleme çarpan bulunmuş olacaktır. Buna göre global mekanizma için;

$$\alpha^{(g)} = \alpha_o^{(g)} - \delta \gamma_s^{(g)} = 3.681 - 1.164 \times 0.47 = 3.134$$

elde edilir. Benzer şekilde diğer mekanizma türleri için;

$$\begin{array}{lll}
 \alpha_1^{(1)} = 3.841 & \alpha_1^{(2)} = 3.134 & \alpha_1^{(3)} = 3.841 \\
 \alpha_2^{(1)} = 3.418 & \alpha_2^{(2)} = 4.236 & \alpha_2^{(3)} = 5.221 \\
 \alpha_3^{(1)} = 3.299 & \alpha_3^{(2)} = 4.551 & \alpha_3^{(3)} = 6.553 \\
 \alpha_4^{(1)} = 3.43 & \alpha_4^{(2)} = 6.349 & \alpha_4^{(3)} = 9.488 \\
 \alpha_5^{(1)} = 3.85 & \alpha_5^{(2)} = 14.064 & \alpha_5^{(3)} = 24.335
 \end{array}$$

bulunmaktadır. Görüldüğü üzere,

$$\alpha^{(g)} \leq \alpha_{i_m}^{(t)} \quad i_m = 1 \sim n_s \quad \text{ve} \quad t = 1 \sim 3$$

eşitliği tüm mekanizma türleri için sağlanmaktadır.

5.2.8. Teknolojik Koşullar

Konu anlatımında (3.49) numaralı denklemden yararlanılarak her mekanizma tipi için katlar arası teknolojik oranlar şu şekilde bulunmaktadır:

$$\begin{array}{lll}
 \rho_1^{(1)} = \frac{3835.92}{3835.92} = 1 & \rho_1^{(2)} = 1 & \rho_1^{(3)} = 1 \\
 \rho_2^{(1)} = \frac{3994.37}{3835.91} = 1.041 & \rho_2^{(2)} = \frac{3872.33}{3762.5} = 1.029 & \rho_2^{(3)} = \frac{3972.12}{3835.92} = 1.036 \\
 \rho_3^{(1)} = \frac{3731.38}{3805.86} = 0.98 & \rho_3^{(2)} = \frac{3619.35}{3798.44} = 0.953 & \rho_3^{(3)} = \frac{3707.49}{3835.92} = 0.967 \\
 \rho_4^{(1)} = \frac{3374.6}{3769.76} = 0.895 & \rho_4^{(2)} = \frac{3364.99}{3834.53} = 0.878 & \rho_4^{(3)} = \frac{3374.6}{3835.92} = 0.88 \\
 \rho_5^{(1)} = \frac{3374.6}{3737.91} = 0.903 & \rho_5^{(2)} = \frac{3374.6}{3835.91} = 0.88 & \rho_5^{(3)} = 0.88
 \end{array}$$

Görüldüğü üzere en büyük değerler her zaman 1. tipteki göçme mekanizmaları için elde edilmektedir. Ancak (3.50) numaralı denklemde verilen şartın sağlanması,

$$\rho_1 < \rho_2 \quad \text{ve} \quad \rho_4 < \rho_5$$

nedeniyle mümkün olmamaktadır. Yine de bu durum $\alpha^{(g)} \leq \alpha_{i_m}^{(t)}$ eşitliğinin geçerliliğine engel olmamıştır. Aslında çerçevede birkaç değişiklik yapmak bu şartı da sağlanır hale getirebilir. Örneğin 1 ve 16 numaralı kolonlar, enkesitleri HE 500 M

olacak şekilde değiştirilirse $\rho_1 > \rho_2$ elde edilebilir. 4. ve 5. kat arasındaki diğer olumsuzluğun düzelmesi için de benzer bir yöntem başvurulabilir. Ancak inşaat pratiğinde her katta kolon enkesitini değiştirmek tercih edilmez. Bunun yerine 1 ve 16 numaralı kolonların (benzer bir mantıkla 4 ve 19 numaralı kolonların) plastik mafsall oluşması beklenen kısımlarında örneğin takviye levhalarıyla plastik moment dayanımının artırılması yoluna gidilebilir.

Referans alınan kaynakta yazarlar, (3.38) ve (3.45) arasında verilen formüllerdeki belirli bazı değerleri fonksiyonlara çevirerek denklemleri kısaltma yoluna gitmişlerdir. Bunun sonucunda her mekanizma tipi için, bu uygulamada verilmiş olan biçimlerinden farklı olarak;

$$\rho_{i_m}^{(i)} \geq f\left(\sum M, \lambda_{i_m}, \Delta_{i_m}, v_{i_m}, \xi_{i_m}, \gamma_{i_m}, \beta_{i_m}, \theta_1\right)$$

şeklinde eşitlikler elde etmişlerdir [4]. Buradaki her bir sembolün neyin yerini tuttuğu kaynakta anlatılmaktadır. Yazarlara göre; bu uygulamada da tercih edilen uzun formüller ve uğraştırıcı prosedürler yerine, örneğin kat sayısı çok daha fazla olan yapılarda, teknolojik şartın sağlanması o yapının global mekanizma ile çökeceğinin temini için yeterli olacaktır. Bunun için yukarıda gösterilen eşitliğin, her mekanizma tipinde 1. kata ait değeri bulunur. Bu değer eşitlikte verilen kriterleri sağladığı sürece, yapının geri kalanının kontrolü teknolojik koşul vasıtasıyla yapılacaktır. Başka bir deyişle; bu durumda $\rho_1 \geq \rho_2 \geq \rho_3 \geq \dots \geq \rho_{n_s}$ ifadesinin sağlanması, çerçevenin global mekanizma ile göçeceğini garanti etmektedir. Bunun aksi hallerde ifadeyi sağlatacak değişiklikler yapılması tavsiye edilmektedir.

5.2.9. Alternatif Bir Kontrol Metodu

Uygulamada daha önce belirtildiği üzere, özellikle kat mekanizmalarında hiçbir kırışte plastik mafsall oluşmadığı kabulü kullanılmıştı. Bu ihmalden vazgeçilerek kırışlerde mafsall oluşmasına izin verilmesiyle, kolonların plastik moment dayanımlarındaki indirgenme miktarı değiştirilebilir. Bunun için, global göçme mekanizmasının tam olarak gerçekleşmesini engelleyecek şekilde herhangi bir plastikleşme düzeni kullanılabilir. Böyle bir düzen limit durumunda yine global mekanizma ile aynı olacaktır. Dolayısıyla burada alternatif olarak, *GOCME* yükleme kombinasyonu ile elde edilen eksenel kuvvetlerin tüm mekanizma tiplerinde

kullanılarak indirgenmiş kolon dayanımlarının hesaplanması yoluna gidilecektir. Tabii kolon dayanımlarındaki en büyük indirgenme miktarının kesinlikle bu düzenlemeyle bulunacağını söylemek yanlış olur.

Buna göre *GOCME* yükleme kombinasyonu sonucunda elde edilen eksenel kuvvetler ve bunlara ilişkin indirgenmiş kolon plastik moment dayanımları aşağıdaki gibidir.

<u>Kolon 1:</u> HE 500 B için	$N_{sd} = 17.99kN$	$\rightarrow$	$M_{N,Rd} = 1028.66kNm$
<u>Kolon 2:</u> HE 500 B için	$N_{sd} = 26.52kN$	$\rightarrow$	$M_{N,Rd} = 1028.66kNm$
<u>Kolon 3:</u> HE 500 A için	$N_{sd} = 35.65kN$	$\rightarrow$	$M_{N,Rd} = 843.65Nm$
<u>Kolon 4:</u> HE 500 A için	$N_{sd} = 46.26kN$	$\rightarrow$	$M_{N,Rd} = 843.65Nm$
<u>Kolon 5:</u> HE 500 A için	$N_{sd} = 37.28kN$	$\rightarrow$	$M_{N,Rd} = 843.65Nm$
<u>Kolon 6:</u> HE 500 B için	$N_{sd} = 544.63kN$	$\rightarrow$	$M_{N,Rd} = 1019.82kNm$
<u>Kolon 7:</u> HE 500 B için	$N_{sd} = 442.74kN$	$\rightarrow$	$M_{N,Rd} = 1028.66kNm$
<u>Kolon 8:</u> HE 500 B için	$N_{sd} = 336.37kN$	$\rightarrow$	$M_{N,Rd} = 1028.66kNm$
<u>Kolon 9:</u> HE 500 A için	$N_{sd} = 226.78kN$	$\rightarrow$	$M_{N,Rd} = 843.65Nm$
<u>Kolon 10:</u> HE 500 A için	$N_{sd} = 106.56kN$	$\rightarrow$	$M_{N,Rd} = 843.65Nm$
<u>Kolon 11:</u> HE 500 B için	$N_{sd} = 1329.56kN$	$\rightarrow$	$M_{N,Rd} = 843.99kNm$
<u>Kolon 12:</u> HE 500 B için	$N_{sd} = 1028.45kN$	$\rightarrow$	$M_{N,Rd} = 911.44kNm$
<u>Kolon 13:</u> HE 500 B için	$N_{sd} = 732.99kN$	$\rightarrow$	$M_{N,Rd} = 977.62kNm$
<u>Kolon 14:</u> HE 500 A için	$N_{sd} = 440.98kN$	$\rightarrow$	$M_{N,Rd} = 838.58Nm$
<u>Kolon 15:</u> HE 500 A için	$N_{sd} = 163.34kN$	$\rightarrow$	$M_{N,Rd} = 843.65Nm$
<u>Kolon 16:</u> HE 500 B için	$N_{sd} = 1372.73kN$	$\rightarrow$	$M_{N,Rd} = 834.32kNm$
<u>Kolon 17:</u> HE 500 B için	$N_{sd} = 1059.74kN$	$\rightarrow$	$M_{N,Rd} = 904.43kNm$
<u>Kolon 18:</u> HE 500 A için	$N_{sd} = 744.99kN$	$\rightarrow$	$M_{N,Rd} = 771.11kNm$
<u>Kolon 19:</u> HE 500 A için	$N_{sd} = 431.03kN$	$\rightarrow$	$M_{N,Rd} = 840.79Nm$
<u>Kolon 20:</u> HE 500 A için	$N_{sd} = 136.36kN$	$\rightarrow$	$M_{N,Rd} = 843.65Nm$

Her kattaki indirgenmiş kolon dayanımları toplamı şöyledir:

$$\begin{aligned}
\sum M_{c,1} &= 3726.79kNm & \sum M_{c,2} &= 3873.19kNm \\
\sum M_{c,3} &= 3621.04kNm & \sum M_{c,4} &= 3366.67kNm \\
\sum M_{c,5} &= 3374.6kNm
\end{aligned}$$

İndirgenmiş kolon dayanımlarının yeni değerleri sadece α_o katsayılarında değişikliğe sebep olacaktır. Bunlar da her mekanizma tipi için şu şekilde elde edilmektedir:

$$\begin{aligned}
\alpha_{o1}^{(1)} &= 6.99 & \alpha_{o1}^{(2)} &= 3.681 & \alpha_{o1}^{(3)} &= 6.99 \\
\alpha_{o2}^{(1)} &= 4.861 & \alpha_{o2}^{(2)} &= 4.323 & \alpha_{o2}^{(3)} &= 7.865 \\
\alpha_{o3}^{(1)} &= 4.208 & \alpha_{o3}^{(2)} &= 5.308 & \alpha_{o3}^{(3)} &= 8.809 \\
\alpha_{o4}^{(1)} &= 4.115 & \alpha_{o4}^{(2)} &= 7.386 & \alpha_{o4}^{(3)} &= 11.625 \\
\alpha_{o5}^{(1)} &= 4.394 & \alpha_{o5}^{(2)} &= 15.929 & \alpha_{o5}^{(3)} &= 26.2
\end{aligned}$$

Böylece her bir mekanizma tipine ait kinematikçe en uygun yükleme çarpanı ise aşağıdaki gibi bulunmaktadır:

$$\begin{aligned}
\alpha_1^{(1)} &= 3.637 & \alpha_1^{(2)} &= 3.134 & \alpha_1^{(3)} &= 3.637 \\
\alpha_2^{(1)} &= 3.306 & \alpha_2^{(2)} &= 4.236 & \alpha_2^{(3)} &= 5.02 \\
\alpha_3^{(1)} &= 3.233 & \alpha_3^{(2)} &= 4.551 & \alpha_3^{(3)} &= 6.342 \\
\alpha_4^{(1)} &= 3.415 & \alpha_4^{(2)} &= 6.349 & \alpha_4^{(3)} &= 9.46 \\
\alpha_5^{(1)} &= 3.847 & \alpha_5^{(2)} &= 14.064 & \alpha_5^{(3)} &= 24.335
\end{aligned}$$

Görüldüğü gibi,

$$\alpha^{(g)} \leq \alpha_{i_m}^{(t)} \quad i_m = 1 \sim n_s \quad \text{ve} \quad t = 1 \sim 3$$

eşitliği yine tüm mekanizma türleri için sağlanmaktadır.

Arzu edilirse, her bir kolon için tüm *GOCME* yükleme kombinasyonları arasından en büyük eksenel kuvvet tespit edilerek moment dayanımı bu değere göre indirgenebilir. Zaten başlangıçta çerçevenin hangi mekanizmaya göre çökeceği bilinmemektedir. Ancak burada böyle bir uygulamaya gitme gereği duyulmamıştır.

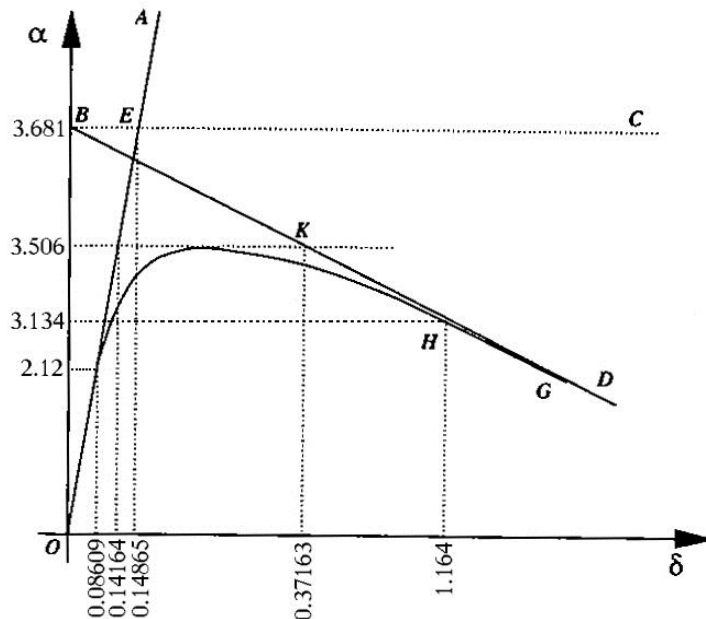
5.2.10. Global Moda Ait Mekanizma Eğrisinin Çıkartılması

Her ne kadar başlangıçta bu çerçevenin global mekanizma ile çökeceği bilinmiyor ve plastik mafsalların eşzamanlı oluşmayacağı tahmin ediliyorsa da, yukarıdaki kontroller sonucunda kinematik yatay yükleme çarpanı en elverişsiz çıkan mekanizma türü bu olduğundan, buna ait mekanizma eğrisinin çerçeveye ait gerçek mekanizma eğrisine (en azından) çok yakın olacağı kabul edilebilir.

Bu eğriye ait temel noktaların tespiti için öncelikle yatay kuvvetler $\alpha_o^{(g)} = 3.681$ ile artırılarak çerçevenin yaptığı lineer-elastik (ikinci mertebe etkiler ihmal edilerek) ötelenme miktarı bulunmuştur. $\delta_E = 0.14865m$ olarak elde edilen bu değer esas alınarak $\delta_K = 2.5 \delta_E$ ilişkisine göre $\delta_K = 0.37163m$ hesaplanmaktadır. Dolayısıyla,

$$\alpha_u^{(g)} = \alpha_o^{(g)} - \delta_K \gamma_s^{(g)} = 3.681 - 0.37163 \times 0.47 = 3.506$$

olarak tespit edilmektedir. İlk akma noktasının yeri için, çerçevedeki herhangi bir enkesitte plastik dayanımın aşılmasına neden olacak en küçük yatay yükleme çarpanının deneme yoluyla bulunması uygun görülmüştür. Birkaç deneme sonunda bu çarpanın yaklaşık olarak $\alpha_y = 2.12$ alınabileceğine karar verilmiştir. Son olarak göçme anındaki tepe yatay deplasmanı için $\delta_u = 1.164m$ kabulüyle, global moda ait mekanizma eğrisi Şekil 5.2.1'deki gibi çizilebilir.



Şekil 5.2.1: Global moda ait mekanizma eğrisi

5.3. PUSHOVER ANALİZİNE İLİŞKİN BİR UYGULAMA

(Aynı Çerçeve)

5.3.1. Mafsal Özelliklerinin Tanımlanması

Bu uygulamada çerçeve elemanlarına ait moment – dönme ilişkileri belirlenirken, iki ayrı çözüm denenmek üzere, Kato Metodu (bkz. Bölüm 3.7.2.1 Sayfa 58) ve Mazzolani & Piluso Metodunun (bkz. Bölüm 3.7.2.2. Sayfa 59) kullanılmasına karar verilmiştir.

HE 220 A :

$$\begin{array}{llll} t_f = 11mm & t_w = 7mm & h = 210mm & A = 64.34cm^2 \\ b_f = 220mm & d_w = 188mm & I = 5410cm^4 & W_{pl,y} = 568.5cm^3 \end{array}$$

İki başlıklı ideal kesitin başlık kalınlıkları;

$$t_{fe} = \frac{A}{2 b_f} = \frac{64.34}{2 \times 22} = 1.462cm$$

olmakta, kesit yüksekliği ve ideal enkesit atalet momenti de;

$$h_e = \frac{W_{pl,y}}{b_f t_{fe}} = \frac{568.5}{22 \times 1.462} = 17.675cm$$

$$I_e = \frac{A h_e^2}{4} = \frac{64.34 \times 17.675^2}{4} = 5025cm^4$$

bulunmaktadır. Etkili gövde yüksekliği ise, kirişler için $\rho \cong 0$ gerçeğinden hareketle;

$$d_{we} = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{A}{A_w} \rho \right) d_w = \frac{18.8}{2} = 9.4cm$$

olarak hesaplanır. Çerçevede iki ayrı uzunlukta HE 220 A enkesitli kiriş tipi olduğundan akma dönmesi değerleri farklı olacaktır.

$$5 \text{ m uzunluklu kiriş } (L = 2.5 \text{ m}): \quad (\theta_y)_{uzun} = L \frac{\varepsilon_y}{h} = 2.5 \times \frac{61475 \times 10^{-3}}{235000 / 2 \times 10^8} = 0.014$$

$$3 \text{ m uzunluklu kiriş } (L = 1.5 \text{ m}): \quad (\theta_y)_{kisa} = 1.5 \times \frac{1.175 \times 10^{-3}}{0.21} = 8.425 \times 10^{-3}$$

Kato Metoduna göre: Malzeme davranışı rijit – plastik akma – pekleşme biçiminde kabul edilmiştir; kritik gerilme katsayısı konu anlatımında (3.64)’te verilen ifade ile, stabil durumdaki dönme kapasitesi (3.60)’ta verilen ifade ile bulunacaktır.

$$\alpha_w = \frac{E}{\sigma_y} \left(\frac{t_w}{d_{we}} \right)^2 = \frac{2 \times 10^8}{235000} \times \left(\frac{7}{94} \right)^2 = 4.72$$

$$\alpha_f = \frac{E}{\sigma_y} \left(\frac{t_f}{b_f / 2} \right)^2 = \frac{2 \times 10^8}{235000} \times \left(\frac{11}{110} \right)^2 = 8.511$$

Buna göre kritik gerilmenin akma gerilmesine oranı,

$$\frac{1}{s} = 0.6003 + \frac{1.6}{8.511} + \frac{0.1535}{4.72} \quad \rightarrow \quad s = 1.218$$

bulunur. Dolayısıyla stabil durumdaki dönme kapasitesi de aşağıdaki gibi elde edilir:

$$\begin{aligned} R_{st} &= \frac{1}{s} \left[2 \frac{\varepsilon_h}{\varepsilon_y} \frac{h}{h_e} (s-1) + \frac{E}{E_h} \frac{I}{I_e} (s-1)^2 \right] \\ &= \frac{1}{1.218} \times \left[2 \times 12.3 \times \frac{21}{17.675} \times 0.218 + 37.5 \times \frac{5410}{5025} \times 0.218^2 \right] = 6.807 \end{aligned}$$

Mazzolani – Piluso Metoduna göre: Malzeme davranışı elastik – plastik akma – pekleşme biçimindedir; (3.59) ve (3.66) kullanılacak, $\frac{h}{h_e} = \frac{I}{I_e} = 1$ alınacaktır.

$$\lambda_f = \frac{b_f}{2 t_f} \sqrt{\varepsilon_y} = \frac{220}{2 \times 11} \times \sqrt{1.175 \times 10^{-3}} = 0.343$$

$$\lambda_w = \frac{d_{we}}{t_w} \sqrt{\varepsilon_y} = \frac{94}{7} \times \sqrt{1.175 \times 10^{-3}} = 0.46$$

5m uzunluğundaki kiriş için ($L = 2.5$ m):

$$\frac{1}{s} = 0.546321 + 1.632533 \times 0.343^2 + 0.062124 \times 0.46^2 - 0.602125 \times \frac{0.22}{2.5} + 0.001471 \times 37.5 + 0.007766 \times 12.3 \rightarrow s_{uzun} = 1.178$$

$$(R_{st})_{uzun} = \frac{1}{s} \left\{ \frac{h}{h_e} + 2 \frac{\varepsilon_h}{\varepsilon_y} \frac{h}{h_e} (s-1) + (s-1)^2 \frac{E}{E_h} \frac{I}{I_e} \right\} - 1 = \frac{1}{1.178} \times [1 + 2 \times 12.3 \times 0.178 + 37.5 \times 0.178^2] - 1 = 4.575$$

3m uzunluğundaki kiriş için ($L = 1.5$ m): $s_{kisa} = 1.229$ $(R_{st})_{kisa} = 6$

HE 320 A:

$$\begin{array}{llll} t_f = 15.5mm & t_w = 9mm & h = 310mm & A = 124.4cm^2 \\ b_f = 300mm & d_w = 279mm & I = 22930cm^4 & W_{pl,y} = 1628cm^3 \end{array}$$

$$\begin{array}{ll} t_{fe} = 2.073cm & h_e = 26.178cm \\ d_{we} = 13.95cm & I_e = 21313cm^4 \end{array}$$

5 m uzunluklu kiriş ($L = 2.5$ m): $(\theta_y)_{uzun} = 9.48 \times 10^{-3}$

3 m uzunluklu kiriş ($L = 1.5$ m): $(\theta_y)_{kisa} = 5.688 \times 10^{-3}$

Kato Metoduna göre: $\left. \begin{array}{l} \alpha_f = 9.087 \\ \alpha_w = 3.542 \end{array} \right\} s = 1.22$ $R_{st} = 6.854$

Mazzolani – Piluso Metoduna göre: $\lambda_f = 0.332$ $\lambda_w = 0.531$

5m uzunluğundaki kiriş ($L = 2.5$ m): $s_{uzun} = 1.216$ $(R_{st})_{uzun} = 5.631$

3m uzunluğundaki kiriş ($L = 1.5$ m): $s_{kisa} = 1.292$ $(R_{st})_{kisa} = 7.809$

HE 340 A:

$$\begin{array}{llll} t_f = 16.5mm & t_w = 9.5mm & h = 330mm & A = 133.5cm^2 \\ b_f = 300mm & d_w = 297mm & I = 27690cm^4 & W_{pl,y} = 1850cm^3 \end{array}$$

$$\begin{array}{ll} t_{fe} = 2.225cm & h_e = 27.715cm \\ d_{we} = 14.85cm & I_e = 25636cm^4 \end{array}$$

$$5 \text{ m uzunluklu kiriş } (L = 2.5 \text{ m}): \quad (\theta_y)_{uzun} = 8.921 \times 10^{-3}$$

$$3 \text{ m uzunluklu kiriş } (L = 1.5 \text{ m}): \quad (\theta_y)_{kisa} = 5.353 \times 10^{-3}$$

$$\text{Kato Metoduna göre:} \quad \left. \begin{array}{l} \alpha_f = 10.298 \\ \alpha_w = 3.483 \end{array} \right\} s = 1.25 \quad R_{st} = 7.883$$

$$\text{Mazzolani – Piluso Metoduna göre:} \quad \lambda_f = 0.312 \quad \lambda_w = 0.536$$

$$5m \text{ uzunluğundaki kiriş } (L = 2.5 \text{ m}): \quad s_{uzun} = 1.248 \quad (R_{st})_{uzun} = 6.538$$

$$3m \text{ uzunluğundaki kiriş } (L = 1.5 \text{ m}): \quad s_{kisa} = 1.327 \quad (R_{st})_{kisa} = 8.837$$

HE 500 A:

Kolonlar için $\rho \neq 0$ olmasına rağmen, plastik moment dayanımının aksel kuvvetle olan etkileşimi zaten program içerisinde tanımlanacağından, burada bu gerçek göz ardı edilerek kolonların dönme kapasitesi de kirişlerde yapıldığı gibi hesaplanacaktır.

$$\begin{array}{llll} t_f = 23mm & t_w = 12mm & h = 490mm & A = 197.5cm^2 \\ b_f = 300mm & d_w = 444mm & I = 86970cm^4 & W_{pl,y} = 3949cm^3 \end{array}$$

$$\begin{array}{ll} t_{fe} = 3.292cm & h_e = 39.986cm \\ d_{we} = 22.2cm & I_e = 78945cm^4 \end{array}$$

Sadece 4 m uzunluğunda ($L = 2 \text{ m}$) tek kolon çeşidi olduğundan;

$$\theta_y = 4.796 \times 10^{-3}$$

$$\underline{\text{Kato Metoduna göre:}} \quad \left. \begin{array}{l} \alpha_f = 20.01 \\ \alpha_w = 2.487 \end{array} \right\} s = 1.348 \quad R_{st} = 11.494$$

$$\underline{\text{Mazzolani – Piluso Metoduna göre:}} \quad \left. \begin{array}{l} \lambda_f = 0.224 \\ \lambda_w = 0.634 \end{array} \right\} s = 1.401$$

$$\rightarrow R_{st} = 11.059$$

HE 500 B:

$$\begin{array}{llll} t_f = 28mm & t_w = 14.5mm & h = 500mm & A = 238.6cm^2 \\ b_f = 300mm & d_w = 444mm & I = 107200cm^4 & W_{pl,y} = 4815cm^3 \\ \\ t_{fe} = 3.977cm & h_e = 40.36cm & & \\ d_{we} = 22.2cm & I_e = 97166cm^4 & & \end{array}$$

Sadece 4 m uzunluğunda ($L = 2$ m) tek kolon çeşidi olduğundan;

$$\theta_y = 4.7 \times 10^{-3}$$

$$\underline{\text{Kato Metoduna göre:}} \quad \left. \begin{array}{l} \alpha_f = 29.655 \\ \alpha_w = 3.631 \end{array} \right\} s = 1.436 \quad R_{st} = 14.73$$

$$\underline{\text{Mazzolani – Piluso Metoduna göre:}} \quad \left. \begin{array}{l} \lambda_f = 0.184 \\ \lambda_w = 0.525 \end{array} \right\} s = 1.473$$

$$\rightarrow R_{st} = 13.274$$

Buna göre, yukarıdaki verilerin programa nasıl girildiği örnek olarak Şekil 5.3.1’de gösterilmektedir. Anlaşılacağı üzere varsayılan eğriye ait D ve E noktaları burada üst üste çakıştırılmıştır. Ayrıca *Acceptance Criteria* bölümünde görülen performans seviyeleri varsayılan değerlerinde bırakılmış, sadece dönme kapasitesinin bunlardan daha az olduğu durumlarda değişiklik (bkz. Şekil 5.3.1) yapılmıştır. Akma momenti değerleri uygulamanın bundan önceki kısmında hesaplandığı gibidir.

Frame Hinge Property Data for FH220AU - M3

Edit

Point	Moment/Yield	Rotation/Yield
E-	-0.2	-6.807
D-	-0.2	-6.807
C-	-1.218	-6.807
B-	-1	0
A	0	0
B	1	0
C	1.218	6.807
D	0.2	6.807
E	0.2	6.807

☒ Symmetric

Scaling

☐ Calculate Yield Moment Yield Moment: 121.45

☐ Calculate Yield Rotation Yield Rotation: 0.014

Acceptance Criteria (Plastic Deformation / Yield)

	Positive	Negative
Immediate Occupancy	2	
Life Safety	4	
Collapse Prevention	6	

OK
Cancel

Frame Hinge Property Data for FH220AU - M3

Edit

Point	Moment/Yield	Rotation/Yield
E-	-0.2	-4.575
D-	-0.2	-4.575
C-	-1.178	-4.575
B-	-1	-1
A	0	0
B	1	1
C	1.178	4.575
D	0.2	4.575
E	0.2	4.575

☒ Symmetric

Scaling

☐ Calculate Yield Moment Yield Moment: 121.45

☐ Calculate Yield Rotation Yield Rotation: 0.014

Acceptance Criteria (Plastic Deformation / Yield)

	Positive	Negative
Immediate Occupancy	2	
Life Safety	3	
Collapse Prevention	4	

OK
Cancel

Şekil 5.3.1: Örnek olarak açıklığı 5 m olan HE 220 A profili için sırasıyla Kato Metoduna göre ve Mazzolani – Piluso Metoduna göre girilmesi gereken mafsalsal özelliklerini gösteren pencereler

Kolonlar için eğilme moment(ler)i ile eksenel kuvvetin etkileşiminde Tablo 2.7 (Sayfa 35) ile verilen ilişki (eksenel yükün şiddeti yüksek ve $V_{sd} \leq 0.5V_{pl,Rd}$) tanımlanmıştır. Sadece 2 adet etkileşim eğrisi (açının 0° ve 90° olduğu haller) kullanılmış ve her ikisi için de aynı değerler girilmiştir.

Interaction Surface Definition

Edit

	Axial Load	M
	P	Curve 1
		Angle 0
1	-1	0
2	-0.8	0.222
3	-0.6	0.444
4	-0.4	0.667
5	-0.1	1
6	0	1
7	0.1	1
8	0.4	0.667
9	0.6	0.444
10	0.8	0.222
11	1	0
12		
13		
14		
15		

Scaling

P: 5097.36
M: 1028.66

OK
Cancel

Şekil 5.3.2: Örnek olarak HE 500 B profili için girilmesi gereken etkileşim verileri

5.3.2. Analiz Özelliklerinin Tanımlanması

Burada ilk önce düşey yüklerin çerçeveye yükleneceği bir pushover durumu (PUSH1) tanımlanacaktır. Yatay yükler ise “Eşdeğer Deprem Yükleme” yöntemiyle elde edilen kuvvetlerden (PUSH2) meydana getirilecektir. Çerçeveye etkiyen sabit yükler, hareketli yükler, kar yükleri ve çerçeve kusurlarından ötürü oluşan yükler YAYILI olarak adlandırılan yükleme altında birleştirilmiştir. *Member Unloading Method* bölümündeki tüm yük boşaltma yöntemleri denenerek sonuçlar birbiriyle karşılaştırılacaktır. Son olarak, bunlara ait pushover eğrileri elde edilecektir.

Static Pushover Case Data

Pushover Case Name: PUSH2

Options

- ☐ Push to Load Level Defined by Pattern
- ☒ Push to Displacement of: 3
- Control Joint: 6
- Control Direction: U1
- Start from Previous Pushover: PUSH1
- ☒ Save Positive Increments Only
- Minimum Saved Steps: 300
- Maximum Null Steps: 500
- Maximum Total Steps: 3000
- Maximum Iterations/Step: 10
- Iteration Tolerance: 1.000E-04
- Event Tolerance: 0.01

Member Unloading Method

- ☒ Unload Entire Structure
- ☐ Apply Local Redistribution
- ☐ Restart Using Secant Stiffness

Geometric Nonlinearity Effects

- ☐ None
- ☐ P-Delta
- ☒ P-Delta and large Displacements

Load Pattern

Load	Scale Factor
DEPREM	1.
DEPREM	1.

Buttons: Add, Modify, Delete, OK, Cancel

Şekil 5.3.3: Örnek olarak PUSH2 pushover yüklemesi için belirlenen analiz özellikleri

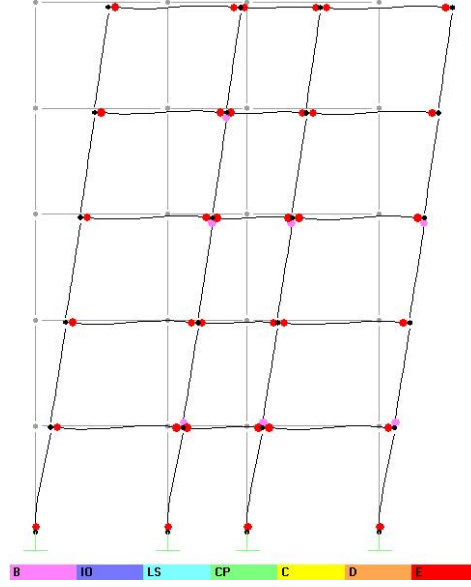
5.3.2.1. Mafsalları Kato Metoduna göre tanımlanan çerçeve için

Şekil 5.3.3'te analiz için seçilen pushover özellikleri (PUSH2 için) görülmektedir. Diğer yük boşaltma metotları için bu veriler gerektiğinde yeniden düzenlenmiştir.

Analiz sonuçları ilerleyen sayfalarda verilmiştir. Analiz çıktıları üzerinde ilk dikkat çeken şey çerçevenin yapmış olduğu ötelenme miktarıdır. Tanımlanmış olan mafsallık özelliklerine dayanarak uygulamanın bundan önceki kısmında hesaplanan tepe deplasmanı $\delta = 1.164m$ (bkz. Bölüm 5.2.6) iken, burada bunun iki katını aşan değerler elde edilmiştir. Bu noktada dikkat edilecek husus, $\delta = 1.164m$ değerinin uzun açıklıklı kirişlerin dönme kapasitesinden hesaplanmış olduğudur. Yani kısa

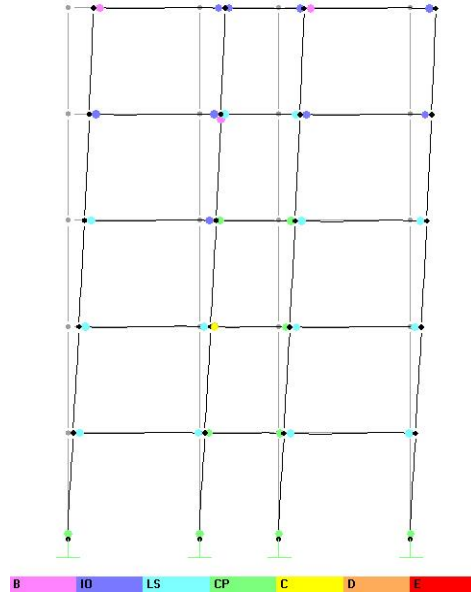
açıklıklı kirişlerin dönme kapasitesi daha küçük bir ötelenme miktarı vermektedir. Bu, kısa kirişlerin daha önce göçme durumuna geçtiği anlamına gelir, ki bu olay analiz sonuçlarının incelenmesi esnasında gözlemlenmiştir. Dolayısıyla, uzun kirişlerdeki mafsallar kendi dönme rezervlerinin sonuna yaklaştıkları sırada çerçeve, zaten göçmüş olan kısa açıklıklı kirişler yüzünden gereğinden fazla ötelenmektedir.

$$\delta = 2.763m$$



Şekil 5.3.4: *Unload Entire Structure* seçeneği işaretli iken PUSH2 analizinin sonuç mekanizması

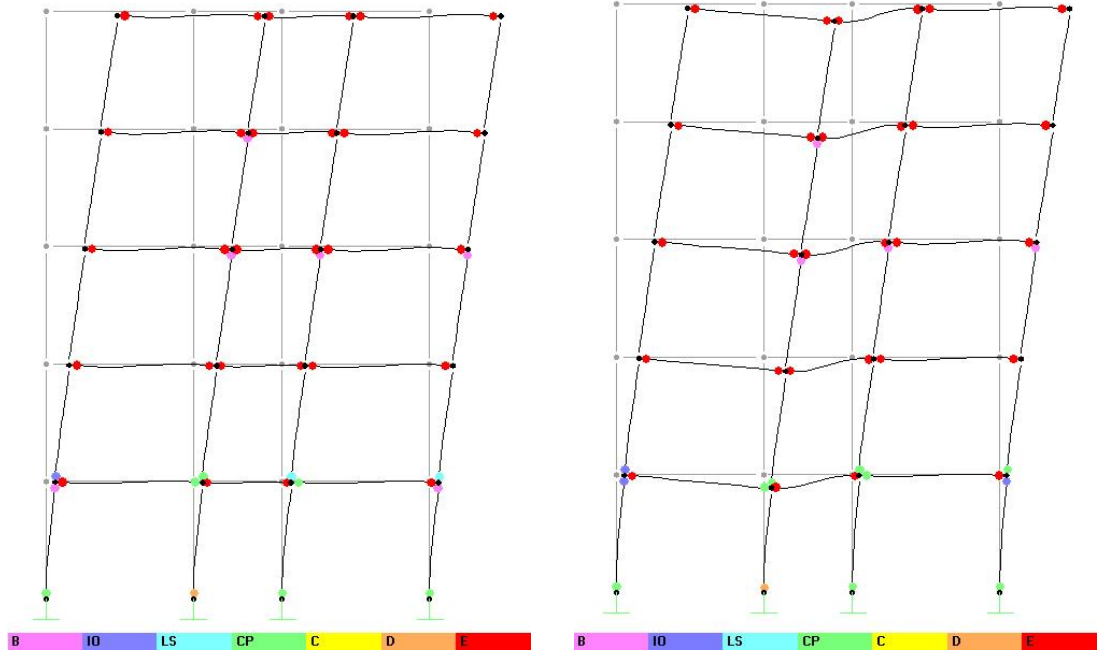
$$\delta = 0.967m$$



Şekil 5.3.5: *Apply Local Redistribution* seçeneği işaretli iken PUSH2 analizinin sonuç mekanizması

$$\delta = 2.41633m$$

$$\delta = 2.41636m$$



Şekil 5.3.6: *Restart Using Secant Stiffness* seçeneği işaretli iken PUSH2 analizinin sonuç mekanizması

Analiz verilerinde değişiklikler yapılmasına rağmen Şekil 5.3.5'te (ve Şekil 5.3.8'de) görülen sonuç mekanizmalarında herhangi bir değişiklik olmamıştır. Her iki mafsal tanımlama metoduyla da program, bu noktada ya hata vererek analizi kesmekte ya da analiz *null step* ile sonuçlanmaktadır. Dolayısıyla *Apply Local Redistribution* seçeneğinin, analiz için en son tercih edilecek yük boşaltma metodu olması kaçınılmazdır.

Yukarıdakine benzer bir kusur da *Restart Using Secant Stiffness* seçeneğiyle yapılan analizde tespit edilmiştir. Şekil 5.3.6 (ve Şekil 5.3.9) incelenecek olursa, programın belli bir noktadan sonra analizi farklı karakterdeki bir mekanizma ile sonuçlandığı fark edilecektir. Hesap adımları mümkün mertebe sıklaştırılmak suretiyle analiz birkaç kez tekrarlanmış, yine aynı sonuçlar elde edilmiştir. Aynı çerçeve ve aynı yük boşaltma seçeneğiyle SAP2000'in 8.23 versiyonunda pushover analizi yapıldığında ise böyle bir durumla karşılaşılmamıştır. Görünüşe göre bu çalışma için basitliği yüzünden tercih edilen program sürümünün bu yük boşaltma metodunda bazı yanlışlıkları vardır.

5.3.2.2. Mafsalları Mazzolani – Piluso Metoduna göre tanımlanan çerçeve için

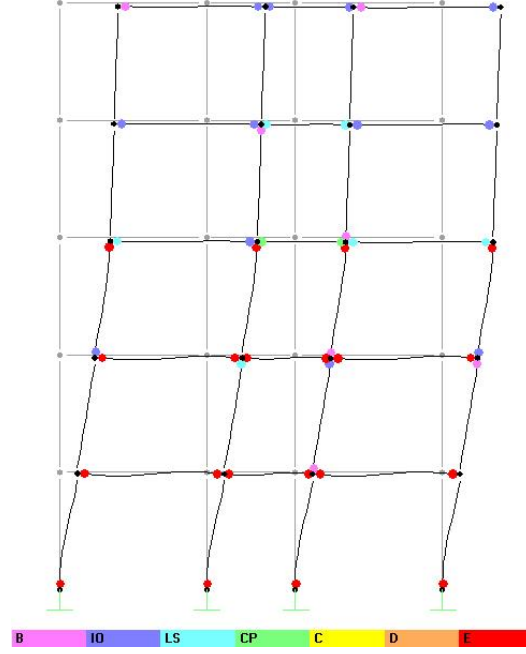
Analiz özellikleri bir önceki metot için verilenlerle (bkz. Şekil 5.3.3) aynıdır. Analiz sonuçları incelenirse, çerçevenin yapmış olduğu maksimum ötelenmenin öncekine benzer şekilde beklenenden daha büyük değerler aldığı görülür.

Burada daha çarpıcı olan sonuç, Şekil 5.3.7’de görüldüğü gibi, çerçevenin 1.tip 3. kat mekanizmasıyla göçmesidir. Global mekanizmayla sonuçlanan diğer pushover analizleriyle kıyaslandığında bu durum zayıf bir ihtimal gibi görünebilir. Ancak ne hesap adımlarının sıklaştırılması, ne de analizin 8.23 versiyonunda tekrarlanması bu sonucu değiştirmemiştir. Bölüm 5.2.7’den hatırlanacağı üzere, kinematikçe en uygun yatay yükleme çarpanı global mekanizmanınkine en yakın çıkan mekanizma türü bu olmuştur. Zaten bu olasılık, Mazzolani ve Piluso’nun önerdiği plastik hesap yönteminde esas alınan $\alpha = \alpha_0 - \gamma_s \delta$ formülüne göre δ ’nın artması halinde mümkün gözükmemektedir. Örneğin $\delta > 1.6114m$ olması halinde, ki buradaki analiz sonuçlarına göre mantıklıdır, $\alpha_3^{(1)} < \alpha^{(g)}$ bulunmaktadır. Ancak $\alpha_{i_m}^{(t)} < \alpha^{(g)}$ şartının sağlanması için 1. kat mekanizmasının daha küçük bir δ değerine ihtiyaç duyması, pushover analizinin bu sonucuyla tutarsızlık içindedir. Dolayısıyla, her ihtimale karşı 3. kat kenar kolonlarının HE 500 B olarak değiştirilmesi, 3. kattaki moment dayanımını arttıracığından bu mekanizmanın oluşumunu engelleyebilir. Gerçekten de, bu şekilde bir düzenleme yapıldığında analizin beklenen şekilde global mekanizmayla sonuçlandığı, buna karşılık sonuç tepe deplasmanının - doğal olarak - bir miktar arttığı ($\delta = 3.02m$) tespit edilmiştir. Bu düzenlemenin Bölüm 5.2’deki hesapları etkilemeyeceği, sadece teknolojik şartların $\rho_2 < \rho_3$ olarak değişmesine neden olacağı tahmin edilmektedir.

Dikkat çekilmesi gereken bir başka husus; Mazzolani ve Piluso’nun plastik hesap yönteminde kolonların göçme anındaki eksenel kuvvetlerinin hesabında referans alınan kiriş göçme dayanımlarının, plastik moment dayanımları (ideal elasto-plastik malzeme) olduğudur. Bu yöntemle pushover analizi arasında daha anlamlı bir kıyaslama için, kolon eksenel kuvvetleri belirlenirken kiriş pekleşme momentlerinin kullanılması daha uygun olabilir. Yine de böyle bir düzenleme, çerçeve simetri ekseninin bir tarafındaki kolonlara etkiyen eksenel kuvvetleri arttırırken diğer

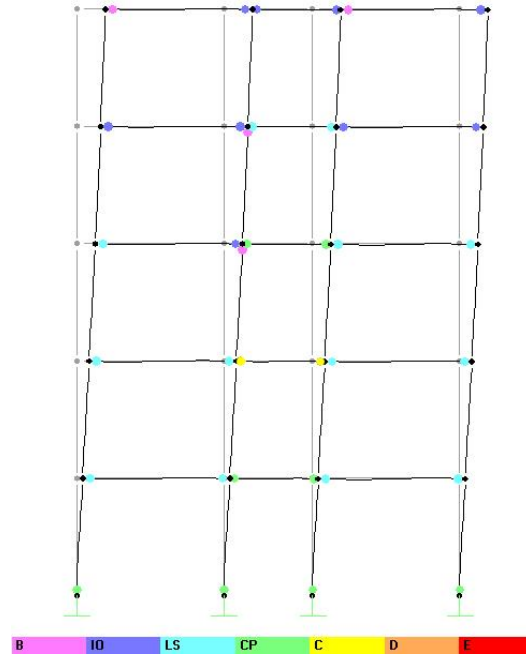
tarafındakileri azaltacağı için, hesap sonuçlarında çok büyük bir değişiklik olmayabilir.

$$\delta = 1.984m$$



Şekil 5.3.7: *Unload Entire Structure* seçeneği işaretli iken PUSH2 analizinin sonuç mekanizması

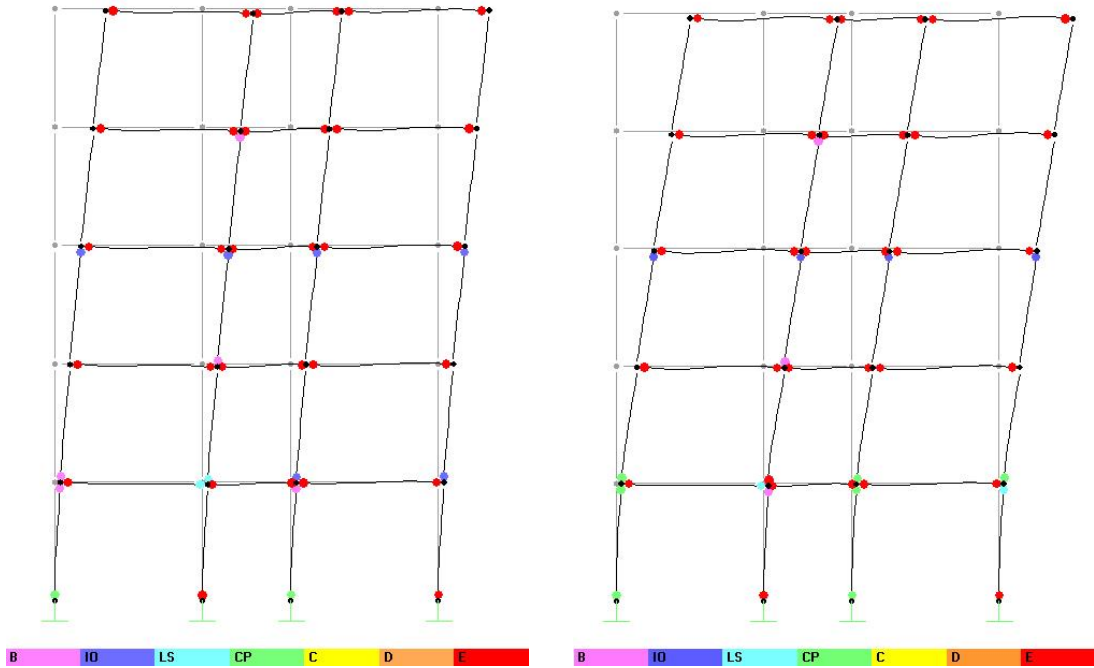
$$\delta = 0.969m$$



Şekil 5.3.8: *Apply Local Redistribution* seçeneği işaretli iken PUSH2 analizinin sonuç mekanizması

$$\delta = 1.723m$$

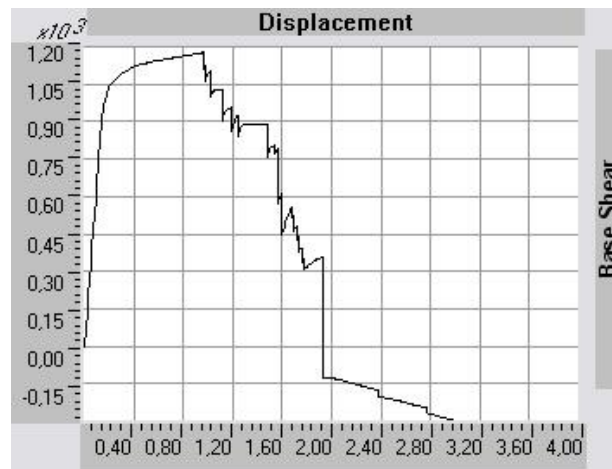
$$\delta = 2.503m$$



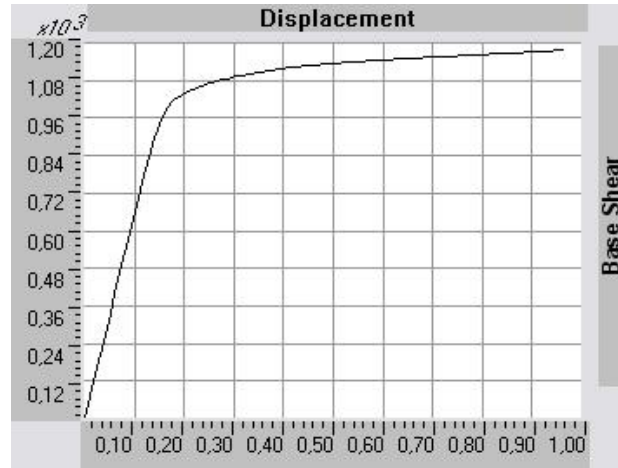
Şekil 5.3.9: *Restart Using Secant Stiffness* seçeneği işaretli iken PUSH2 analizinin sonuç mekanizması

5.3.3. Pushover Eğrileri ve Kapasite Spektrumları

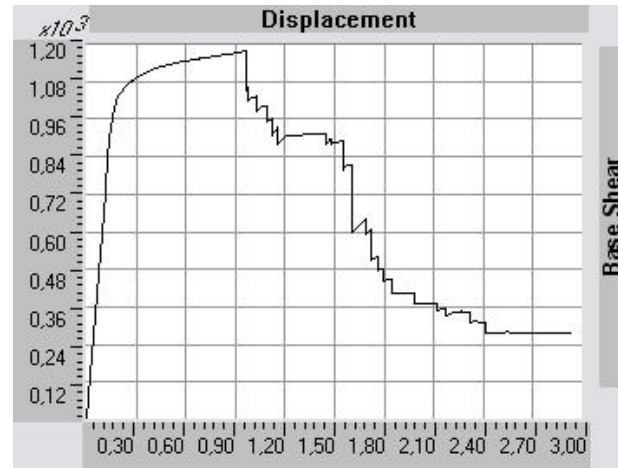
Aşağıdaki şekillerde her iki metot için çeşitli yük boşaltma yöntemlerinin uygulanması sonucunda elde edilen yük – deplasman eğrileri verilmektedir. Eğrilerde taban kesme kuvvetinin negatife geçtiği ani azalmalar için, çerçevenin bu noktada bir göçme mekanizmasına girmiş olduğu yorumu yapılabilir.



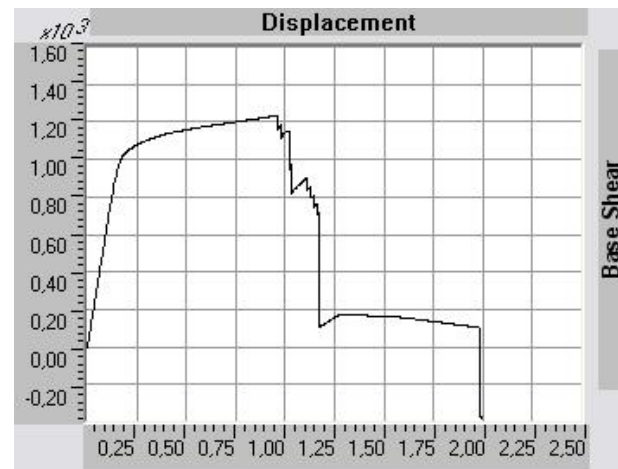
Şekil 5.3.10: *Unload Entire Structure* seçeneği işaretli iken Kato Metodu için PUSH2 analizine ait yük – deplasman eğrisi



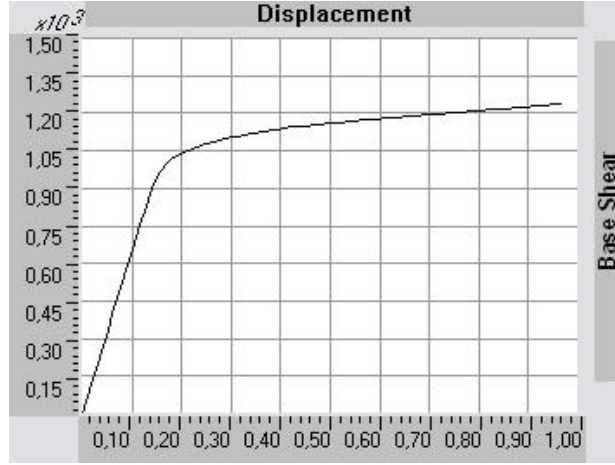
Şekil 5.3.11: *Apply Local Redistribution* seçeneği işaretli iken Kato Metodu için PUSH2 analizine ait yük – deplasman eğrisi



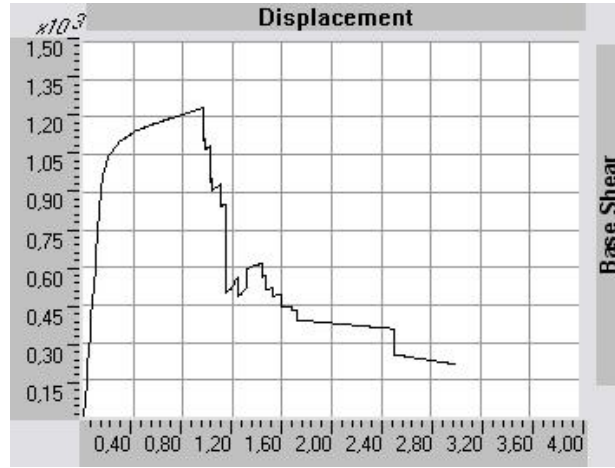
Şekil 5.3.12: *Restart Using Secant Stiffness* seçeneği işaretli iken Kato Metodu için PUSH2 analizine ait yük – deplasman eğrisi



Şekil 5.3.13: *Unload Entire Structure* seçeneği işaretli iken Mazzolani – Piluso Metodu için PUSH2 analizine ait yük – deplasman eğrisi



Şekil 5.3.14: *Apply Local Redistribution* seçeneği işaretli iken Mazzolani – Piluso Metodu için PUSH2 analizine ait yük – deplasman eğrisi

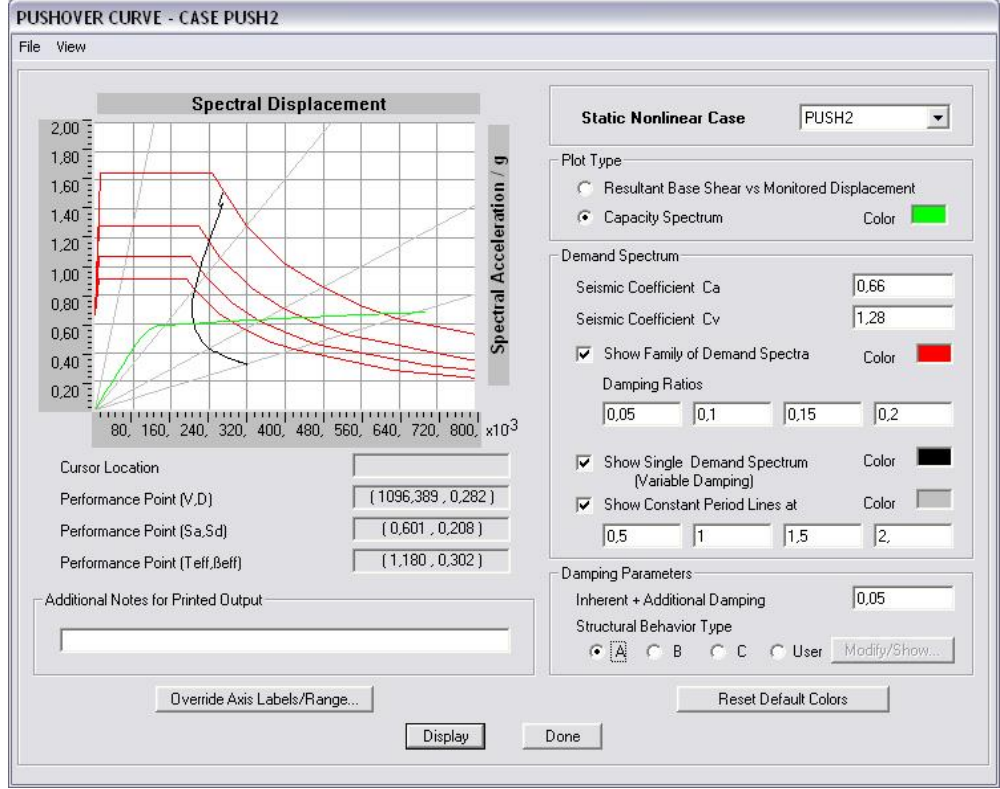


Şekil 5.3.15: *Restart Using Secant Stiffness* seçeneği işaretli iken Mazzolani – Piluso Metodu için PUSH2 analizine ait yük – deplasman eğrisi

Çerçeveye ait kapasite spektrumunun sismik talep spektrumlarıyla karşılaştırılmasını örnekleyebilmek amacıyla, yapının deprem yönetmeliğimize göre muhtemelen 1. deprem bölgesi ile eşdeğer olan Zone 4 (bkz. Bölüm 4.3 Sayfa 74) deprem bölgesine girdiği kabul edilsin. Ayrıca zemin cinsinin S_D olduğu ve yapının fay hattına çok yakın olduğu varsayılınsın. Buna göre en elverişsiz $N_a = 1.5$ ve $N_v = 2.0$ değerleriyle;

$$C_a = 0.44 \times 1.5 = 0.66 \quad \text{ve} \quad C_v = 0.64 \times 2 = 1.28$$

elde edilir. Çerçeve bu uygulamaya göre yeni inşa edilecek bir yapıya ait olduğu için yapısal davranış türü olarak A tipinin seçilmesi uygundur. Geri kalan tercihler arzulan biçimde yapılarak Şekil 5.3.16'daki eğriler elde edilir.



Şekil 5.3.16: Örnek olarak *Apply Local Redistribution* seçeneği işaretli iken Mazzolani – Piluso Metodu için PUSH2 analizine ait kapasite spektrumunun sismik talep spektrumlarıyla karşılaştırılması

Performans noktasının yeri yük boşaltma metotlarından bağımsızdır. Grafikten performans noktasının yeri kolaylıkla görülebilmektedir. Buna göre; şekildeki sismik katsayılarla tanımlanmış bir depreme maruz kaldığında, $0.601g$ 'lik deprem ivmesi etkisinde yapı 28.2 cm ötelenme yapacaktır. Arzu edilirse eşdeğer deprem yüklemesi hesabında kabul edilen $0.4g$ 'lik deprem ivmesi katsayısı artırılarak analiz tekrarlanabilir. Burada da bu şekilde bir düzenleme yapılmış, analiz sonrasında *Design/Check of Structure* komutunun kullanımıyla enkesit dayanımlarının yine de aşılmadığı görülmüştür. 28.2 cm ötelenme yapan çerçevenin bu performans seviyesindeki arakat ötelenmeleri tespit edilmiş ve en büyük arakat ötelenmesi $\Delta_{\max} = 0.07341m$ bulunmuştur. Dolayısıyla bu yapı performans noktasında,

$$\frac{\Delta_{\max}}{h} = \frac{0.07341}{4} = 0.0184 < 0.02$$

oranı ile *Life Safety* performans seviyesinin altında bir ötelenme miktarı yapmaktadır.

File>Display Tables komutuyla analizin her adımında çerçevenin yaptığı ötelenme, taban kesme kuvveti ve o adımda çerçevedeki plastik mafsalların sayısı ile bunların hangi performans seviyesinde olduğu öğrenilebilir.

COK ÖNEMLİ NOT:

Bölüm 4.3'te denklem (4.1) ile verilen formüller dikkate alınarak, *File>Display Tables* komutuyla verilerin incelenmesi sonucunda; bu örnekteki çerçeve için olduğu gibi, kullanıcı tarafından tanımlanmış kütleler yoksa programın kapasite spektrumunu ADRS formatına dönüştürürken yapı ağırlığı olarak sadece çerçevenin zati ağırlığını (bu uygulamada *KENDİ* olarak adlandırılmış yükleme durumunu) kullandığı tespit edilmiştir. Bu yanlışlığı düzeltmek amacıyla; eşdeğer deprem yüklemesi hesabında yararlanılan $G+0.3Q$ yükleme kombinasyonu ile kat ağırlıkları bulunmuş, bunlardan çerçevenin kendisine ait kat ağırlıkları çıkarılmış, geriye kalan değerler $g = 9.81m/sn^2$ ile bölünerek düğüm noktalarına paylaştırılmıştır. İşlem sonucunda programın yapı ağırlığını doğru şekilde belirlediği görülmüştür. Bu düzenleme analizin diğer sonuçlarını etkilememektedir. Düğüm noktalarına etkiyen kütleler Şekil A.15'te gösterilmiştir.

5.3.4. Mazzolani – Piluso Yönteminin Sonuçlarıyla Kıyaslama

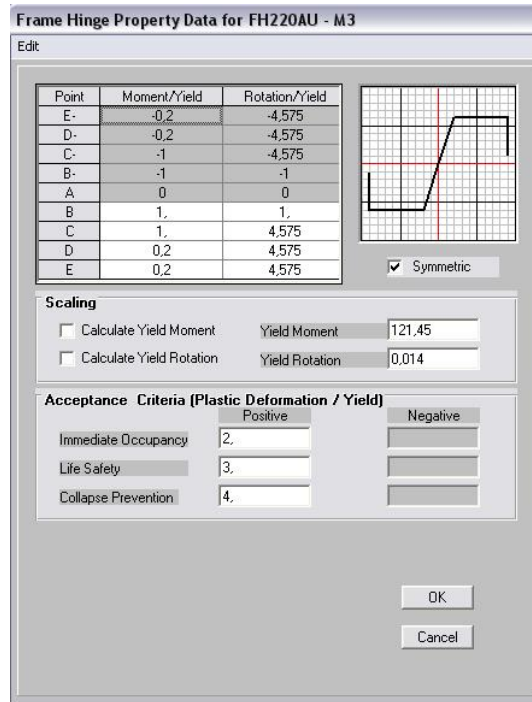
Bu kıyaslama, Bölüm 5.2.10'da bulunan mekanizma eğrisinin pushover analizi sonucunda bulunanlarla karşılaştırılmasından ibarettir. Global mekanizma ile sonuçlanmıyor olmasına rağmen, Şekil 5.2.1'deki $\delta_u = 1.164m$ değerine kadar yapının davranışı aşağı-yukarı aynı olduğundan, Şekil 5.3.13'ün verileri referans alınabilir. Buna göre;

$$\begin{aligned}
 V_y &= 735.5236kN \\
 V_u &= 1237.5959kN \\
 \delta_u &= 1.164m \text{ için } V_{mec} = 747.7504kN
 \end{aligned}
 \rightarrow
 \begin{aligned}
 \alpha_y &= \frac{V_y}{F_1} = \frac{735.5236}{266.59} = 2.76 \\
 \alpha_u &= \frac{V_u}{F_1} = \frac{1237.5959}{266.59} = 4.642 \\
 \alpha_{mec} &= \frac{V_{mec}}{F_1} = \frac{747.7504}{266.59} = 2.805
 \end{aligned}$$

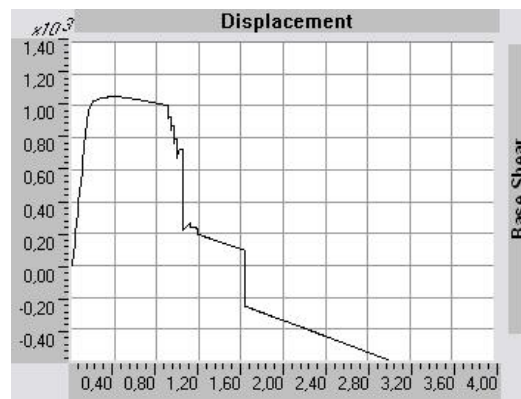
elde edilmektedir. Mafsal özellikleri, Mazzolani – Piluso yönteminde de esas alındığı üzere, Şekil 5.3.17'de görüldüğü gibi ideal elasto-plastik hale getirilirse, sonuçlar;

$$\begin{aligned}
 V_y &= 735.5228 \text{ kN} \\
 V_u &= 1056.951 \text{ kN} \\
 \delta_u &= 1.0542 \text{ m için } V_{mec} = 690.5294 \text{ kN}
 \end{aligned}
 \rightarrow
 \begin{aligned}
 \alpha_y &= \frac{V_y}{F_1} = \frac{735.5228}{266.59} = 2.76 \\
 \alpha_u &= \frac{V_u}{F_1} = \frac{1056.951}{266.59} = 3.965 \\
 \alpha_{mec} &= \frac{V_{mec}}{F_1} = \frac{690.5294}{266.59} = 2.59
 \end{aligned}$$

olarak değişmektedir. Burada δ_u değerindeki azalmanın sebebi, malzemenin pekleşme rijitliği ihmal edildiğinden en alt kat kolonlarının temele ankastre uçlarında dönme kapasitesine daha erken ulaşılmasıdır.



Şekil 5.3.17: Mafsal özelliklerinin ideal elasto-plastik şekle dönüştürülmesi



Şekil 5.3.18: İdeal elasto-plastik mafsal özellikleriyle elde edilen yük – deplasman eğrisi

6. SONUÇLAR

Öncelikle söylemek gerekir ki, uygulamayı basit ve aynı zamanda yeterince anlaşılır kılmak için yapının sadece kısa doğrultusundaki yükler altında davranışı incelenmiş ve buna bağlı olarak tüm analizler yapının en çok yük alan çerçevesi üzerinde yapılmıştır. Boyuna doğrultudaki deprem kuvvetlerinin hesaba dâhil edilmesiyle buradaki uygulamada elde edilen hesap sonuçları belki bir miktar değişebilir. Uygulamanın sonuçları değerlendirilirken bu ihtimal daima göz önünde bulundurulmalıdır.

Ülkemizdeki şartnamelerin dışında bir veya birkaç yönetmeliği inceleme veya uygulama aşamasında yararlanma fırsatı bulabilmiş inşaat mühendisleri ve/veya akademisyenler arasında “*Avrupa’da zaten çok fazla deprem olmuyor ki, onların (deprem) yönetmelikleri bizim için uygun olamaz!*” yorumlarını duymak olasıdır. Bu görüşteki mühendisler özellikle EC3’te, küt kaynak dayanımının birleştirilen parçaların malzeme dayanımıyla (ya da bunların arasından en düşük olanıyla) eşdeğer tutuluyor olmasına şüpheyile yaklaşmaktadırlar. Ancak unutulmamalıdır ki Avrupa ülkelerindeki kaynak işçiliği ve malzeme kalitesi herhalde ülkemizdekilerden iyidir. Deprem yönetmeliği meselesine gelince; bu çalışmada ele alınmamış olmakla birlikte deprem bölgelerinde güvenli yapı tasarımı için “*Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance*” standardı hazırlanmıştır. Bunun ülkemiz şartlarına uygun olup olmadığı tartışması ise (Mazzolani ve Piluso Eurocode 8’deki kriterlerin global göçme mekanizmasının temini için yeterli olmayabileceğini iddia ediyor olsalar da) tamamen başka bir araştırma konusu olacak niteliktedir. Çalışmanın bu noktasında, varılacak sonuçlar ve yapılabilecek yorumlar Eurocode 3 ile sınırlı kalmalıdır.

Uygulama örneğinde kullanılan hesap tarzları arasındaki karşılaştırma, kısmi güvenlik katsayıları yöntemine göre elastik global analiz yapılarak elde edilen enkesitlerin plastik global analizin kullanımıyla küçülüp küçülmeyeceği ile ilgilidir. Zaten plastik hesapla daha ekonomik enkesitlerin bulunması beklenir. Oysa burada gözden kaçan nokta, elastik hesap yapılan durumda bile yine enkesitlerin plastik

dayanımlarının kullanılıyor olmasıdır. Dolayısıyla daha küçük enkesitler elde etmek mümkün olmamıştır. Hatta 3. kat kenar kolonlarının büyütülmesi gerekebileceği ortaya çıkmıştır (bkz. Sayfa 122). Ancak bu durum çerçevenin global mekanizma ile göçmesinin temini için gerekli görülmüştür. Gerçi pushover analizi bu uygulama için bir bakıma Mazzolani ve Piluso'nun plastik hesap yönteminin kontrolü için kullanılmış olup global göçme mekanizmasının sağlanması zorunlu değildir.

6.1. Eurocode 3'e İlişkin Yorumlar

Aslında uygulama örneğinin incelenmesi sırasında da yapılabilecek bazı yorumlar bir bütünlük sağlamak için özellikle sonuçlar kısmına bırakılmıştır. Öncelikle söylemek gerekirse, Eurocode 3 normlarına uyarak tasarlanabilecek tek çerçeve bu değildir. Ancak diğer hesap yöntemlerine paralel olarak anlamlı bir karşılaştırma yapılabilmesi amacıyla seçilmiştir. Örneğin tüm kolonların HE 400 B ve tüm kirişlerin HE 400 A olarak seçilmesiyle teşkil edilen bir çerçeve için Eurocode 3'e bağlı kalınarak yapılan enkesit dayanımı kontrollerinin sağlandığı, buna karşılık diğer analiz yöntemleri sonucunda arzulanan global göçme mekanizmasının elde edilemediği görülmüştür.

Öyleyse tasarımı yapılan taşıyıcı sistemlerin, şiddetli depremlere maruz kaldıklarında güvenli bir davranış sergileyebilmesi, tasarım aşamasında kullanılan standarttan çok mühendisin sorumluluğundadır. Kaldı ki şartnamelerde apaçık bir şekilde yüksek sismik performanslı yapıların tasarımı anlatılmaz; böyle bir tasarım anlayışını, eğer mümkün ise, önceki tecrübelerle dayanarak ortaya çıkarmak yine araştırmacıların görevi olmaktadır. Araştırmalar neticesinde kesinliği ve doğruluğu ispatlanarak yaygınlaşmış kavramlara da haliyle tasarım normlarında yer verilir.

Bu açıdan değerlendirilirse Eurocode 3, çelik yapıların boyutlandırılmasında yararlanılabilecek güvenilir kaynaklardan biri olmaktadır. Bu çalışma için sadece belli başlı bölümlerinden özetler çıkarılan standart; birkaç çeşit analize (elastik ve/veya plastik) imkân veren rasyonel yapısı, konularla ilgili açıklayıcı şekilleri, muhtemel her çeşit özel durumun göz önüne alındığı detaylı açıklamaları, araştırmaya ve tecrübeye dayanan tutarlı ve anlaşılır bağıntıları, malzemede yorulma olgusuna ilişkin ayrıntılı ve güncel tabloları ve benzeri özellikleriyle TS 648'in yerini almaya hazırdır. Avrupa Birliğine girmeye hazırlanan ülkemiz için, şu anda yararlanılan normlardan daha kullanışlı ve isabetli bir tercih olacağına şüphe yoktur.

Ülkemizde betonarme yapıların tasarımında kullanılan TS 500 ile bazı hususlarda (yükler ve malzemeye ilişkin emniyet katsayıları gibi) benzerlikler gösterdiği için, uygulama safhasında inşaat mühendislerine bir adaptasyon zorluğu çıkartması da beklenmemektedir.

6.2. Mazzolani ve Piluso'nun Plastik Hesap Yöntemine İlişkin Yorumlar

F.M. Mazzolani ve V. Piluso'nun önermekte olduğu metot, hesaplarda kullanılan ifadeler her ne kadar karmaşık görünse de, programlanmaya müsait ve yazarlarının da belirttiği şekilde güvenilirliği ispatlanmış bir yöntemdir. Sıralanan şartlar sağlanarak global mekanizmada göçen yapılar tasarlanabileceği gibi, aynı denklemlerin kullanımıyla mevcut bir yapının da hangi mekanizma ile çökeceği belirlenebilir.

Virtüel iş teoremine dayanan basit bir denge denkleminde yola çıkılarak hazırlanmış, belirli fonksiyonların kullanımıyla basitleştirilmiş ifadeler kolaylıkla anlaşılır ve uygulanabilir olmakla beraber bazı noktalar yine de tasarımcının inisiyatifine bırakılmıştır. Bunların en belirginini “*teknolojik koşul*”dur. i_m 'ninci kat kolonları indirgenmiş moment dayanımlarının birinci kat kolonlarınıninkine oranı şeklinde tanımladıkları bu koşul hakkında yazarlar daha tatmin edici bir açıklama yapmamaktadır. Nitekim uygulama sırasında bu koşulun sağlanmamasının bir mahzuru olmadığı ortaya çıkmıştır. Aslında birinci katta en az iki kolonun (simetri dolayısıyla) enkesitlerinin arttırılmasıyla (1 ve 16 numaralı kolonların örneğin HE 500 M olarak değiştirilmesiyle) bu şart da sağlatılabilmektedir. Ancak, inşaat pratiğinde üç katta üç ayrı enkesitte kolon kullanmak tercih edilmediği için kasıtlı olarak çerçeve bu haliyle bırakılmıştır.

Teknolojik koşul bir yana bırakılırsa, yöntemin en uğraştırıcı tarafı, global mekanizma ile göçme halinde taşıyıcı sistemin yapacağı ötelenme miktarının tespitidir. Çok belirleyici olan bu değer kesin olarak tespiti elle yapılan hesaplarla pek mümkün görünmemektedir. Çünkü yöntem; plastik mafsalların eşzamanlı oluşmadığı ve mafsallaşmanın ilerleyişi sırasında moment dağılımının daha rijit yapı elemanlarına doğru kaydığı gerçeğini tam olarak ele alamamaktadır. Bölüm 3.5.2’de verilen mekanizma eğrisi yöntemiyle yük-deplasman eğrisini (yaklaşık olarak) elde etmek mümkünse de, hesaplanan ötelenme değer(ler)i ile pushover analizi sonucunda bulunanlar arasında büyük farklar vardır.

Konu hakkında belki en bilgilendirici kaynakların da yazarların İtalya’da verdiği konferanslarda sundukları notlardan oluşuyor olması ise daha ayrıntılı bilgilere ve en azından bir uygulamaya sahip olabilmek açısından çok büyük şanssızlıktır. Bu çalışmada referans alınan kaynakta hiç örnek olmaması eserin bir noksanlığı olarak yorumlanabilir. Son yıllarda elastik olmayan yapı davranışının gerçeğe çok yakın bir biçimde modellenmesini mümkün kılan bilgisayar uygulamalarının (ki pushover analizi bunlardan biridir) ortaya çıkışıyla da yöntem kullanılabilirliğini büyük ölçüde yitirmiştir.

6.3. Pushover Analizine İlişkin Yorumlar

Dünya çapında güncel şiddetli depremlerden sonra yapılarda performans kavramının önemi artmıştır. Buna bağlı olarak; gerek araştırmacılar, gerek bilgisayar programcıları inelastik yapı davranışını modelleyebilmek amacıyla çeşitli yöntemler ve/veya ürünler geliştirmişlerdir. *Pushover* analizi bunların arasında en yaygını olup performansa dayalı yapı tasarımı için sıkça kullanılır hale gelmiştir. Çok bilinen analiz programlarının dışında kendi pushover hesap yöntemini geliştiren [6] araştırmacılar bulunmaktadır. Ülkemizde de betonarme yapıların tasarımı için kullanılan STA4CAD programının son sürümünde artık pushover analizi yapılabildiği bilinmektedir.

Bu çalışmada yararlanılan SAP2000’in pushover analizi için mevcut programlar arasında en başarılılardan biri olduğu söylenebilir. Yine de analizden alınan sonuçların güvenilir olduğuna kanaat getirebilmek için çeşitli taşıyıcı sistem örnekleri üzerinde deneyim kazanmak gerekli olabilir. Çünkü analiz sonuçları kullanılan toleranslardan ve hesap adımlarının sayısından bile etkilenmektedir. Plastik mafsallık özelliklerini doğru tanımlamak, analizden doğru sonuçlar almak için en gerekli adımlardan biri olup bunu yaklaşık tahminlerle yapmak mümkün değildir. Dolayısıyla plastik mafsallık özelliklerini tanımlamak amacıyla (en azından çelik yapı malzemesi için) [5] no’lu kaynakta verilen bağıntılar kullanılabilir.

Sonuç olarak; “eşdeğer deprem yüklemesi” yönteminin kullanılabildiği yapı türleri için dinamik analiz yerine pushover analizi yapmak çok daha uygundur ve SAP2000 pratik yapısı, çalışılması kolay menüleri ve kolay izlenebilen çıktılarıyla pushover analizini inşaat mühendisleri için eğlenceli hale getirmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] **Özgen, A. ve Bayramoğlu, G.**, 2002. Çelik Yapılar I Ders Notları ve Uygulamaları, İstanbul.
- [2] **Güçlü, G.**, 2003. Çok Katlı Bir Çelik Toplukonut Binasının Karşılaştırmalı Tasarımı, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [3] **Eurocode 3: Design of Steel Structures, Part 1.1: General Rules and Rules for Buildings**, ENV 1993-1-1.
- [4] **Mazzolani, F. M. and Piluso, V.**, 1996. Global ductility of MR frames, in *Theory and Design of Seismic Resistant Steel Frames*, pp. 35-90, E&FN Spon, an imprint of Chapman&Hall, London.
- [5] **Mazzolani, F. M. and Piluso, V.**, 1996. Local ductility of beams and beam-columns, in *Theory and Design of Seismic Resistant Steel Frames*, pp. 91-164, E&FN Spon, an imprint of Chapman&Hall, London.
- [6] **Hasan, R., Xu, L. and Grierson, D.E.**, 2002. Push-over analysis for performance-based seismic design, *Computers and Structures*, **80**, 2483-2493, www.elsevier.com/locate/compstruc .
- [7] **Habibullah, A. and Pyle, S.**, 1998. Practical Three Dimensional Nonlinear Static Pushover Analysis, www.csiberkeley.com/Tech_Info .
- [8] **Comments on Chapter 5 of FEMA 273**, 1998. Original FEMA 274 Pages, degankol.tempdomainname.com/0_0_Misc/0_1_FEMADocuments/fema356/fema274pdf.html .
- [9] **ATC**, 1996. Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings, Volume 1, *ATC – 40 Report*, Applied Technology Council, Redwood City, California.
- [10] **SAP2000 Manuals**, 2003. Structural Analysis Program, Computers and Structures Inc., Berkeley, California.
- [11] **Bachman, R.E. and Bonneville, D.R.**, 2002. The Seismic Provisions of the 1997 Uniform Building Code, www.degenkolb.com/7_0_Resources/7_2_Publications/PDFs/drpaper.pdf .

EKLER

Eklerin İçeriği

EK A

Enkesitlerin sınıflandırılmasında kullanılan tablolar; uygulama örneğinde kullanılan çerçeveye etkiyen dış yükler; Mazzolani ve Piluso'nun plastik hesap yönteminde kullanılmak üzere, kolonlara muhtemel mekanizma durumları ile göçme anında etkiyen eksenel kuvvetlerin tespiti amacıyla hazırlanan yüklemeler; pushover analizinde kullanılmak üzere, çerçeve düğüm noktalarına etkitilen kütleler.

EK B

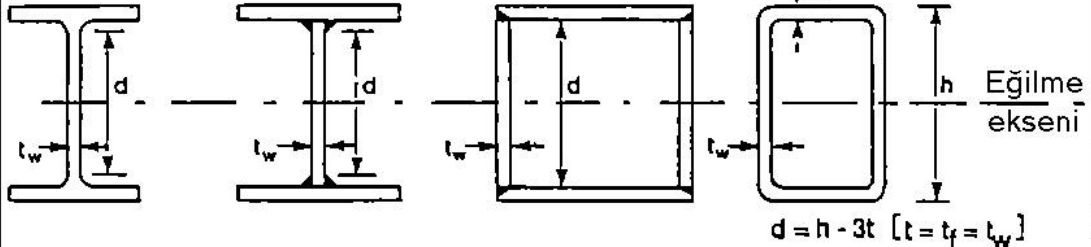
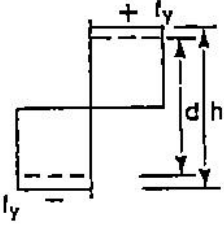
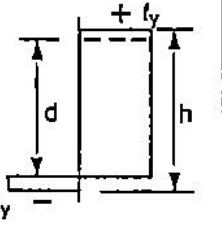
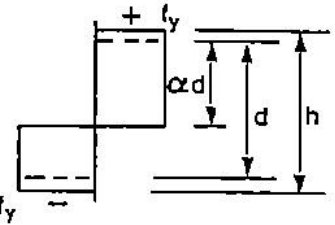
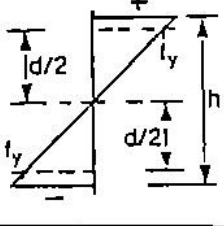
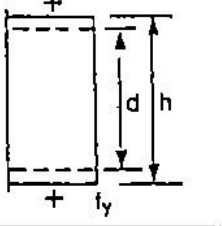
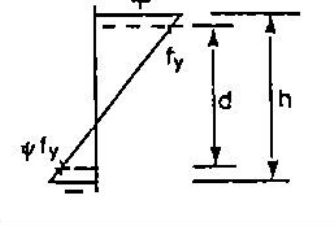
Kısmi güvenlik katsayıları yöntemine göre boyutlandırma örneğinin analiz sonuçları.

EK C

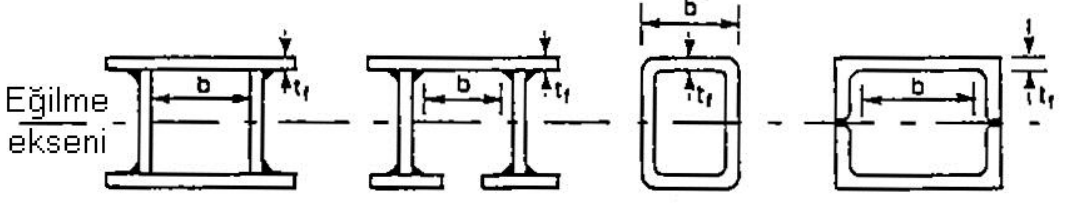
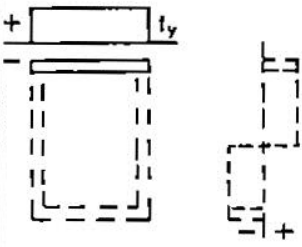
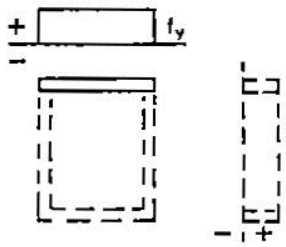
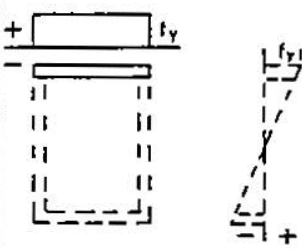
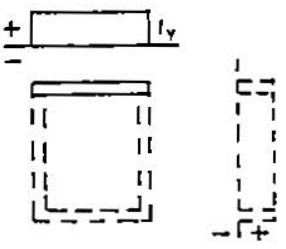
Mazzolani ve Piluso'nun plastik hesap yönteminde kullanılmak üzere, muhtemel mekanizma durumları ile göçme anında kolonlara etkiyen eksenel kuvvetlerin tespiti amacıyla hazırlanan yükleme kombinasyonları ve analiz sonuçları.

EK A

Tablo A.1-a. Eurocode 3'te enkesit sınıfının tespitinde kullanılan tablolar

(a) <i>Gövde Levhası Kısımları</i> (Eğilme eksenine dik kısımlar)				
				
Sınıf	Eğilmeye maruz gövde levhası	Basınca maruz gövde levhası	Eğilme ve basınca maruz gövde levhası	
Enkesit kısmında gerilme dağılışı (basınç pozitif)				
1	$d/t_w \leq 72\epsilon$	$d/t_w \leq 33\epsilon$	eğer $\alpha > 0,5$: $d/t_w \leq 396\epsilon/(13\alpha - 1)$ eğer $\alpha < 0,5$: $d/t_w \leq 36\epsilon/\alpha$	
2	$d/t_w \leq 83\epsilon$	$d/t_w \leq 38\epsilon$	eğer $\alpha > 0,5$: $d/t_w \leq 456\epsilon/(13\alpha - 1)$ eğer $\alpha < 0,5$: $d/t_w \leq 41,5\epsilon/\alpha$	
Enkesit kısmında gerilme dağılışı (basınç pozitif)				
3	$d/t_w \leq 124\epsilon$	$d/t_w \leq 42\epsilon$	eğer $\psi > -1$: $d/t_w \leq 42\epsilon/(0,67 + 0,33\psi)$ eğer $\psi \leq -1$: $d/t_w \leq 62\epsilon(1-\psi) \sqrt{(-\psi)}$	
$e = \sqrt{235/f_y}$	f_y	235	275	355
	ϵ	1	0,92	0,81

Tablo A.1-b. (Tablo A.1-a'dan devam)

(b) <i>Başlık Kısımları</i> (Eğilme eksenine paralel iç kısımlar)				
				
Sınıf	Enkesit şekli	Eğilmeye maruz enkesit	Basınca maruz enkesit	
Enkesitte ve enkesit kısmında gerilme dağılışı (basınç pozitif)				
1	Hadde Kutu Profiller Diğerleri	$(b-3t_f)/t_f \leq 33\epsilon$ $b/t_f \leq 33\epsilon$	$(b-3t_f)/t_f \leq 42\epsilon$ $b/t_f \leq 42\epsilon$	
2	Hadde Kutu Profiller Diğerleri	$(b-3t_f)/t_f \leq 38\epsilon$ $b/t_f \leq 38\epsilon$	$(b-3t_f)/t_f \leq 42\epsilon$ $b/t_f \leq 42\epsilon$	
Enkesitte ve enkesit kısmında gerilme dağılışı (basınç pozitif)				
3	Hadde Kutu Profiller Diğerleri	$(b-3t_f)/t_f \leq 42\epsilon$ $b/t_f \leq 42\epsilon$	$(b-3t_f)/t_f \leq 42\epsilon$ $b/t_f \leq 42\epsilon$	
$\epsilon = \sqrt{235/f_y}$		f_y	235	275
		e	1	0,92
				355
				0,81

Tablo A.1-c. (Tablo A.1-a'dan devam)

(c) **Başlık Kısımları** (Gövde hizasından taşan dış kısımlar)

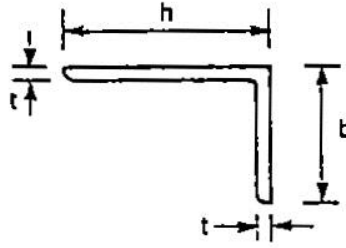
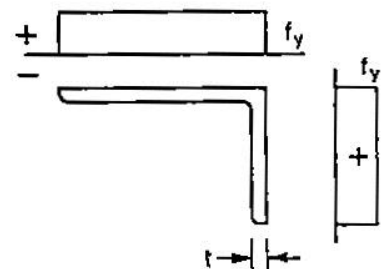
Hadde enkesitler

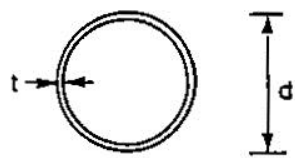
Kaynaklı enkesitler

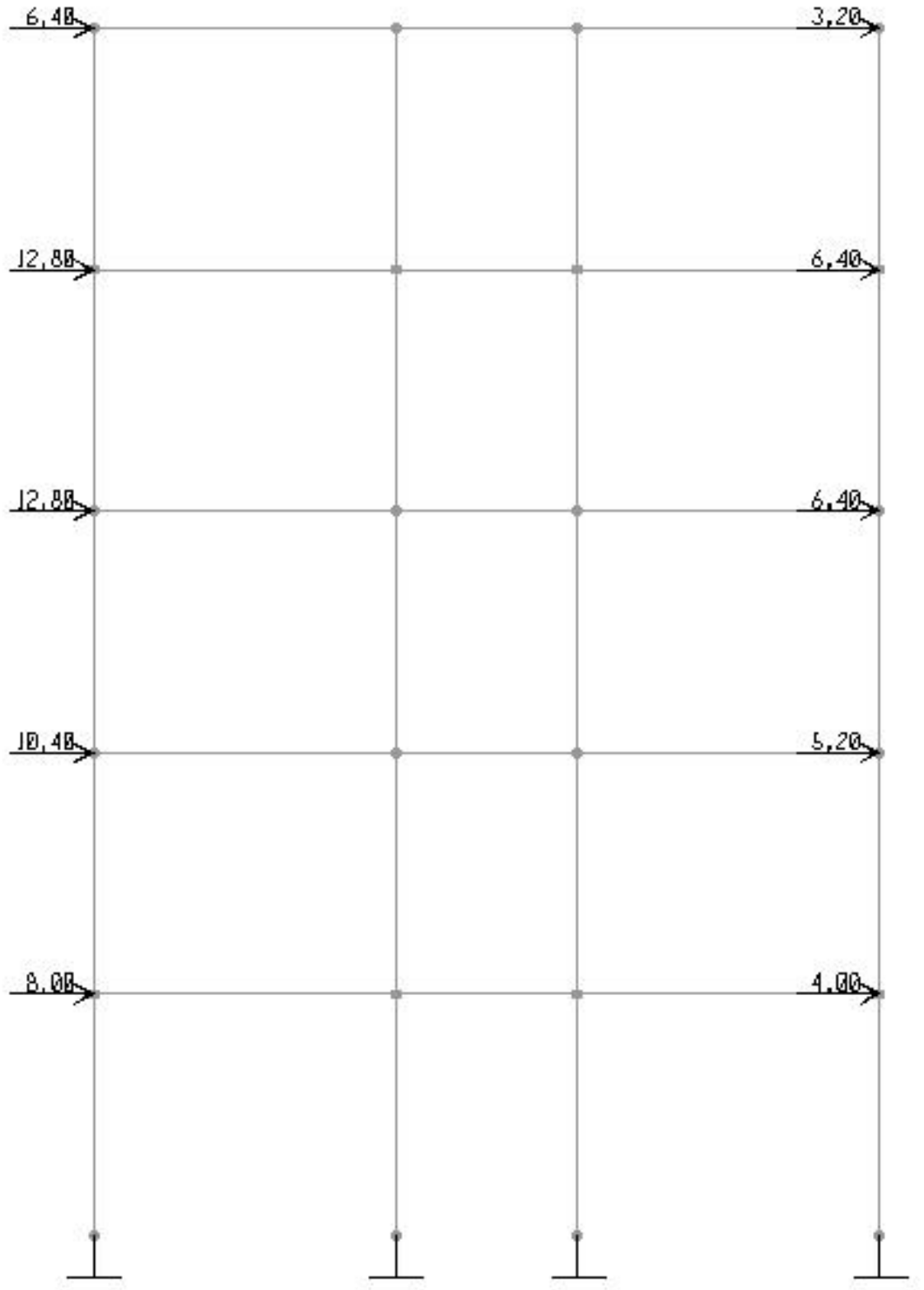
Sınıf	Enkesit şekli	Basınca maruz başlık	Eğilme ve basınca maruz başlık		
			Başlığın ucu basınç alıyor	Başlığın ucu çekme alıyor	
Enkesit kısmında gerilme dağılışı (basınç pozitif)					
1	Hadde	$\sigma_{t_f} \leq 10\epsilon$	$\sigma_{t_f} \leq \frac{10\epsilon}{\alpha}$	$\sigma_{t_f} \leq \frac{10\epsilon}{\alpha \sqrt{\alpha}}$	
	Kaynaklı	$\sigma_{t_f} \leq 9\epsilon$	$\sigma_{t_f} \leq \frac{9\epsilon}{\alpha}$	$\sigma_{t_f} \leq \frac{9\epsilon}{\alpha \sqrt{\alpha}}$	
2	Hadde	$\sigma_{t_f} \leq 11\epsilon$	$\sigma_{t_f} \leq \frac{11\epsilon}{\alpha}$	$\sigma_{t_f} \leq \frac{11\epsilon}{\alpha \sqrt{\alpha}}$	
	Kaynaklı	$\sigma_{t_f} \leq 10\epsilon$	$\sigma_{t_f} \leq \frac{10\epsilon}{\alpha}$	$\sigma_{t_f} \leq \frac{10\epsilon}{\alpha \sqrt{\alpha}}$	
Enkesit kısmında gerilme dağılışı (basınç pozitif)					
3	Hadde	$\sigma_{t_f} \leq 15\epsilon$	$\sigma_{t_f} \leq 23\epsilon \sqrt{k_{\sigma}}$ $\sigma_{t_f} \leq 21\epsilon \sqrt{k_{\sigma}}$ k_{σ} için standarda* başvurulmalıdır.		
	Kaynaklı	$\sigma_{t_f} \leq 14\epsilon$			
$\epsilon = \sqrt{235/f_y}$		f_y	235	275	355
		ϵ	1	0.92	0.81

* Bkz. Eurocode 3 şartnameleri Bölüm 5.3.5 – Tablo 5.3.3.

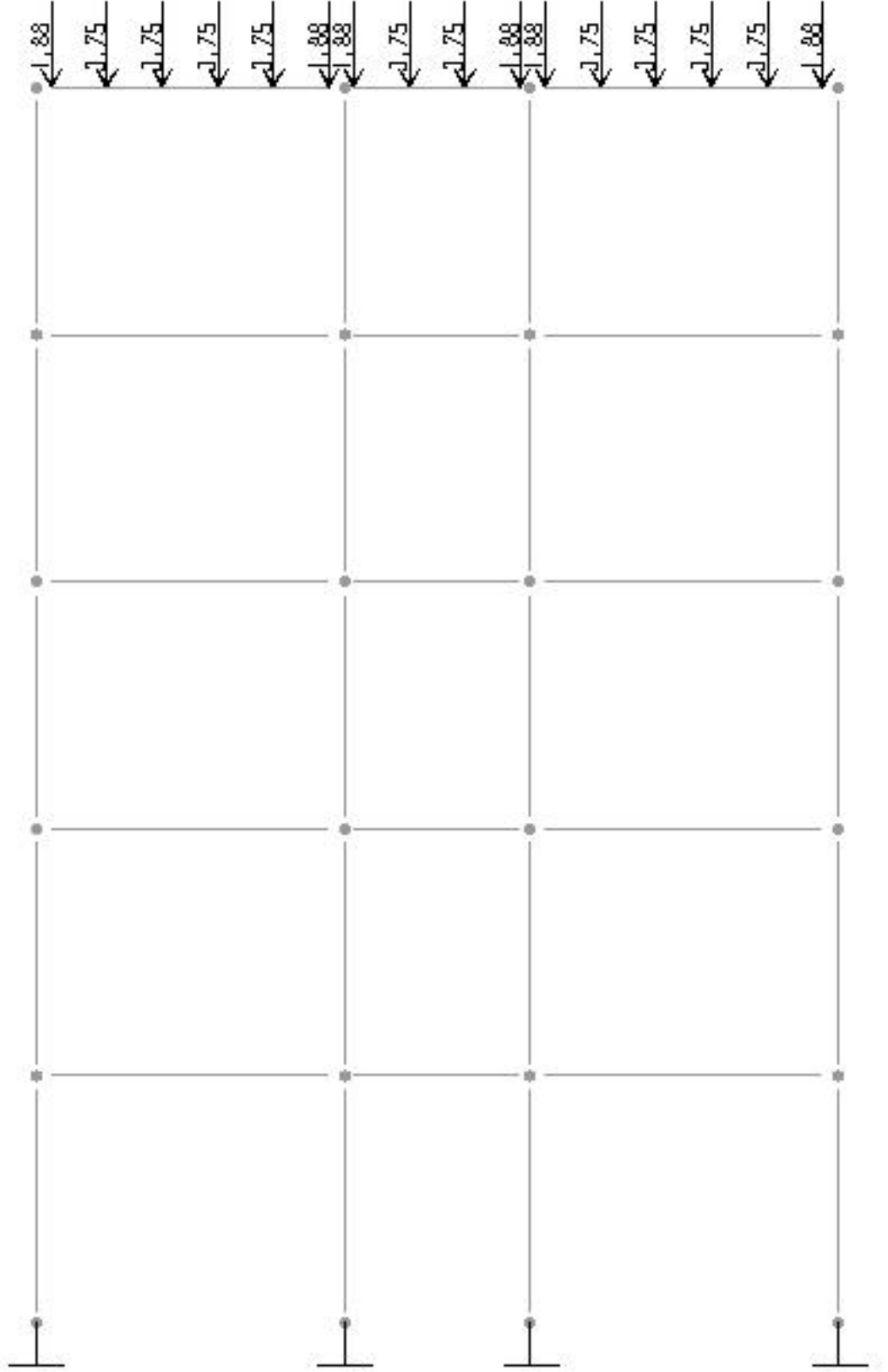
Tablo A.1-d. (Tablo A.1-a'dan devam)

(d) <i>Korniyerler</i>  (Başka parçalarla sürekli olarak birleştirilmiş korniyerler için geçerli değildir) Bölüm (c) de incelenmelidir.	
Sınıf	Basınca maruz enkesit
Enkesitte gerilme dağılışı (basınç pozitif)	
3	$\frac{h}{t} \leq 15\epsilon : \frac{b+h}{2t} \leq 11,5\epsilon$

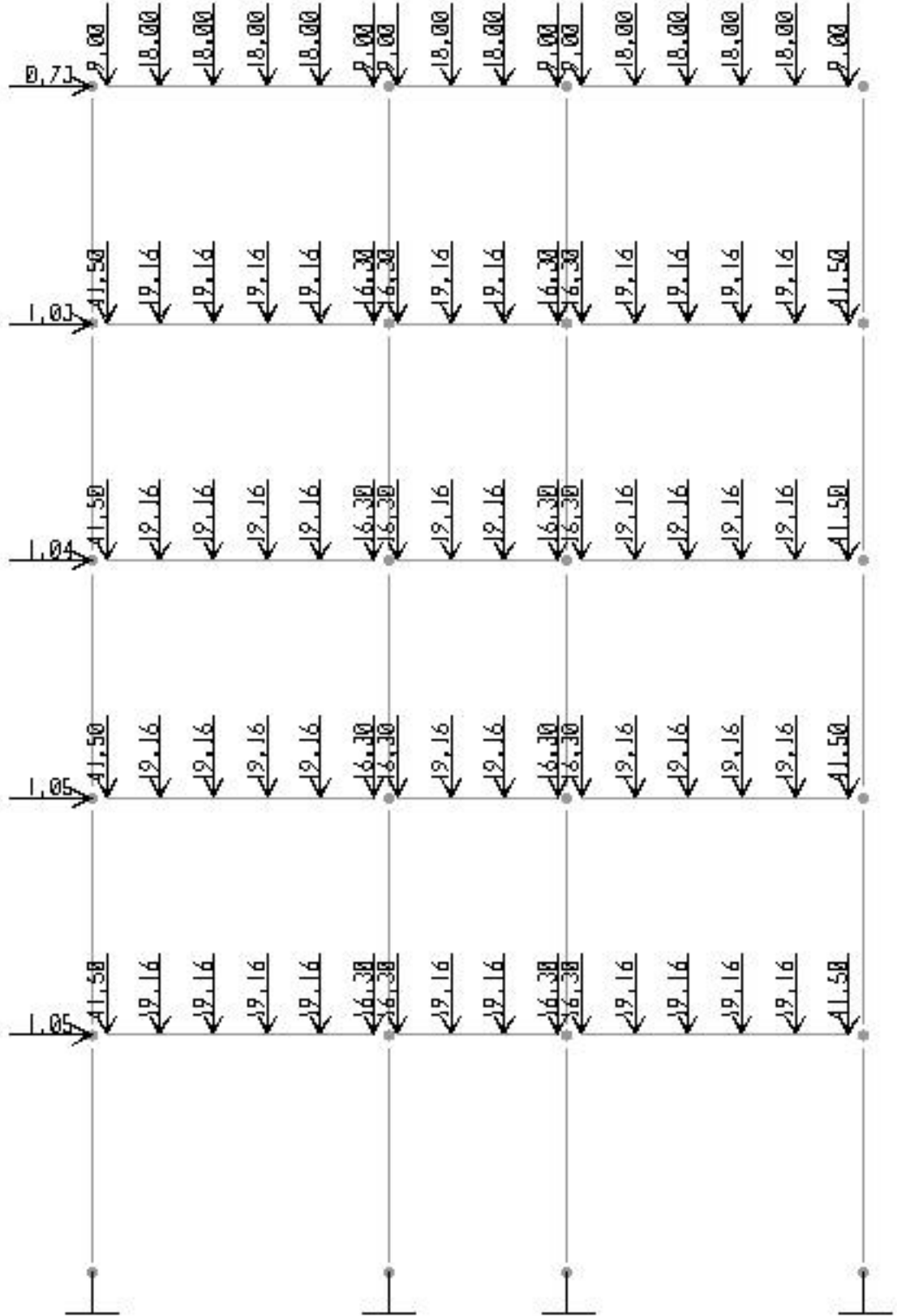
(e) <i>Boru Enkesitler</i> 				
Sınıf	Eğilme ve/veya basınca maruz enkesit			
1	$d/t \leq 50\epsilon^2$			
2	$d/t \leq 70\epsilon^2$			
3	$d/t \leq 90\epsilon^2$			
$\epsilon = \sqrt{235/f_y}$	f_y	235	275	355
	ϵ	1	0,92	0,81
	ϵ^2	1	0,85	0,66



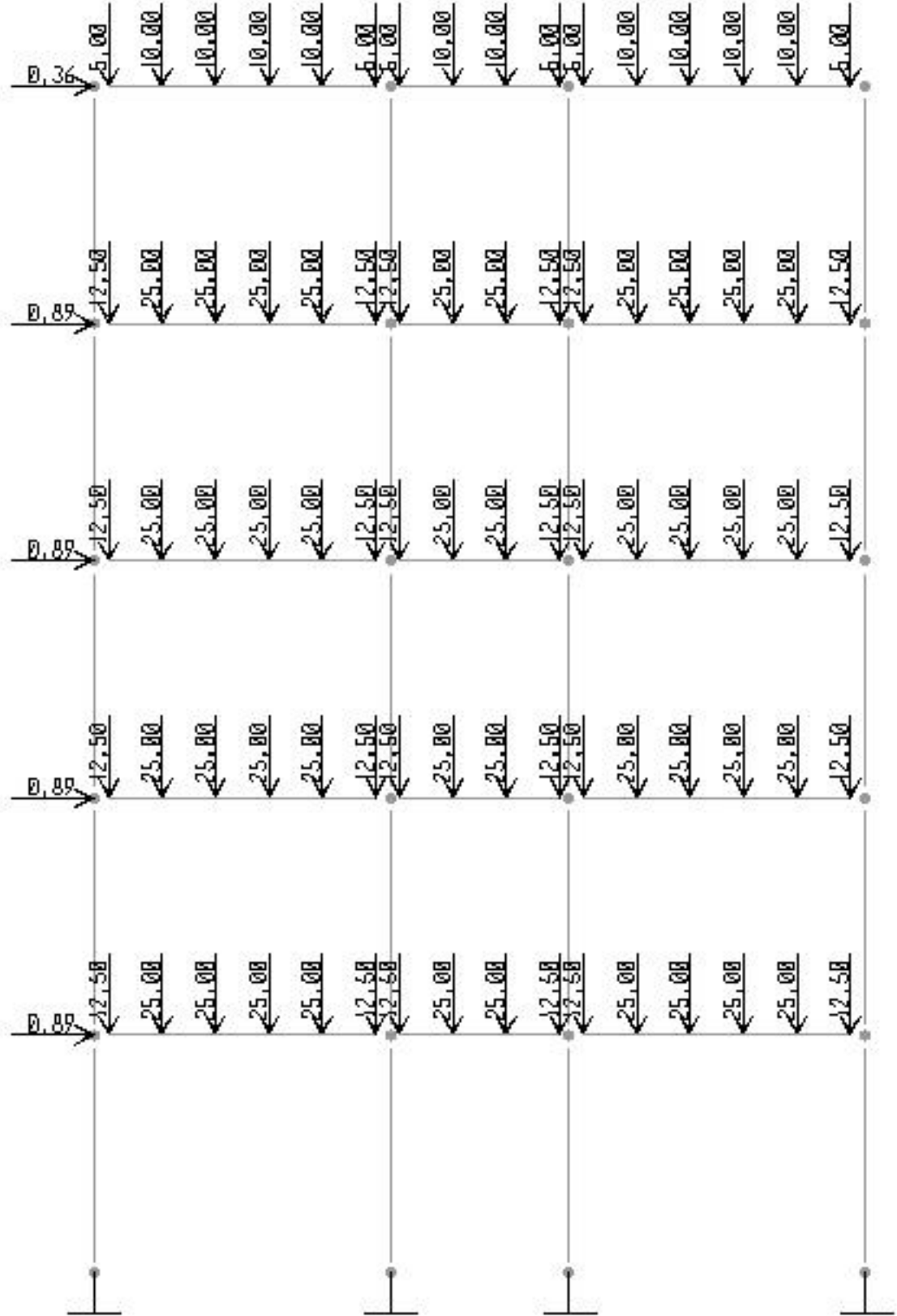
Şekil A.1: Uygulama Çerçevesine Etkiyen Rüzgar Yükleri



Şekil A.2: Uygulama Çerçevesine Etkiyen Kar Yükleri



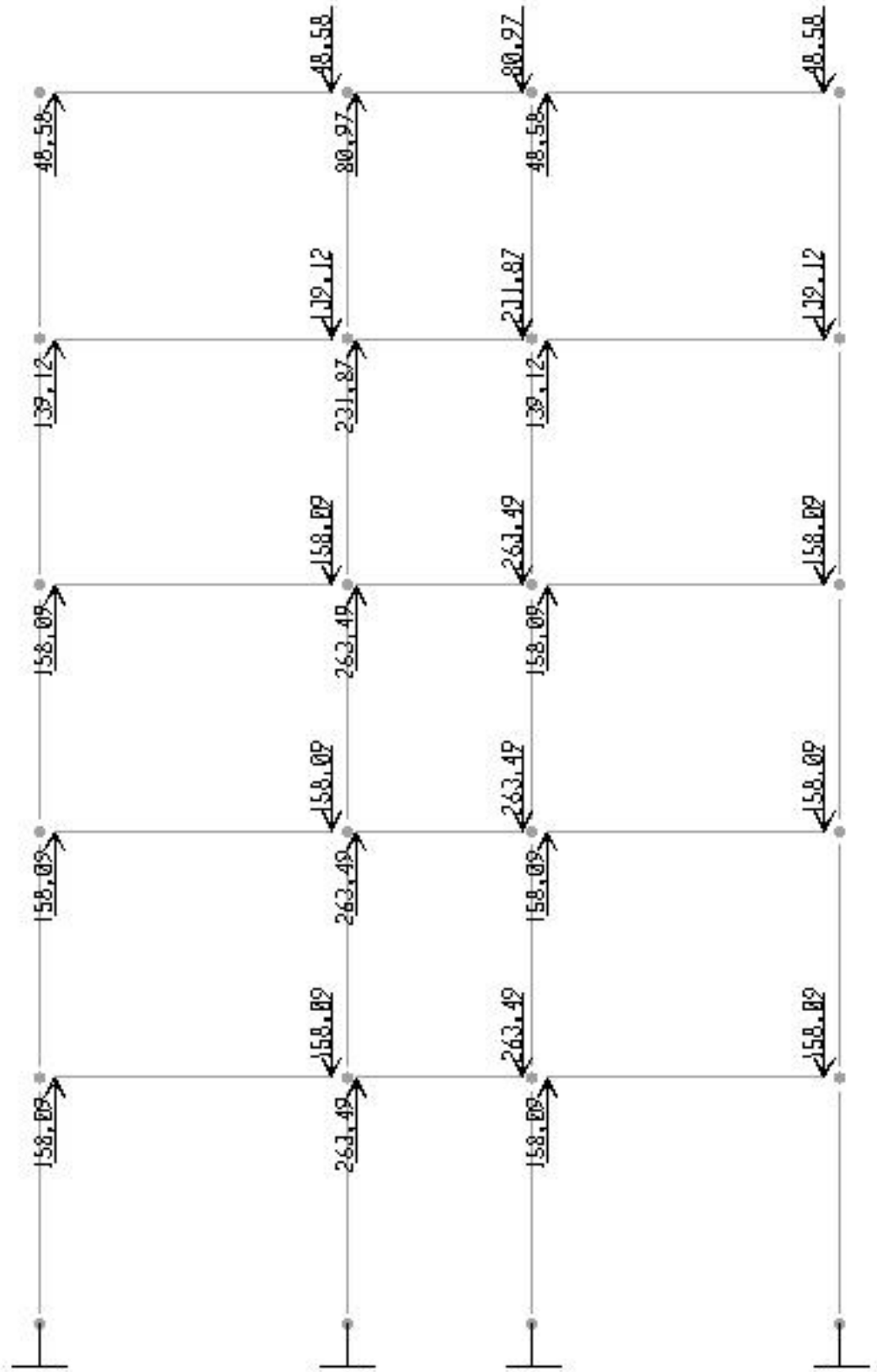
Şekil A.3: Uygulama Çerçevesine Etkiyen Sabit Yükler



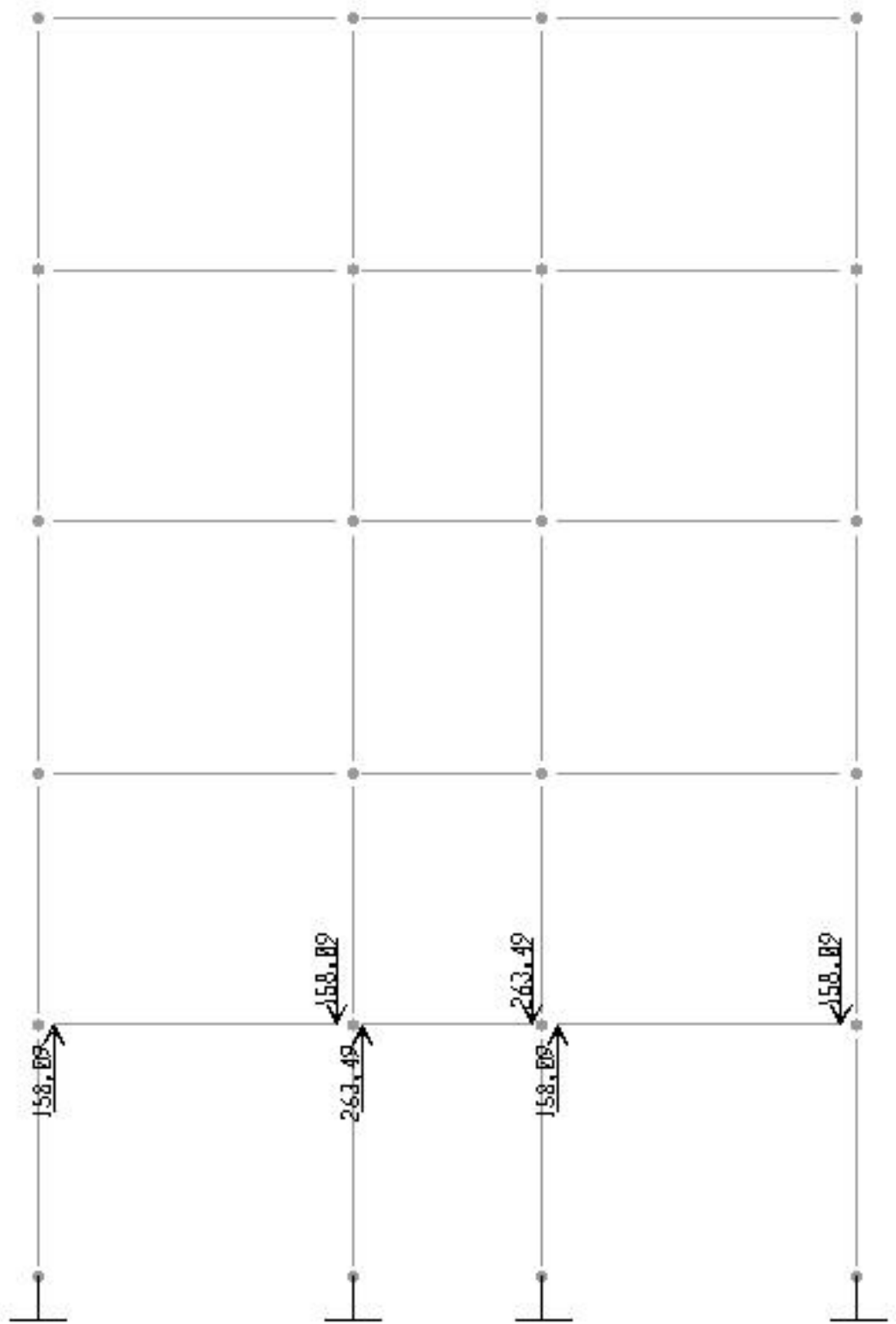
Şekil A.4: Uygulama Çerçevesine Etkiyen Hareketli Yükler



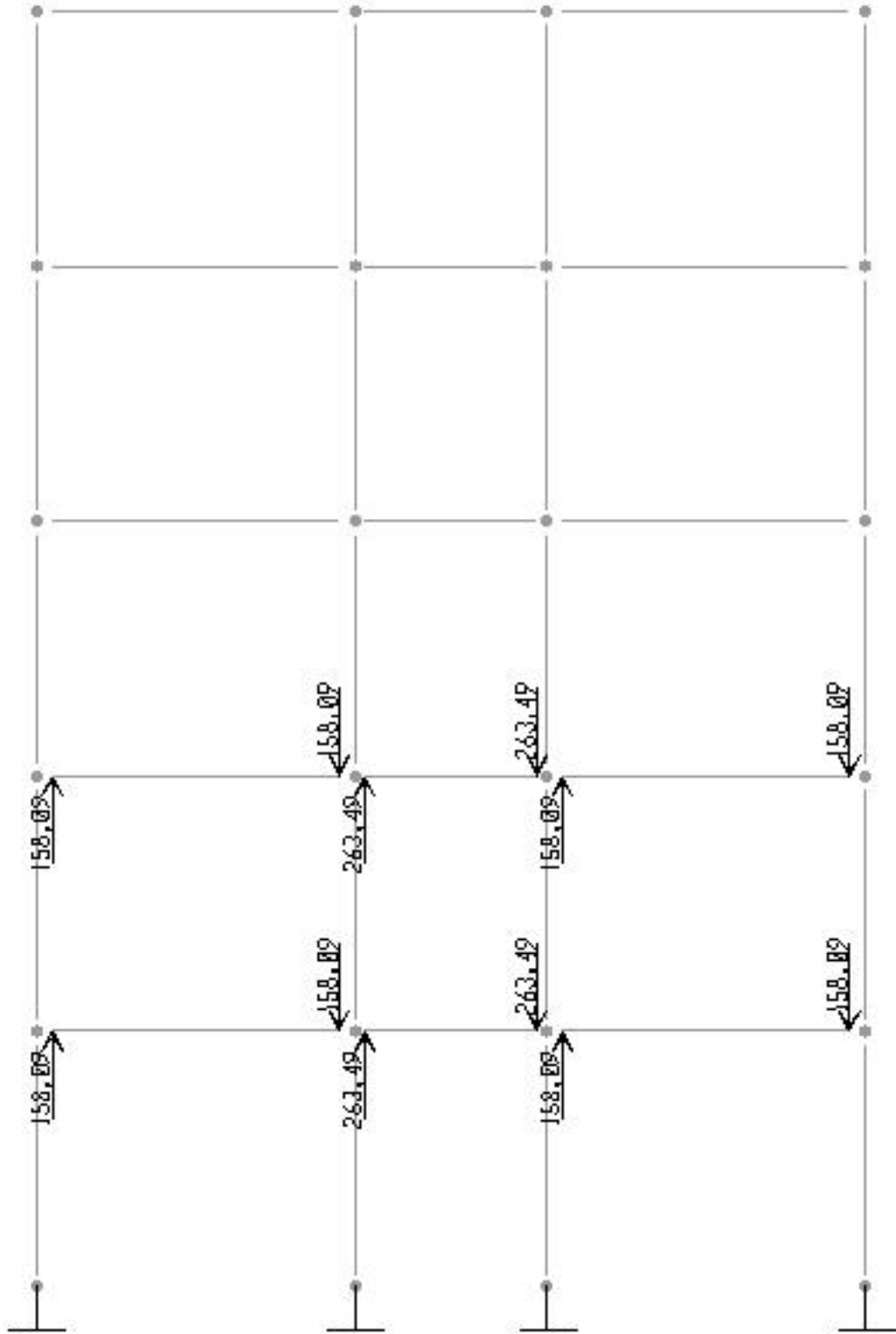
Şekil A.5: Uygulama Çerçevesine Etkiyen Deprem Yükleri



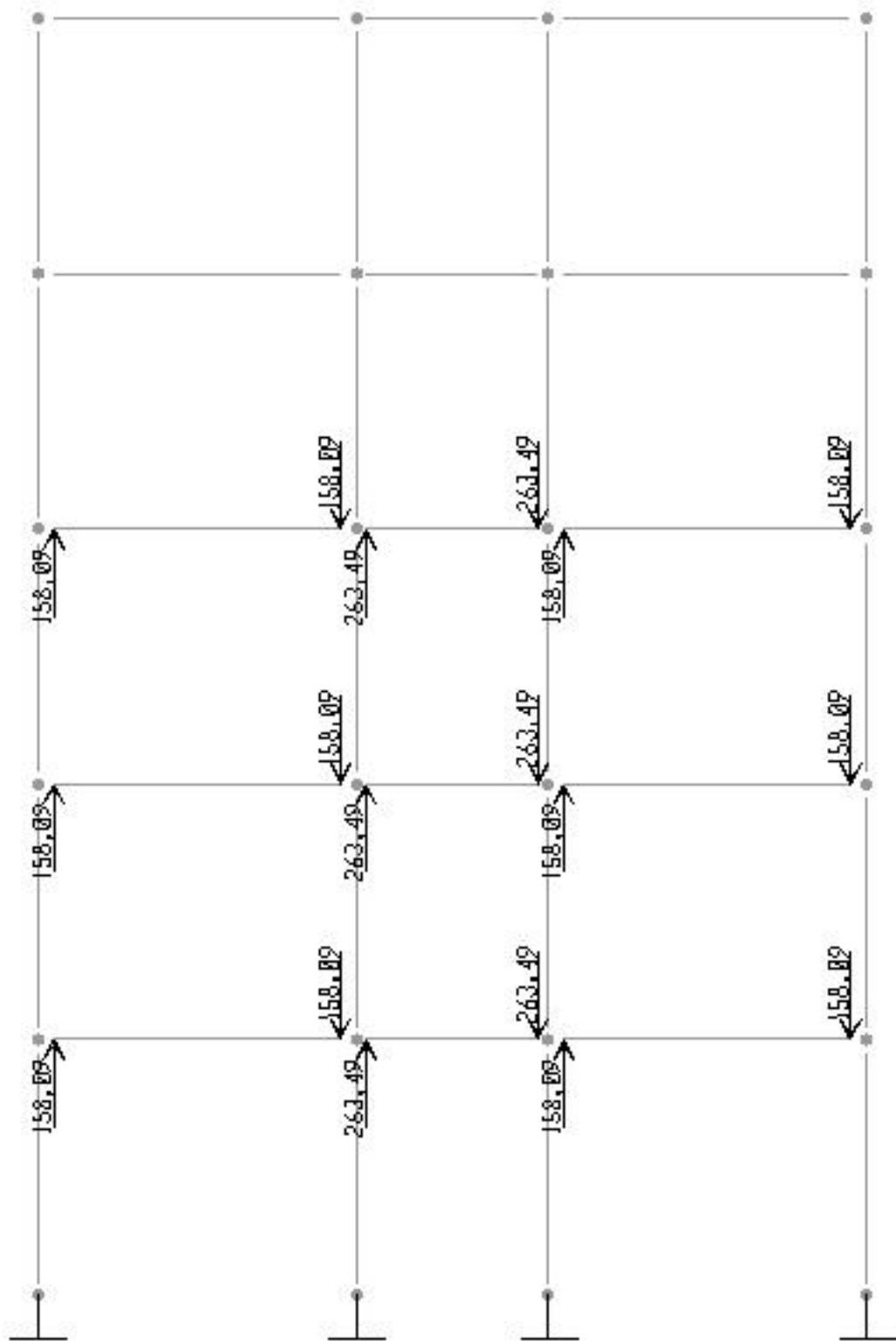
Şekil A.6: Global Mekanizma ile Göçme Halinde Kolonların İndirgenmiş Moment Dayanımlarının Hesaplanması İçin Hazırlanan “PLASTİK” Yükleme Durumu



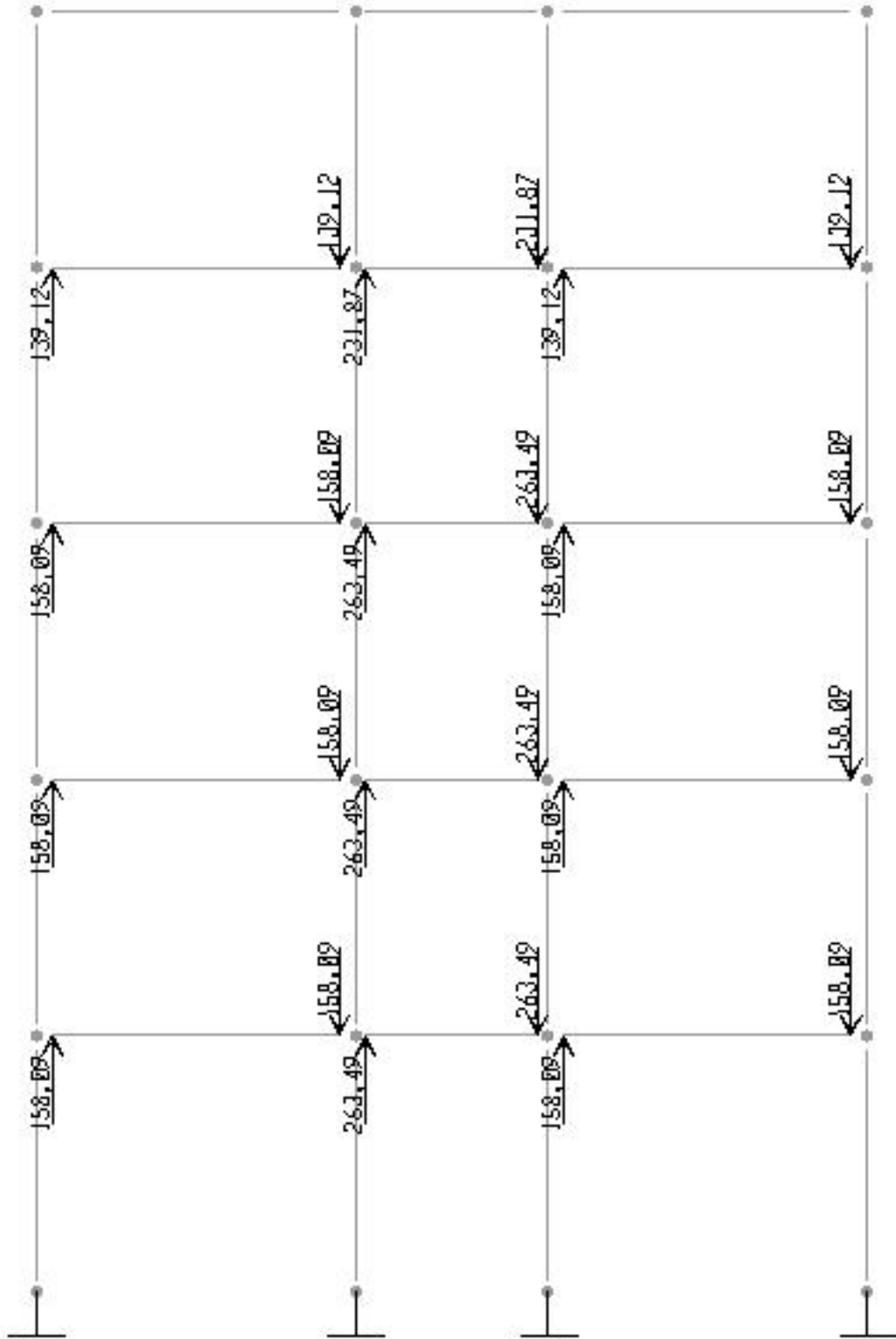
Şekil A.7: 1. Tip 2. Kat Mekanizması ile Göçme Halinde Kolonların İndirgenmiş Moment Dayanımlarının Hesaplanması İçin Hazırlanan “PLAST12” Yükleme Durumu



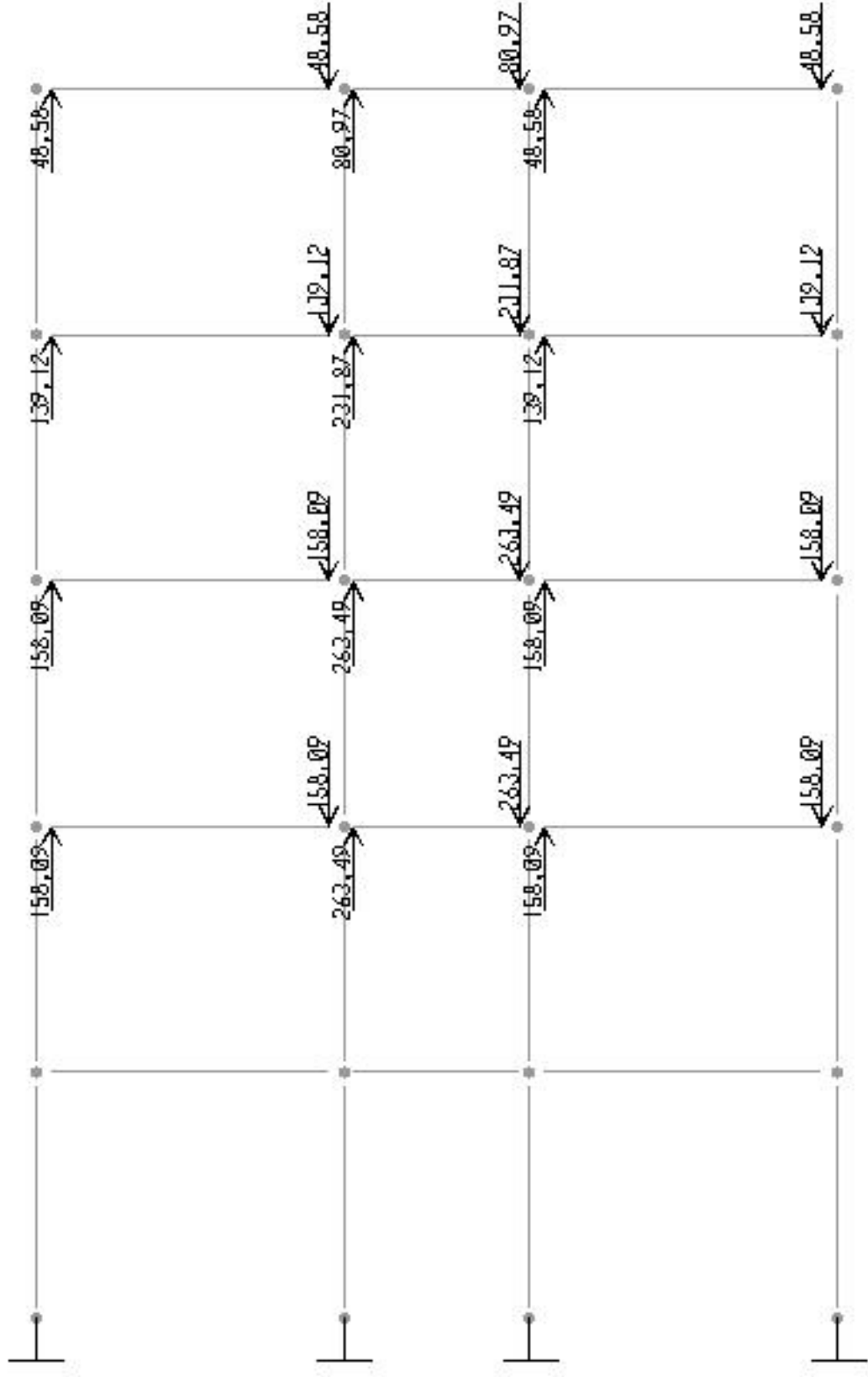
Şekil A.8: 1. Tip 3. Kat Mekanizması ile Göçme Halinde Kolonların İndirgenmiş Moment Dayanımlarının Hesaplanması İçin Hazırlanan “PLAST13” Yükleme Durumu



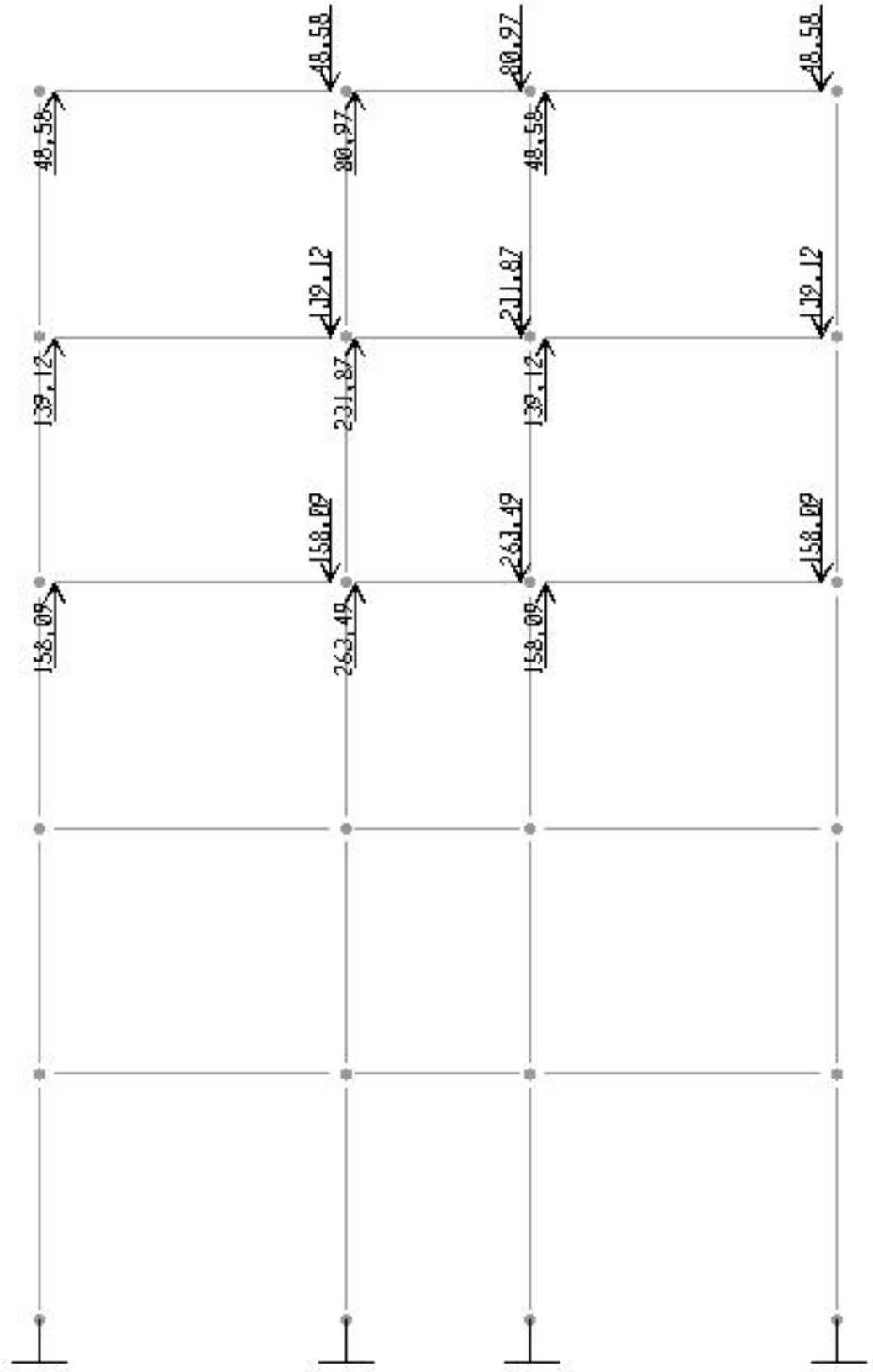
Şekil A.9: 1. Tip 4. Kat Mekanizması ile Göçme Halinde Kolonların İndirgenmiş Moment Dayanımlarının Hesaplanması İçin Hazırlanan “PLAST14” Yükleme Durumu



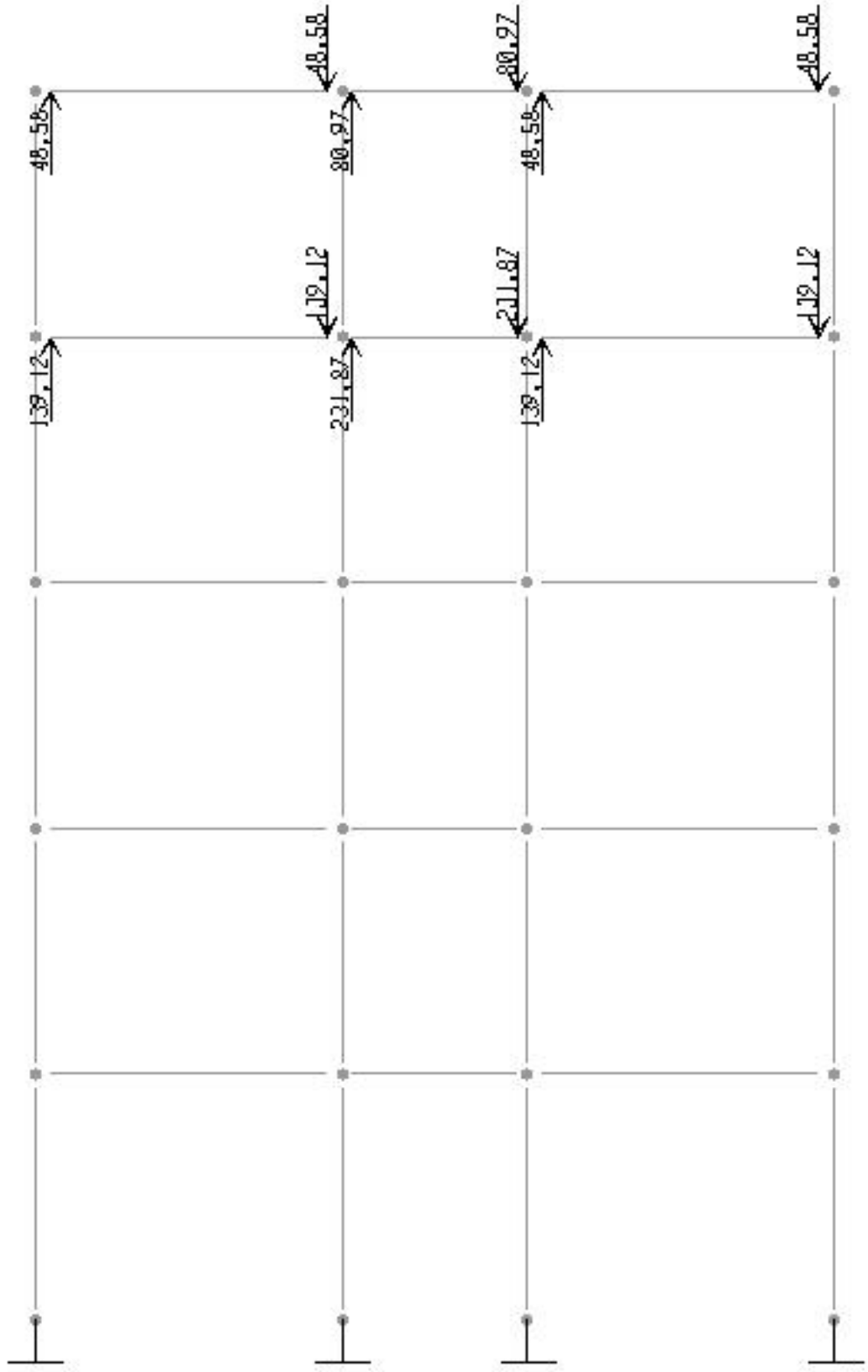
Şekil A.10: 1. Tip 5. Kat Mekanizması ile Göçme Halinde Kolonların İndirgenmiş Moment Dayanımlarının Hesaplanması İçin Hazırlanan “PLAST15” Yükleme Durumu



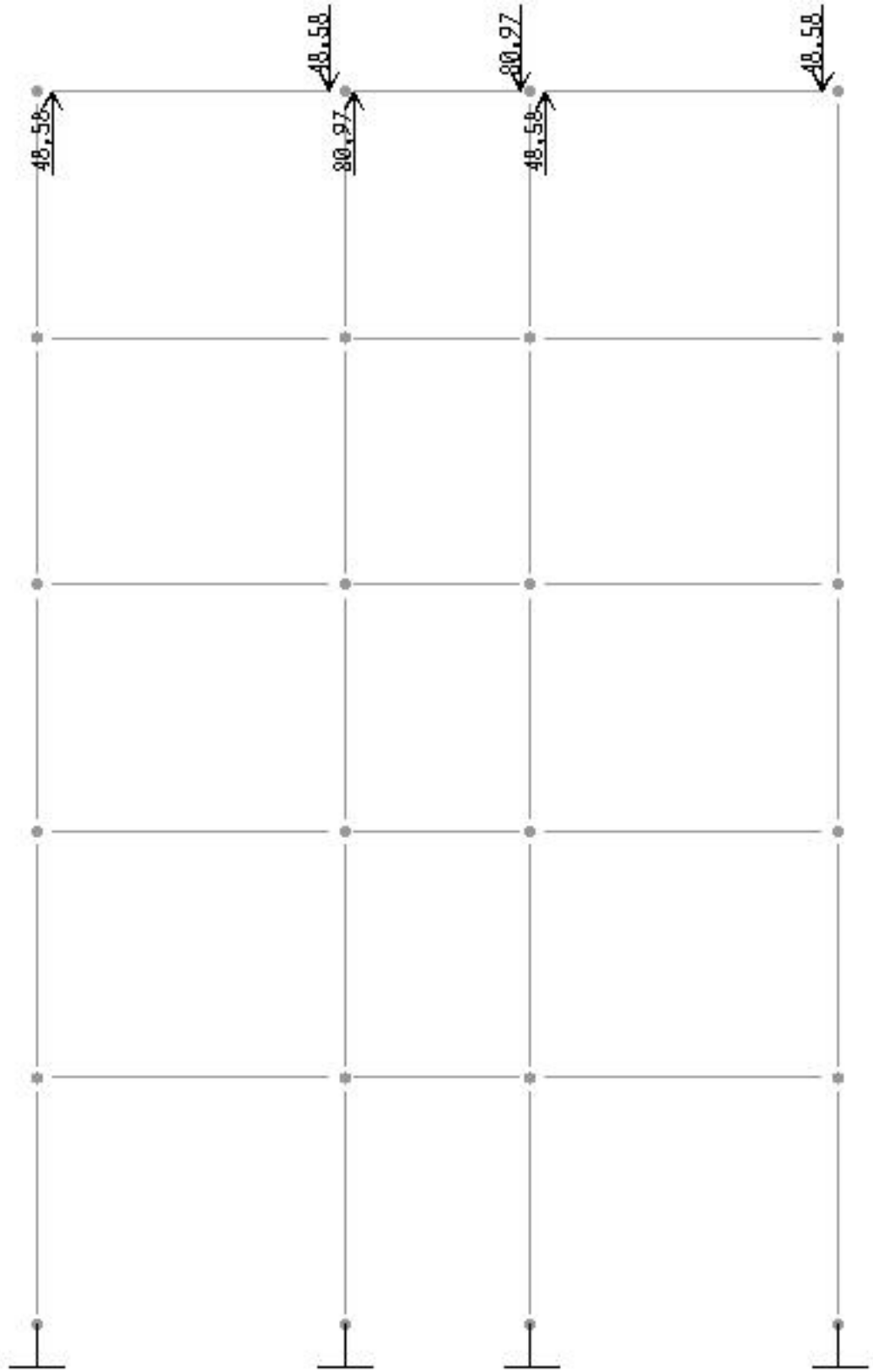
Şekil A.11: 2. Tip 2. Kat Mekanizması ile Göçme Halinde Kolonların İndirgenmiş Moment Dayanımlarının Hesaplanması İçin Hazırlanan “PLAST52” Yükleme Durumu



Şekil A.12: 2. Tip 3. Kat Mekanizması ile Göçme Halinde Kolonların İndirgenmiş Moment Dayanımlarının Hesaplanması İçin Hazırlanan “PLAST53” Yükleme Durumu



Şekil A.13: 2. Tip 4. Kat Mekanizması ile Göçme Halinde Kolonların İndirgenmiş Moment Dayanımlarının Hesaplanması İçin Hazırlanan “PLAST54” Yükleme Durumu



Şekil A.14: 2. Tip 5. Kat Mekanizması ile Göçme Halinde Kolonların İndirgenmiş Moment Dayanımlarının Hesaplanması İçin Hazırlanan “PLAST55” Yükleme Durumu



Şekil A.15: Pushover Analizi İçin Çerçeve Düğüm Noktalarına Etkitilen Kütleler
(Değerler kNs^2/m [ton] cinsindendir)

EK B

L O A D C O M B I N A T I O N M U L T I P L I E R S

COMBO	TYPE	CASE	FACTOR	TYPE	TITLE
DEPREM	ADD				depremli durum
		KENDI	1,0000	STATIC (DEAD)	
		SABIT	1,0000	STATIC (DEAD)	
		HAREKET	1,0000	STATIC (LIVE)	
		KAR	1,0000	STATIC (SNOW)	
		DEPREM	1,0000	STATIC (QUAKE)	
KAR	ADD				karlı durum
		KENDI	1,3500	STATIC (DEAD)	
		SABIT	1,3500	STATIC (DEAD)	
		HAREKET	1,5000	STATIC (LIVE)	
		KAR	1,5000	STATIC (SNOW)	
RUZGAR	ADD				rüzgarlı durum
		KENDI	1,3500	STATIC (DEAD)	
		SABIT	1,3500	STATIC (DEAD)	
		HAREKET	1,3500	STATIC (LIVE)	
		RUZGAR	1,3500	STATIC (WIND)	

J O I N T D I S P L A C E M E N T S

JOINT	LOAD	U1	U2	U3	R1	R2	R3
1	Minima	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
		RUZGAR	RUZGAR	RUZGAR	RUZGAR	RUZGAR	RUZGAR
1	Maxima	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
		RUZGAR	RUZGAR	RUZGAR	RUZGAR	RUZGAR	RUZGAR
2	Minima	2,262E-04	0,0000	-8,125E-04	0,0000	3,768E-04	0,0000
		KAR	RUZGAR	KAR	RUZGAR	KAR	RUZGAR
2	Maxima	6,029E-03	0,0000	-4,259E-04	0,0000	2,260E-03	0,0000
		DEPREM	RUZGAR	DEPREM	RUZGAR	DEPREM	RUZGAR

JOINT	LOAD	U1	U2	U3	R1	R2	R3
3	Minima	6,566E-04	0,0000	-1,447E-03	0,0000	3,613E-04	0,0000
		KAR	RUZGAR	KAR	RUZGAR	KAR	RUZGAR
3	Maxima	0,0163	0,0000	-7,624E-04	0,0000	2,518E-03	0,0000
		DEPREM	RUZGAR	DEPREM	RUZGAR	DEPREM	RUZGAR
4	Minima	9,874E-04	0,0000	-1,997E-03	0,0000	3,845E-04	0,0000
		KAR	RUZGAR	KAR	RUZGAR	KAR	RUZGAR
4	Maxima	0,0264	0,0000	-1,068E-03	0,0000	2,260E-03	0,0000
		DEPREM	RUZGAR	DEPREM	RUZGAR	DEPREM	RUZGAR
5	Minima	1,235E-03	0,0000	-2,332E-03	0,0000	3,488E-04	0,0000
		KAR	RUZGAR	KAR	RUZGAR	KAR	RUZGAR
5	Maxima	0,0348	0,0000	-1,266E-03	0,0000	1,913E-03	0,0000
		DEPREM	RUZGAR	DEPREM	RUZGAR	DEPREM	RUZGAR
6	Minima	1,614E-03	0,0000	-2,451E-03	0,0000	6,101E-04	0,0000
		KAR	RUZGAR	KAR	RUZGAR	KAR	RUZGAR
6	Maxima	0,0420	0,0000	-1,342E-03	0,0000	2,052E-03	0,0000
		DEPREM	RUZGAR	DEPREM	RUZGAR	DEPREM	RUZGAR
7	Minima	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
		RUZGAR	RUZGAR	RUZGAR	RUZGAR	RUZGAR	RUZGAR
7	Maxima	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
		RUZGAR	RUZGAR	RUZGAR	RUZGAR	RUZGAR	RUZGAR
8	Minima	2,514E-04	0,0000	-1,107E-03	0,0000	-1,102E-04	0,0000
		KAR	RUZGAR	KAR	RUZGAR	KAR	RUZGAR
8	Maxima	6,062E-03	0,0000	-6,307E-04	0,0000	1,619E-03	0,0000
		DEPREM	RUZGAR	DEPREM	RUZGAR	DEPREM	RUZGAR
9	Minima	6,455E-04	0,0000	-1,975E-03	0,0000	-6,572E-05	0,0000
		KAR	RUZGAR	KAR	RUZGAR	KAR	RUZGAR
9	Maxima	0,0163	0,0000	-1,132E-03	0,0000	1,944E-03	0,0000
		DEPREM	RUZGAR	DEPREM	RUZGAR	DEPREM	RUZGAR

JOINT	LOAD	U1	U2	U3	R1	R2	R3
10	Minima	9,851E-04	0,0000	-2,605E-03	0,0000	-1,072E-04	0,0000
		KAR	RUZGAR	KAR	RUZGAR	KAR	RUZGAR
10	Maxima	0,0264	0,0000	-1,511E-03	0,0000	1,683E-03	0,0000
		DEPREM	RUZGAR	DEPREM	RUZGAR	DEPREM	RUZGAR
11	Minima	1,246E-03	0,0000	-3,078E-03	0,0000	-1,111E-04	0,0000
		KAR	RUZGAR	KAR	RUZGAR	KAR	RUZGAR
11	Maxima	0,0349	0,0000	-1,809E-03	0,0000	1,371E-03	0,0000
		DEPREM	RUZGAR	DEPREM	RUZGAR	DEPREM	RUZGAR
12	Minima	1,456E-03	0,0000	-3,266E-03	0,0000	-2,780E-04	0,0000
		KAR	RUZGAR	KAR	RUZGAR	KAR	RUZGAR
12	Maxima	0,0419	0,0000	-1,933E-03	0,0000	1,335E-03	0,0000
		DEPREM	RUZGAR	DEPREM	RUZGAR	DEPREM	RUZGAR
13	Minima	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
		RUZGAR	RUZGAR	RUZGAR	RUZGAR	RUZGAR	RUZGAR
13	Maxima	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
		RUZGAR	RUZGAR	RUZGAR	RUZGAR	RUZGAR	RUZGAR
14	Minima	2,568E-04	0,0000	-1,117E-03	0,0000	2,509E-04	0,0000
		KAR	RUZGAR	KAR	RUZGAR	KAR	RUZGAR
14	Maxima	6,064E-03	0,0000	-9,323E-04	0,0000	1,873E-03	0,0000
		DEPREM	RUZGAR	DEPREM	RUZGAR	DEPREM	RUZGAR
15	Minima	6,411E-04	0,0000	-1,992E-03	0,0000	2,129E-04	0,0000
		KAR	RUZGAR	KAR	RUZGAR	KAR	RUZGAR
15	Maxima	0,0163	0,0000	-1,656E-03	0,0000	2,138E-03	0,0000
		DEPREM	RUZGAR	DEPREM	RUZGAR	DEPREM	RUZGAR
16	Minima	9,879E-04	0,0000	-2,626E-03	0,0000	2,242E-04	0,0000
		KAR	RUZGAR	KAR	RUZGAR	KAR	RUZGAR
16	Maxima	0,0264	0,0000	-2,167E-03	0,0000	1,913E-03	0,0000
		DEPREM	RUZGAR	DEPREM	RUZGAR	DEPREM	RUZGAR

JOINT	LOAD	U1	U2	U3	R1	R2	R3
17	Minima	1,244E-03	0,0000	-3,102E-03	0,0000	1,965E-04	0,0000
		KAR	RUZGAR	KAR	RUZGAR	KAR	RUZGAR
17	Maxima	0,0349	0,0000	-2,538E-03	0,0000	1,584E-03	0,0000
		DEPREM	RUZGAR	DEPREM	RUZGAR	DEPREM	RUZGAR
18	Minima	1,420E-03	0,0000	-3,291E-03	0,0000	3,628E-04	0,0000
		KAR	RUZGAR	KAR	RUZGAR	KAR	RUZGAR
18	Maxima	0,0419	0,0000	-2,680E-03	0,0000	1,791E-03	0,0000
		DEPREM	RUZGAR	DEPREM	RUZGAR	DEPREM	RUZGAR
19	Minima	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
		RUZGAR	RUZGAR	RUZGAR	RUZGAR	RUZGAR	RUZGAR
19	Maxima	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
		RUZGAR	RUZGAR	RUZGAR	RUZGAR	RUZGAR	RUZGAR
20	Minima	2,833E-04	0,0000	-8,231E-04	0,0000	-2,147E-04	0,0000
		KAR	RUZGAR	KAR	RUZGAR	KAR	RUZGAR
20	Maxima	6,062E-03	0,0000	-7,324E-04	0,0000	1,857E-03	0,0000
		DEPREM	RUZGAR	DEPREM	RUZGAR	DEPREM	RUZGAR
21	Minima	6,325E-04	0,0000	-1,465E-03	0,0000	-1,935E-04	0,0000
		KAR	RUZGAR	KAR	RUZGAR	KAR	RUZGAR
21	Maxima	0,0163	0,0000	-1,299E-03	0,0000	2,133E-03	0,0000
		DEPREM	RUZGAR	DEPREM	RUZGAR	DEPREM	RUZGAR
22	Minima	9,895E-04	0,0000	-2,020E-03	0,0000	-2,545E-04	0,0000
		KAR	RUZGAR	KAR	RUZGAR	KAR	RUZGAR
22	Maxima	0,0264	0,0000	-1,777E-03	0,0000	1,812E-03	0,0000
		DEPREM	RUZGAR	DEPREM	RUZGAR	DEPREM	RUZGAR
23	Minima	1,258E-03	0,0000	-2,357E-03	0,0000	-2,509E-04	0,0000
		KAR	RUZGAR	KAR	RUZGAR	KAR	RUZGAR
23	Maxima	0,0349	0,0000	-2,055E-03	0,0000	1,495E-03	0,0000
		DEPREM	RUZGAR	DEPREM	RUZGAR	DEPREM	RUZGAR
24	Minima	1,267E-03	0,0000	-2,477E-03	0,0000	-5,218E-04	0,0000
		KAR	RUZGAR	KAR	RUZGAR	KAR	RUZGAR
24	Maxima	0,0418	0,0000	-2,147E-03	0,0000	1,248E-03	0,0000
		DEPREM	RUZGAR	DEPREM	RUZGAR	DEPREM	RUZGAR

FRAME ELEMENT FORCES

FRAME	LOAD	LOC	P	V2	V3	T	M2	M3
1	DEPREM	0,00	-516,04	45,55	0,00	0,00	0,00	209,98
1	KAR	4,00	-965,61	-16,60	0,00	0,00	0,00	53,39
1	RUZGAR	0,00	-864,97	6,68	0,00	0,00	0,00	69,81
2	DEPREM	0,00	-408,30	21,19	0,00	0,00	0,00	55,62
2	KAR	0,00	-762,42	-32,74	0,00	0,00	0,00	-66,40
2	RUZGAR	0,00	-676,59	-15,54	0,00	0,00	0,00	-29,92
3	DEPREM	4,00	-300,45	11,77	0,00	0,00	0,00	-34,26
3	KAR	0,00	-548,53	-29,44	0,00	0,00	0,00	-57,86
3	RUZGAR	0,00	-488,59	-17,46	0,00	0,00	0,00	-40,61
4	DEPREM	4,00	-193,63	3,28	0,00	0,00	0,00	-21,13
4	KAR	0,00	-335,74	-30,87	0,00	0,00	0,00	-63,29
4	RUZGAR	0,00	-298,44	-22,74	0,00	0,00	0,00	-52,94
5	DEPREM	4,00	-72,91	-18,76	0,00	0,00	0,00	43,73
5	KAR	4,00	-113,97	-38,96	0,00	0,00	0,00	89,28
5	RUZGAR	4,00	-94,31	-32,72	0,00	0,00	0,00	70,73

FRAME	LOAD	LOC	P	V2	V3	T	M2	M3
6	DEPREM	0,00	-760,70	86,47	0,00	0,00	0,00	257,60
6	KAR	4,00	-1316,96	14,67	0,00	0,00	0,00	-35,33
6	RUZGAR	0,00	-1185,07	42,78	0,00	0,00	0,00	111,45
7	DEPREM	0,00	-605,56	95,37	0,00	0,00	0,00	207,74
7	KAR	0,00	-1041,75	23,24	0,00	0,00	0,00	48,87
7	RUZGAR	0,00	-930,93	49,63	0,00	0,00	0,00	104,38
8	DEPREM	4,00	-449,32	85,41	0,00	0,00	0,00	-184,28
8	KAR	0,00	-757,48	21,32	0,00	0,00	0,00	40,43
8	RUZGAR	4,00	-668,42	42,35	0,00	0,00	0,00	-93,36
9	DEPREM	4,00	-292,38	59,95	0,00	0,00	0,00	-132,93
9	KAR	0,00	-472,89	17,63	0,00	0,00	0,00	35,12
9	RUZGAR	4,00	-412,84	29,86	0,00	0,00	0,00	-66,37
10	DEPREM	0,00	-126,21	41,20	0,00	0,00	0,00	80,89
10	KAR	4,00	-181,96	25,00	0,00	0,00	0,00	-57,25
10	RUZGAR	4,00	-151,47	26,95	0,00	0,00	0,00	-58,85

FRAME	LOAD	LOC	P	V2	V3	T	M2	M3
11	DEPREM							
		0,00	-1113,50	70,89	0,00	0,00	0,00	239,93
11	KAR							
		4,00	-1329,20	-7,64	0,00	0,00	0,00	28,61
11	RUZGAR							
		0,00	-1305,07	21,67	0,00	0,00	0,00	87,42
12	DEPREM							
		0,00	-865,64	67,31	0,00	0,00	0,00	148,57
12	KAR							
		0,00	-1050,22	-16,94	0,00	0,00	0,00	-35,88
12	RUZGAR							
		0,00	-1015,07	11,68	0,00	0,00	0,00	24,43
13	DEPREM							
		4,00	-605,34	58,98	0,00	0,00	0,00	-129,44
13	KAR							
		0,00	-762,15	-16,49	0,00	0,00	0,00	-32,37
13	RUZGAR							
		0,00	-725,06	6,73	0,00	0,00	0,00	7,31
14	DEPREM							
		4,00	-363,21	37,33	0,00	0,00	0,00	-88,48
14	KAR							
		0,00	-474,80	-14,82	0,00	0,00	0,00	-30,81
14	RUZGAR							
		0,00	-440,05	-1,51	0,00	0,00	0,00	-9,84
15	DEPREM							
		0,00	-143,68	6,77	0,00	0,00	0,00	22,52
15	KAR							
		4,00	-182,41	-23,83	0,00	0,00	0,00	54,89
15	RUZGAR							
		4,00	-155,83	-15,68	0,00	0,00	0,00	35,74

FRAME	LOAD	LOC	P	V2	V3	T	M2	M3
16	DEPREM							
		0,00	-874,67	72,52	0,00	0,00	0,00	241,82
16	KAR							
		4,00	-978,02	22,07	0,00	0,00	0,00	-55,61
16	RUZGAR							
		0,00	-986,66	42,84	0,00	0,00	0,00	112,18
17	DEPREM							
		0,00	-677,95	69,27	0,00	0,00	0,00	153,15
17	KAR							
		0,00	-771,24	36,19	0,00	0,00	0,00	73,42
17	RUZGAR							
		0,00	-764,13	49,38	0,00	0,00	0,00	101,89
18	DEPREM							
		4,00	-468,03	54,35	0,00	0,00	0,00	-121,96
18	KAR							
		4,00	-545,43	31,60	0,00	0,00	0,00	-65,83
18	RUZGAR							
		4,00	-531,44	39,85	0,00	0,00	0,00	-88,70
19	DEPREM							
		4,00	-271,50	47,27	0,00	0,00	0,00	-107,82
19	KAR							
		0,00	-337,96	32,31	0,00	0,00	0,00	64,78
19	RUZGAR							
		4,00	-312,22	37,33	0,00	0,00	0,00	-81,58
20	DEPREM							
		4,00	-88,57	36,31	0,00	0,00	0,00	-83,23
20	KAR							
		4,00	-114,40	39,31	0,00	0,00	0,00	-90,36
20	RUZGAR							
		4,00	-98,47	35,88	0,00	0,00	0,00	-81,22

FRAME	LOAD	LOC	P	V2	V3	T	M2	M3
21	DEPREM							
		5,00	18,51	164,16	0,00	0,00	0,00	-194,59
21	KAR							
		0,00	13,39	-203,19	0,00	0,00	0,00	-119,78
21	RUZGAR							
		5,00	8,80	178,67	0,00	0,00	0,00	-158,57
22	DEPREM							
		3,00	3,35	165,34	0,00	0,00	0,00	-171,12
22	KAR							
		3,00	4,82	109,87	0,00	0,00	0,00	-55,44
22	RUZGAR							
		3,00	1,95	135,57	0,00	0,00	0,00	-99,56
23	DEPREM							
		5,00	6,642E-01	189,37	0,00	0,00	0,00	-201,41
23	KAR							
		5,00	14,12	206,77	0,00	0,00	0,00	-129,03
23	RUZGAR							
		5,00	11,94	212,62	0,00	0,00	0,00	-161,07
24	DEPREM							
		5,00	-3,460E-01	170,12	0,00	0,00	0,00	-210,27
24	KAR							
		0,00	-6,05	-203,98	0,00	0,00	0,00	-122,44
24	RUZGAR							
		5,00	-14,74	179,06	0,00	0,00	0,00	-160,36
25	DEPREM							
		3,00	-2,91	177,56	0,00	0,00	0,00	-188,39
25	KAR							
		3,00	-4,13	109,94	0,00	0,00	0,00	-54,04
25	RUZGAR							
		3,00	-7,46	137,51	0,00	0,00	0,00	-101,06

FRAME	LOAD	LOC	P	V2	V3	T	M2	M3
26	DEPREM							
		5,00	-7,10	196,50	0,00	0,00	0,00	-219,36
26	KAR							
		5,00	-4,58	207,68	0,00	0,00	0,00	-131,92
26	RUZGAR							
		5,00	-2,51	214,56	0,00	0,00	0,00	-166,35
27	DEPREM							
		5,00	-5,12	163,81	0,00	0,00	0,00	-194,45
27	KAR							
		0,00	-1,31	-204,57	0,00	0,00	0,00	-123,20
27	RUZGAR							
		5,00	-14,61	175,20	0,00	0,00	0,00	-150,37
28	DEPREM							
		3,00	1,65	161,94	0,00	0,00	0,00	-165,66
28	KAR							
		3,00	2,38	109,02	0,00	0,00	0,00	-53,63
28	RUZGAR							
		3,00	-2,13	128,96	0,00	0,00	0,00	-89,10
29	DEPREM							
		5,00	4,60	190,44	0,00	0,00	0,00	-203,22
29	KAR							
		5,00	7,089E-01	207,47	0,00	0,00	0,00	-130,60
29	RUZGAR							
		5,00	6,12	211,00	0,00	0,00	0,00	-156,44
30	DEPREM							
		5,00	4,66	149,57	0,00	0,00	0,00	-160,55
30	KAR							
		0,00	5,36	-205,34	0,00	0,00	0,00	-126,75
30	RUZGAR							
		5,00	-9,89	168,97	0,00	0,00	0,00	-136,35

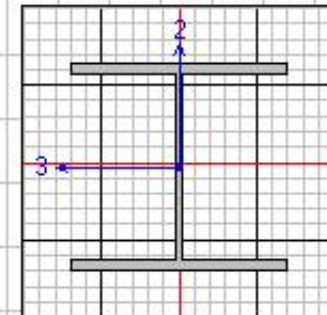
FRAME	LOAD	LOC	P	V2	V3	T	M2	M3
31	DEPREM							
		3,00	-1,33	132,18	0,00	0,00	0,00	-120,10
31	KAR							
		3,00	-2,01	107,68	0,00	0,00	0,00	-50,36
31	RUZGAR							
		3,00	-6,98	116,66	0,00	0,00	0,00	-69,74
32	DEPREM							
		5,00	4,50	176,85	0,00	0,00	0,00	-169,83
32	KAR							
		5,00	6,99	207,14	0,00	0,00	0,00	-131,35
32	RUZGAR							
		5,00	7,19	205,54	0,00	0,00	0,00	-143,86
33	DEPREM							
		5,00	-32,24	88,31	0,00	0,00	0,00	-82,23
33	KAR							
		5,00	-40,48	114,00	0,00	0,00	0,00	-89,35
33	RUZGAR							
		5,00	-42,83	98,03	0,00	0,00	0,00	-80,03
34	DEPREM							
		3,00	-10,87	64,93	0,00	0,00	0,00	-48,02
34	KAR							
		3,00	-15,48	68,83	0,00	0,00	0,00	-33,41
34	RUZGAR							
		3,00	-15,88	61,96	0,00	0,00	0,00	-33,97
35	DEPREM							
		5,00	-23,92	88,57	0,00	0,00	0,00	-83,23
35	KAR							
		5,00	-39,31	114,40	0,00	0,00	0,00	-90,36
35	RUZGAR							
		5,00	-31,56	98,47	0,00	0,00	0,00	-81,22

EUROCODE 3-1993 STEEL SECTION CHECK Units: KN-m

Frame ID: 35 Station Loc: 5,000 Section ID: HE220-A
 Element Type: Moment Resisting Classification: Class 1

L=5,000
 A=0,006 I22=1,955E-05 I33=5,410E-05 Wp122=2,710E-04 Wp133=5,680E-04
 We122=1,777E-04 We133=5,152E-04 i22=0,055 i33=0,092
 E=199900000,0 fy=235000,000

P-M33-M22 Demand/Capacity Ratio is 0,951 = 0,052 + 0,899 + 0,000



STRESS CHECK FORCES & MOMENTS

Combo	KAR	P	M33	M22	U2	U3
		-39,312	-90,367	0,000	114,395	0,000

AXIAL FORCE & BIAXIAL MOMENT DESIGN (5.5.4)

	Nc.Sd or Nt.Sd	Nc.Rd	Nt.Rd	Nb33.Rd	Nb22.Rd
Axial	39,312	749,989	1373,682	1153,347	749,989

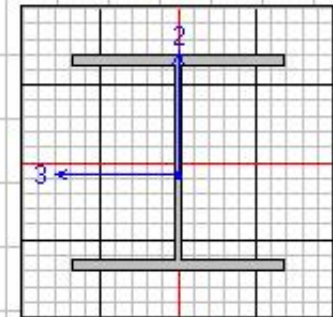
	M.Sd	Mc.Rd	Mu.Rd	Mb.Rd
Major Bending	90,367	121,345	120,215	100,308
Minor Bending	0,000	57,895	63,685	

	K	L	k	klt	C1
Major Bending	1,000	1,000	1,023	0,998	1,008
Minor Bending	1,000	1,000	1,060		

SHEAR DESIGN

	U.Sd	U.Rd	Ratio
Major Shear	114,395	181,314	0,631
Minor Shear	0,000	497,442	0,000

EUROCODE 3-1993 STEEL SECTION CHECK		Units: KN-m				
Frame ID: 32 Station Loc: 5,000 Section ID: HE320-A						
Element Type: Moment Resisting Classification: Class 1						
L=5,000						
A=0,012 I22=6,985E-05 I33=2,293E-04 Wp122=7,100E-04 Wp133=0,002						
We122=4,657E-04 We133=0,001 i22=0,075 i33=0,136						
E=199900000,0 fy=235000,000						
P-M33-M22 Demand/Capacity Ratio is 0,524 = 0,002 + 0,521 + 0,000						
STRESS CHECK FORCES & MOMENTS						
Combo	DEPREM	P	M33	M22	U2	U3
		6,216	-171,107	0,000	177,349	0,000
AXIAL FORCE & BIAxIAL MOMENT DESIGN (5.5.4)						
Axial	Nc.Sd or	Nt.Sd	Nc.Rd	Nt.Rd	Nb33.Rd	Nb22.Rd
		6,216	1875,207	2649,091	2451,897	1875,207
Major Bending	M.Sd	Mc.Rd	Mv.Rd	Mb.Rd		
Minor Bending						
		171,107	347,800	347,756	327,143	
		0,000	151,682	166,850		
Major Bending	K	L	k	k1t	C1	
Minor Bending						
		1,000	1,000	0,999	1,000	1,817
		1,000	1,000	0,998		
SHEAR DESIGN						
Major Shear	U.Sd	U.Rd	Ratio			
Minor Shear						
		177,349	344,127	0,515		
		0,000	955,908	0,000		

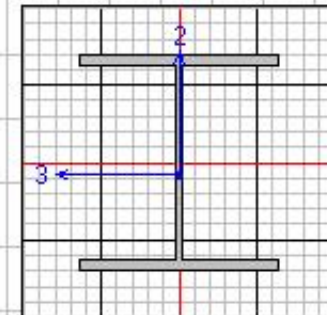


EUROCODE 3-1993 STEEL SECTION CHECK Units: KN-m

Frame ID: 26 Station Loc: 5,000 Section ID: HE340-A
 Element Type: Moment Resisting Classification: Class 1

L=5,000
 A=0,013 I22=7,436E-05 I33=2,769E-04 Wp122=7,560E-04 Wp133=0,002
 We122=4,957E-04 We133=0,002 i22=0,075 i33=0,144
 E=199900000,0 fy=235000,000

P-M33-M22 Demand/Capacity Ratio is 0,595 = 0,002 + 0,592 + 0,000



STRESS CHECK FORCES & MOMENTS

Combo	DEPREM	P	M33	M22	U2	U3
		-4,768	-222,430	0,000	197,691	0,000

AXIAL FORCE & BIAXIAL MOMENT DESIGN (5.5.4)

	Nc.Sd or	Nt.Sd	Nc.Rd	Nt.Rd	Nb33.Rd	Nb22.Rd
Axial		4,768	2006,469	2841,363	2655,644	2006,469

	M.Sd	Mc.Rd	Mu.Rd	Mb.Rd
Major Bending	222,430	395,227	395,199	375,550
Minor Bending	0,000	161,509	177,660	

	K	L	k	klt	C1
Major Bending	1,000	1,000	1,000	1,000	2,160
Minor Bending	1,000	1,000	1,002		

SHEAR DESIGN

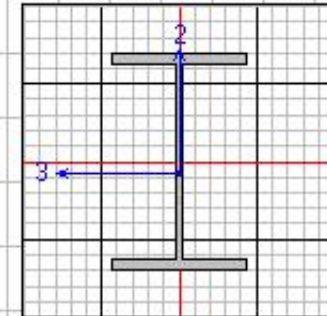
	U.Sd	U.Rd	Ratio
Major Shear	197,691	386,680	0,511
Minor Shear	0,000	1017,580	0,000

EUROCODE 3-1993 STEEL SECTION CHECK Units: KN-m

Frame ID: 18 Station Loc: 4,000 Section ID: HE500-A
 Element Type: Moment Resisting Classification: Class 1

L=4,000
 A=0,020 I22=1,037E-04 I33=8,697E-04 Wp122=0,001 Wp133=0,004
 We122=6,913E-04 We133=0,004 i22=0,072 i33=0,210
 E=199900000,0 fy=235000,000

P-M33-M22 Demand/Capacity Ratio is 0,282 = 0,133 + 0,149 + 0,000



STRESS CHECK FORCES & MOMENTS

		P	M33	M22	U2	U3
Combo	DEPREM	-469,511	-123,722	0,000	49,332	0,000

AXIAL FORCE & BIAxIAL MOMENT DESIGN (5.5.4)

	Nc.Sd or Nt.Sd	Nc.Rd	Nt.Rd	Nb33.Rd	Nb22.Rd
Axial	469,511	3533,896	4230,000	4222,309	3533,896

	M.Sd	Mc.Rd	Mv.Rd	Mb.Rd
Major Bending	123,722	843,650	843,650	821,739
Minor Bending	0,000	226,241	226,241	

	K	L	k	kl1	C1
Major Bending	1,000	1,000	0,974	0,993	2,700
Minor Bending	1,000	1,000	1,067		

SHEAR DESIGN

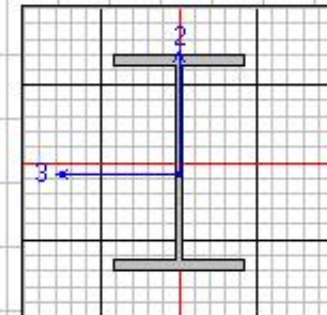
	U.Sd	U.Rd	Ratio
Major Shear	49,332	725,257	0,068
Minor Shear	0,000	1418,445	0,000

EUROCODE 3-1993 STEEL SECTION CHECK Units: KN-m

Frame ID: 11 Station Loc: 0,000 Section ID: HE500-B
 Element Type: Moment Resisting Classification: Class 1

L=4,000
 A=0,024 I22=1,262E-04 I33=0,001 Wp122=0,001 Wp133=0,005
 We122=8,413E-04 We133=0,004 i22=0,073 i33=0,212
 E=199900000,0 fy=235000,000

P-M33-M22 Demand/Capacity Ratio is 0,504 = 0,262 + 0,242 + 0,000



STRESS CHECK FORCES & MOMENTS

Combo	DEPREM	P	M33	M22	U2	U3
		-1117,182	242,507	0,000	67,344	0,000

AXIAL FORCE & BIAXIAL MOMENT DESIGN (5.5.4)

	Nc.Sd or Nt.Sd	Nc.Rd	Nt.Rd	Nb33.Rd	Nb22.Rd
Axial	1117,182	4271,978	5105,909	5099,055	4271,978

	M.Sd	Mc.Rd	Mu.Rd	Mb.Rd
Major Bending	242,507	1028,659	1028,659	995,216
Minor Bending	0,000	276,018	276,018	

	K	L	k	k1t	C1
Major Bending	1,000	1,000	0,982	0,994	2,162
Minor Bending	1,000	1,000	1,130		

SHEAR DESIGN

	U.Sd	U.Rd	Ratio
Major Shear	67,344	894,237	0,075
Minor Shear	0,000	1726,802	0,000

EK C

L O A D C O M B I N A T I O N M U L T I P L I E R S

COMBO	TYPE	CASE	FACTOR	TYPE
DEPREM	ADD	KENDI	1,0000	STATIC (DEAD)
		SABIT	1,0000	STATIC (DEAD)
		HAREKET	1,0000	STATIC (LIVE)
		KAR	1,0000	STATIC (SNOW)
		DEPREM	1,0000	STATIC (QUAKE)
GOCME	ADD	KENDI	1,0000	STATIC (DEAD)
		SABIT	1,0000	STATIC (DEAD)
		HAREKET	1,0000	STATIC (LIVE)
		KAR	1,0000	STATIC (SNOW)
		PLASTIK	1,0000	STATIC (OTHER)
GOCME12	ADD	KENDI	1,0000	STATIC (DEAD)
		SABIT	1,0000	STATIC (DEAD)
		HAREKET	1,0000	STATIC (LIVE)
		KAR	1,0000	STATIC (SNOW)
		PLAST12	1,0000	STATIC (OTHER)
GOCME13	ADD	KENDI	1,0000	STATIC (DEAD)
		SABIT	1,0000	STATIC (DEAD)
		HAREKET	1,0000	STATIC (LIVE)
		KAR	1,0000	STATIC (SNOW)
		PLAST13	1,0000	STATIC (OTHER)
GOCME14	ADD	KENDI	1,0000	STATIC (DEAD)
		SABIT	1,0000	STATIC (DEAD)
		HAREKET	1,0000	STATIC (LIVE)
		KAR	1,0000	STATIC (SNOW)
		PLAST14	1,0000	STATIC (OTHER)

COMBO	TYPE	CASE	FACTOR	TYPE
GOCME15	ADD	KENDI	1,0000	STATIC (DEAD)
		SABIT	1,0000	STATIC (DEAD)
		HAREKET	1,0000	STATIC (LIVE)
		KAR	1,0000	STATIC (SNOW)
		PLAST15	1,0000	STATIC (OTHER)
GOCME55	ADD	KENDI	1,0000	STATIC (DEAD)
		SABIT	1,0000	STATIC (DEAD)
		HAREKET	1,0000	STATIC (LIVE)
		KAR	1,0000	STATIC (SNOW)
		PLAST55	1,0000	STATIC (OTHER)
GOCME54	ADD	KENDI	1,0000	STATIC (DEAD)
		SABIT	1,0000	STATIC (DEAD)
		HAREKET	1,0000	STATIC (LIVE)
		KAR	1,0000	STATIC (SNOW)
		PLAST54	1,0000	STATIC (OTHER)
GOCME53	ADD	KENDI	1,0000	STATIC (DEAD)
		SABIT	1,0000	STATIC (DEAD)
		HAREKET	1,0000	STATIC (LIVE)
		KAR	1,0000	STATIC (SNOW)
		PLAST53	1,0000	STATIC (OTHER)
GOCME52	ADD	KENDI	1,0000	STATIC (DEAD)
		SABIT	1,0000	STATIC (DEAD)
		HAREKET	1,0000	STATIC (LIVE)
		KAR	1,0000	STATIC (SNOW)
		PLAST52	1,0000	STATIC (OTHER)

FRAME	LOAD	LOC	P	V2	V3	T	M2	M3
1	DEPREM	0,00	-512,56	51,48	0,00	0,00	0,00	217,37
		2,00	-508,89	51,48	0,00	0,00	0,00	119,86
		4,00	-505,22	51,48	0,00	0,00	0,00	28,88
1	GOCME	0,00	-17,99	-10,60	0,00	0,00	0,00	-2,06
		2,00	-14,32	-10,60	0,00	0,00	0,00	19,16
		4,00	-10,64	-10,60	0,00	0,00	0,00	41,43
1	GOCME12	0,00	-531,50	-11,13	0,00	0,00	0,00	-7,24
		2,00	-527,83	-11,13	0,00	0,00	0,00	14,89
		4,00	-524,16	-11,13	0,00	0,00	0,00	37,84
1	GOCME13	0,00	-371,01	-10,95	0,00	0,00	0,00	-5,67
		2,00	-367,34	-10,95	0,00	0,00	0,00	16,17
		4,00	-363,67	-10,95	0,00	0,00	0,00	38,88
1	GOCME14	0,00	-209,88	-10,79	0,00	0,00	0,00	-4,02
		2,00	-206,20	-10,79	0,00	0,00	0,00	17,53
		4,00	-202,53	-10,79	0,00	0,00	0,00	40,03
1	GOCME15	0,00	-67,67	-10,65	0,00	0,00	0,00	-2,57
		2,00	-64,00	-10,65	0,00	0,00	0,00	18,74
		4,00	-60,33	-10,65	0,00	0,00	0,00	41,07
1	GOCME55	0,00	-641,22	-11,32	0,00	0,00	0,00	-8,09
		2,00	-637,55	-11,32	0,00	0,00	0,00	14,42
		4,00	-633,88	-11,32	0,00	0,00	0,00	37,71
1	GOCME54	0,00	-499,02	-11,18	0,00	0,00	0,00	-6,64
		2,00	-495,35	-11,18	0,00	0,00	0,00	15,63
		4,00	-491,67	-11,18	0,00	0,00	0,00	38,75
1	GOCME53	0,00	-337,88	-11,02	0,00	0,00	0,00	-4,99
		2,00	-334,21	-11,02	0,00	0,00	0,00	16,99
		4,00	-330,54	-11,02	0,00	0,00	0,00	39,90
1	GOCME52	0,00	-177,39	-10,85	0,00	0,00	0,00	-3,42
		2,00	-173,72	-10,85	0,00	0,00	0,00	18,26
		4,00	-170,05	-10,85	0,00	0,00	0,00	40,94

FRAME	LOAD	LOC	P	V2	V3	T	M2	M3
2	DEPREM							
		0,00	-405,72	28,14	0,00	0,00	0,00	58,98
		2,00	-402,05	28,14	0,00	0,00	0,00	13,69
		4,00	-398,38	28,14	0,00	0,00	0,00	-31,04
2	GOCME							
		0,00	-26,52	-20,69	0,00	0,00	0,00	-38,78
		2,00	-22,85	-20,69	0,00	0,00	0,00	3,50
		4,00	-19,17	-20,69	0,00	0,00	0,00	45,94
2	GOCME12							
		0,00	-538,88	-22,24	0,00	0,00	0,00	-45,14
		2,00	-535,21	-22,24	0,00	0,00	0,00	-2,208E-01
		4,00	-531,54	-22,24	0,00	0,00	0,00	44,69
2	GOCME13							
		0,00	-378,74	-21,70	0,00	0,00	0,00	-43,27
		2,00	-375,07	-21,70	0,00	0,00	0,00	7,128E-01
		4,00	-371,40	-21,70	0,00	0,00	0,00	44,73
2	GOCME14							
		0,00	-217,97	-21,23	0,00	0,00	0,00	-41,24
		2,00	-214,30	-21,23	0,00	0,00	0,00	1,96
		4,00	-210,63	-21,23	0,00	0,00	0,00	45,24
2	GOCME15							
		0,00	-76,09	-20,83	0,00	0,00	0,00	-39,42
		2,00	-72,42	-20,83	0,00	0,00	0,00	3,10
		4,00	-68,75	-20,83	0,00	0,00	0,00	45,75
2	GOCME55							
		0,00	-490,38	-22,48	0,00	0,00	0,00	-45,53
		2,00	-486,71	-22,48	0,00	0,00	0,00	-1,760E-01
		4,00	-483,04	-22,48	0,00	0,00	0,00	45,17
2	GOCME54							
		0,00	-348,50	-22,08	0,00	0,00	0,00	-43,71
		2,00	-344,83	-22,08	0,00	0,00	0,00	9,654E-01
		4,00	-341,16	-22,08	0,00	0,00	0,00	45,68
2	GOCME53							
		0,00	-187,73	-21,61	0,00	0,00	0,00	-41,68
		2,00	-184,06	-21,61	0,00	0,00	0,00	2,21
		4,00	-180,39	-21,61	0,00	0,00	0,00	46,19
2	GOCME52							
		0,00	-27,60	-21,07	0,00	0,00	0,00	-39,81
		2,00	-23,92	-21,07	0,00	0,00	0,00	3,15
		4,00	-20,25	-21,07	0,00	0,00	0,00	46,23

FRAME	LOAD	LOC	P	V2	V3	T	M2	M3
3	DEPREM							
		0,00	-305,05	16,24	0,00	0,00	0,00	13,73
		2,00	-302,01	16,24	0,00	0,00	0,00	-11,10
		4,00	-298,97	16,24	0,00	0,00	0,00	-36,32
3	GOCME							
		0,00	-35,65	-18,01	0,00	0,00	0,00	-33,43
		2,00	-32,60	-18,01	0,00	0,00	0,00	3,37
		4,00	-29,56	-18,01	0,00	0,00	0,00	40,28
3	GOCME12							
		0,00	-387,75	-20,15	0,00	0,00	0,00	-39,79
		2,00	-384,70	-20,15	0,00	0,00	0,00	7,479E-01
		4,00	-381,66	-20,15	0,00	0,00	0,00	41,31
3	GOCME13							
		0,00	-386,29	-19,53	0,00	0,00	0,00	-38,39
		2,00	-383,25	-19,53	0,00	0,00	0,00	1,06
		4,00	-380,21	-19,53	0,00	0,00	0,00	40,54
3	GOCME14							
		0,00	-226,24	-18,78	0,00	0,00	0,00	-36,18
		2,00	-223,20	-18,78	0,00	0,00	0,00	1,95
		4,00	-220,16	-18,78	0,00	0,00	0,00	40,15
3	GOCME15							
		0,00	-85,00	-18,21	0,00	0,00	0,00	-34,14
		2,00	-81,96	-18,21	0,00	0,00	0,00	3,00
		4,00	-78,91	-18,21	0,00	0,00	0,00	40,24
3	GOCME55							
		0,00	-339,13	-20,22	0,00	0,00	0,00	-39,60
		2,00	-336,09	-20,22	0,00	0,00	0,00	1,07
		4,00	-333,04	-20,22	0,00	0,00	0,00	41,77
3	GOCME54							
		0,00	-197,89	-19,65	0,00	0,00	0,00	-37,57
		2,00	-194,85	-19,65	0,00	0,00	0,00	2,11
		4,00	-191,80	-19,65	0,00	0,00	0,00	41,86
3	GOCME53							
		0,00	-37,84	-18,90	0,00	0,00	0,00	-35,36
		2,00	-34,79	-18,90	0,00	0,00	0,00	3,00
		4,00	-31,75	-18,90	0,00	0,00	0,00	41,47
3	GOCME52							
		0,00	-36,38	-18,28	0,00	0,00	0,00	-33,95
		2,00	-33,34	-18,28	0,00	0,00	0,00	3,32
		4,00	-30,30	-18,28	0,00	0,00	0,00	40,70

FRAME	LOAD	LOC	P	V2	V3	T	M2	M3
4	DEPREM	0,00	-199,10	5,29	0,00	0,00	0,00	-7,87
		2,00	-196,06	5,29	0,00	0,00	0,00	-15,02
		4,00	-193,02	5,29	0,00	0,00	0,00	-22,44
4	GOCME	0,00	-46,26	-19,01	0,00	0,00	0,00	-38,09
		2,00	-43,22	-19,01	0,00	0,00	0,00	4,137E-01
		4,00	-40,18	-19,01	0,00	0,00	0,00	38,92
4	GOCME12	0,00	-237,48	-21,22	0,00	0,00	0,00	-43,67
		2,00	-234,43	-21,22	0,00	0,00	0,00	-1,11
		4,00	-231,39	-21,22	0,00	0,00	0,00	41,42
4	GOCME13	0,00	-236,72	-20,76	0,00	0,00	0,00	-42,77
		2,00	-233,68	-20,76	0,00	0,00	0,00	-1,04
		4,00	-230,64	-20,76	0,00	0,00	0,00	40,67
4	GOCME14	0,00	-235,66	-20,03	0,00	0,00	0,00	-41,08
		2,00	-232,61	-20,03	0,00	0,00	0,00	-6,975E-01
		4,00	-229,57	-20,03	0,00	0,00	0,00	39,68
4	GOCME15	0,00	-95,30	-19,26	0,00	0,00	0,00	-38,88
		2,00	-92,26	-19,26	0,00	0,00	0,00	8,440E-02
		4,00	-89,22	-19,26	0,00	0,00	0,00	39,05
4	GOCME55	0,00	-188,81	-21,19	0,00	0,00	0,00	-43,31
		2,00	-185,77	-21,19	0,00	0,00	0,00	-8,037E-01
		4,00	-182,73	-21,19	0,00	0,00	0,00	41,68
4	GOCME54	0,00	-48,46	-20,42	0,00	0,00	0,00	-41,10
		2,00	-45,42	-20,42	0,00	0,00	0,00	-2,187E-02
		4,00	-42,38	-20,42	0,00	0,00	0,00	41,06
4	GOCME53	0,00	-47,39	-19,69	0,00	0,00	0,00	-39,42
		2,00	-44,35	-19,69	0,00	0,00	0,00	3,202E-01
		4,00	-41,31	-19,69	0,00	0,00	0,00	40,07
4	GOCME52	0,00	-46,64	-19,23	0,00	0,00	0,00	-38,52
		2,00	-43,60	-19,23	0,00	0,00	0,00	3,918E-01
		4,00	-40,55	-19,23	0,00	0,00	0,00	39,31

FRAME	LOAD	LOC	P	V2	V3	T	M2	M3
5	DEPREM	0,00	-78,89	-18,39	0,00	0,00	0,00	-31,35
		2,00	-75,85	-18,39	0,00	0,00	0,00	6,05
		4,00	-72,81	-18,39	0,00	0,00	0,00	43,47
5	GOCME	0,00	-37,28	-25,76	0,00	0,00	0,00	-42,17
		2,00	-34,24	-25,76	0,00	0,00	0,00	9,46
		4,00	-31,20	-25,76	0,00	0,00	0,00	61,13
5	GOCME12	0,00	-86,59	-27,27	0,00	0,00	0,00	-46,22
		2,00	-83,55	-27,27	0,00	0,00	0,00	8,33
		4,00	-80,51	-27,27	0,00	0,00	0,00	62,92
5	GOCME13	0,00	-86,44	-27,00	0,00	0,00	0,00	-45,55
		2,00	-83,40	-27,00	0,00	0,00	0,00	8,48
		4,00	-80,36	-27,00	0,00	0,00	0,00	62,55
5	GOCME14	0,00	-86,22	-26,59	0,00	0,00	0,00	-44,53
		2,00	-83,18	-26,59	0,00	0,00	0,00	8,72
		4,00	-80,14	-26,59	0,00	0,00	0,00	62,01
5	GOCME15	0,00	-85,96	-26,01	0,00	0,00	0,00	-42,89
		2,00	-82,91	-26,01	0,00	0,00	0,00	9,21
		4,00	-79,87	-26,01	0,00	0,00	0,00	61,36
5	GOCME55	0,00	-37,99	-27,16	0,00	0,00	0,00	-45,82
		2,00	-34,95	-27,16	0,00	0,00	0,00	8,51
		4,00	-31,91	-27,16	0,00	0,00	0,00	62,87
5	GOCME54	0,00	-37,73	-26,57	0,00	0,00	0,00	-44,19
		2,00	-34,69	-26,57	0,00	0,00	0,00	9,00
		4,00	-31,64	-26,57	0,00	0,00	0,00	62,23
5	GOCME53	0,00	-37,51	-26,16	0,00	0,00	0,00	-43,17
		2,00	-34,47	-26,16	0,00	0,00	0,00	9,24
		4,00	-31,42	-26,16	0,00	0,00	0,00	61,69
5	GOCME52	0,00	-37,36	-25,89	0,00	0,00	0,00	-42,50
		2,00	-34,31	-25,89	0,00	0,00	0,00	9,39
		4,00	-31,27	-25,89	0,00	0,00	0,00	61,31

FRAME	LOAD	LOC	P	V2	V3	T	M2	M3
6	DEPREM	0,00	-757,13	89,97	0,00	0,00	0,00	263,48
		2,00	-753,46	89,97	0,00	0,00	0,00	86,28
		4,00	-749,78	89,97	0,00	0,00	0,00	-88,92
6	GOCME	0,00	-544,63	9,93	0,00	0,00	0,00	21,66
		2,00	-540,96	9,93	0,00	0,00	0,00	2,01
		4,00	-537,29	9,93	0,00	0,00	0,00	-17,59
6	GOCME12	0,00	-834,19	10,19	0,00	0,00	0,00	17,37
		2,00	-830,52	10,19	0,00	0,00	0,00	-2,83
		4,00	-826,85	10,19	0,00	0,00	0,00	-23,11
6	GOCME13	0,00	-740,64	10,10	0,00	0,00	0,00	18,64
		2,00	-736,97	10,10	0,00	0,00	0,00	-1,37
		4,00	-733,30	10,10	0,00	0,00	0,00	-21,41
6	GOCME14	0,00	-649,91	10,02	0,00	0,00	0,00	20,01
		2,00	-646,24	10,02	0,00	0,00	0,00	1,719E-01
		4,00	-642,57	10,02	0,00	0,00	0,00	-19,66
6	GOCME15	0,00	-571,78	9,95	0,00	0,00	0,00	21,23
		2,00	-568,11	9,95	0,00	0,00	0,00	1,53
		4,00	-564,44	9,95	0,00	0,00	0,00	-18,13
6	GOCME55	0,00	-905,51	10,34	0,00	0,00	0,00	16,92
		2,00	-901,83	10,34	0,00	0,00	0,00	-3,60
		4,00	-898,16	10,34	0,00	0,00	0,00	-24,22
6	GOCME54	0,00	-827,38	10,28	0,00	0,00	0,00	18,14
		2,00	-823,70	10,28	0,00	0,00	0,00	-2,24
		4,00	-820,03	10,28	0,00	0,00	0,00	-22,68
6	GOCME53	0,00	-736,65	10,20	0,00	0,00	0,00	19,51
		2,00	-732,98	10,20	0,00	0,00	0,00	-7,031E-01
		4,00	-729,30	10,20	0,00	0,00	0,00	-20,93
6	GOCME52	0,00	-643,09	10,11	0,00	0,00	0,00	20,78
		2,00	-639,42	10,11	0,00	0,00	0,00	7,635E-01
		4,00	-635,75	10,11	0,00	0,00	0,00	-19,23

FRAME	LOAD	LOC	P	V2	V3	T	M2	M3
7	DEPREM	0,00	-603,10	99,66	0,00	0,00	0,00	212,28
		2,00	-599,43	99,66	0,00	0,00	0,00	17,34
		4,00	-595,76	99,66	0,00	0,00	0,00	-177,30
7	GOCME	0,00	-442,74	15,05	0,00	0,00	0,00	36,38
		2,00	-439,07	15,05	0,00	0,00	0,00	6,60
		4,00	-435,39	15,05	0,00	0,00	0,00	-23,06
7	GOCME12	0,00	-737,45	16,07	0,00	0,00	0,00	33,87
		2,00	-733,78	16,07	0,00	0,00	0,00	1,89
		4,00	-730,11	16,07	0,00	0,00	0,00	-30,06
7	GOCME13	0,00	-642,16	15,69	0,00	0,00	0,00	34,38
		2,00	-638,48	15,69	0,00	0,00	0,00	3,21
		4,00	-634,81	15,69	0,00	0,00	0,00	-27,90
7	GOCME14	0,00	-549,83	15,39	0,00	0,00	0,00	35,25
		2,00	-546,16	15,39	0,00	0,00	0,00	4,73
		4,00	-542,49	15,39	0,00	0,00	0,00	-25,71
7	GOCME15	0,00	-470,36	15,14	0,00	0,00	0,00	36,08
		2,00	-466,68	15,14	0,00	0,00	0,00	6,12
		4,00	-463,01	15,14	0,00	0,00	0,00	-23,75
7	GOCME55	0,00	-704,92	16,26	0,00	0,00	0,00	34,54
		2,00	-701,25	16,26	0,00	0,00	0,00	2,15
		4,00	-697,58	16,26	0,00	0,00	0,00	-30,21
7	GOCME54	0,00	-625,45	16,01	0,00	0,00	0,00	35,37
		2,00	-621,78	16,01	0,00	0,00	0,00	3,54
		4,00	-618,11	16,01	0,00	0,00	0,00	-28,24
7	GOCME53	0,00	-533,12	15,71	0,00	0,00	0,00	36,24
		2,00	-529,45	15,71	0,00	0,00	0,00	5,05
		4,00	-525,78	15,71	0,00	0,00	0,00	-26,05
7	GOCME52	0,00	-437,82	15,33	0,00	0,00	0,00	36,75
		2,00	-434,15	15,33	0,00	0,00	0,00	6,37
		4,00	-430,48	15,33	0,00	0,00	0,00	-23,89

FRAME	LOAD	LOC	P	V2	V3	T	M2	M3
8	DEPREM							
		0,00	-455,37	88,34	0,00	0,00	0,00	159,88
		2,00	-451,70	88,34	0,00	0,00	0,00	-13,94
		4,00	-448,03	88,34	0,00	0,00	0,00	-187,90
8	GOCME							
		0,00	-336,37	13,25	0,00	0,00	0,00	28,29
		2,00	-332,70	13,25	0,00	0,00	0,00	2,11
		4,00	-329,02	13,25	0,00	0,00	0,00	-24,06
8	GOCME12							
		0,00	-536,17	14,80	0,00	0,00	0,00	28,01
		2,00	-532,49	14,80	0,00	0,00	0,00	-1,49
		4,00	-528,82	14,80	0,00	0,00	0,00	-31,00
8	GOCME13							
		0,00	-542,67	14,33	0,00	0,00	0,00	27,27
		2,00	-539,00	14,33	0,00	0,00	0,00	-1,24
		4,00	-535,33	14,33	0,00	0,00	0,00	-29,76
8	GOCME14							
		0,00	-447,09	13,78	0,00	0,00	0,00	27,53
		2,00	-443,42	13,78	0,00	0,00	0,00	1,984E-01
		4,00	-439,75	13,78	0,00	0,00	0,00	-27,13
8	GOCME15							
		0,00	-364,92	13,38	0,00	0,00	0,00	28,08
		2,00	-361,25	13,38	0,00	0,00	0,00	1,60
		4,00	-357,57	13,38	0,00	0,00	0,00	-24,86
8	GOCME55							
		0,00	-504,44	14,86	0,00	0,00	0,00	28,57
		2,00	-500,77	14,86	0,00	0,00	0,00	-1,06
		4,00	-497,09	14,86	0,00	0,00	0,00	-30,70
8	GOCME54							
		0,00	-422,26	14,46	0,00	0,00	0,00	29,12
		2,00	-418,59	14,46	0,00	0,00	0,00	3,455E-01
		4,00	-414,92	14,46	0,00	0,00	0,00	-28,42
8	GOCME53							
		0,00	-326,68	13,91	0,00	0,00	0,00	29,38
		2,00	-323,01	13,91	0,00	0,00	0,00	1,78
		4,00	-319,34	13,91	0,00	0,00	0,00	-25,79
8	GOCME52							
		0,00	-333,19	13,44	0,00	0,00	0,00	28,64
		2,00	-329,52	13,44	0,00	0,00	0,00	2,03
		4,00	-325,85	13,44	0,00	0,00	0,00	-24,56

FRAME	LOAD	LOC	P	V2	V3	T	M2	M3
9	DEPREM							
		0,00	-297,97	61,25	0,00	0,00	0,00	107,89
		2,00	-294,93	61,25	0,00	0,00	0,00	-13,49
		4,00	-291,89	61,25	0,00	0,00	0,00	-134,95
9	GOCME							
		0,00	-226,78	10,33	0,00	0,00	0,00	22,28
		2,00	-223,74	10,33	0,00	0,00	0,00	1,78
		4,00	-220,70	10,33	0,00	0,00	0,00	-18,71
9	GOCME12							
		0,00	-334,80	12,15	0,00	0,00	0,00	24,18
		2,00	-331,76	12,15	0,00	0,00	0,00	-8,056E-02
		4,00	-328,72	12,15	0,00	0,00	0,00	-24,34
9	GOCME13							
		0,00	-338,07	11,78	0,00	0,00	0,00	23,46
		2,00	-335,03	11,78	0,00	0,00	0,00	-2,760E-02
		4,00	-331,98	11,78	0,00	0,00	0,00	-23,52
9	GOCME14							
		0,00	-342,96	11,17	0,00	0,00	0,00	22,43
		2,00	-339,92	11,17	0,00	0,00	0,00	1,863E-01
		4,00	-336,88	11,17	0,00	0,00	0,00	-22,06
9	GOCME15							
		0,00	-256,73	10,54	0,00	0,00	0,00	22,28
		2,00	-253,69	10,54	0,00	0,00	0,00	1,35
		4,00	-250,64	10,54	0,00	0,00	0,00	-19,57
9	GOCME55							
		0,00	-303,25	12,13	0,00	0,00	0,00	24,56
		2,00	-300,21	12,13	0,00	0,00	0,00	3,458E-01
		4,00	-297,17	12,13	0,00	0,00	0,00	-23,87
9	GOCME54							
		0,00	-217,02	11,49	0,00	0,00	0,00	24,40
		2,00	-213,98	11,49	0,00	0,00	0,00	1,51
		4,00	-210,94	11,49	0,00	0,00	0,00	-21,38
9	GOCME53							
		0,00	-221,91	10,88	0,00	0,00	0,00	23,37
		2,00	-218,87	10,88	0,00	0,00	0,00	1,72
		4,00	-215,83	10,88	0,00	0,00	0,00	-19,92
9	GOCME52							
		0,00	-225,18	10,51	0,00	0,00	0,00	22,66
		2,00	-222,14	10,51	0,00	0,00	0,00	1,77
		4,00	-219,10	10,51	0,00	0,00	0,00	-19,10

FRAME	LOAD	LOC	P	V2	V3	T	M2	M3
10	DEPREM	0,00	-126,09	41,52	0,00	0,00	0,00	81,41
		2,00	-123,05	41,52	0,00	0,00	0,00	-1,55
		4,00	-120,00	41,52	0,00	0,00	0,00	-84,51
10	GOCME	0,00	-106,56	16,12	0,00	0,00	0,00	26,90
		2,00	-103,51	16,12	0,00	0,00	0,00	-5,33
		4,00	-100,47	16,12	0,00	0,00	0,00	-37,55
10	GOCME12	0,00	-135,13	17,51	0,00	0,00	0,00	29,73
		2,00	-132,09	17,51	0,00	0,00	0,00	-5,29
		4,00	-129,04	17,51	0,00	0,00	0,00	-40,32
10	GOCME13	0,00	-135,82	17,27	0,00	0,00	0,00	29,16
		2,00	-132,78	17,27	0,00	0,00	0,00	-5,36
		4,00	-129,74	17,27	0,00	0,00	0,00	-39,89
10	GOCME14	0,00	-136,86	16,89	0,00	0,00	0,00	28,34
		2,00	-133,82	16,89	0,00	0,00	0,00	-5,44
		4,00	-130,78	16,89	0,00	0,00	0,00	-39,22
10	GOCME15	0,00	-138,25	16,35	0,00	0,00	0,00	27,18
		2,00	-135,21	16,35	0,00	0,00	0,00	-5,51
		4,00	-132,17	16,35	0,00	0,00	0,00	-38,19
10	GOCME55	0,00	-103,09	17,41	0,00	0,00	0,00	29,73
		2,00	-100,05	17,41	0,00	0,00	0,00	-5,08
		4,00	-97,00	17,41	0,00	0,00	0,00	-39,89
10	GOCME54	0,00	-104,48	16,86	0,00	0,00	0,00	28,56
		2,00	-101,44	16,86	0,00	0,00	0,00	-5,15
		4,00	-98,39	16,86	0,00	0,00	0,00	-38,86
10	GOCME53	0,00	-105,52	16,49	0,00	0,00	0,00	27,74
		2,00	-102,48	16,49	0,00	0,00	0,00	-5,22
		4,00	-99,43	16,49	0,00	0,00	0,00	-38,19
10	GOCME52	0,00	-106,21	16,24	0,00	0,00	0,00	27,17
		2,00	-103,17	16,24	0,00	0,00	0,00	-5,29
		4,00	-100,13	16,24	0,00	0,00	0,00	-37,76

FRAME	LOAD	LOC	P	V2	V3	T	M2	M3
11	DEPREM	0,00	-1116,99	67,41	0,00	0,00	0,00	242,30
		2,00	-1113,32	67,41	0,00	0,00	0,00	101,19
		4,00	-1109,64	67,41	0,00	0,00	0,00	-45,55
11	GOCME	0,00	-1329,56	-6,11	0,00	0,00	0,00	3,62
		2,00	-1325,89	-6,11	0,00	0,00	0,00	15,68
		4,00	-1322,22	-6,11	0,00	0,00	0,00	26,86
11	GOCME12	0,00	-1040,01	-5,66	0,00	0,00	0,00	-5,157E-01
		2,00	-1036,34	-5,66	0,00	0,00	0,00	10,76
		4,00	-1032,67	-5,66	0,00	0,00	0,00	21,45
11	GOCME13	0,00	-1133,56	-5,81	0,00	0,00	0,00	7,095E-01
		2,00	-1129,89	-5,81	0,00	0,00	0,00	12,25
		4,00	-1126,22	-5,81	0,00	0,00	0,00	23,11
11	GOCME14	0,00	-1224,28	-5,95	0,00	0,00	0,00	2,03
		2,00	-1220,61	-5,95	0,00	0,00	0,00	13,81
		4,00	-1216,94	-5,95	0,00	0,00	0,00	24,83
11	GOCME15	0,00	-1302,41	-6,07	0,00	0,00	0,00	3,21
		2,00	-1298,74	-6,07	0,00	0,00	0,00	15,19
		4,00	-1295,07	-6,07	0,00	0,00	0,00	26,34
11	GOCME55	0,00	-968,70	-5,47	0,00	0,00	0,00	-9,404E-01
		2,00	-965,03	-5,47	0,00	0,00	0,00	9,98
		4,00	-961,36	-5,47	0,00	0,00	0,00	20,35
11	GOCME54	0,00	-1046,83	-5,59	0,00	0,00	0,00	2,383E-01
		2,00	-1043,15	-5,59	0,00	0,00	0,00	11,36
		4,00	-1039,48	-5,59	0,00	0,00	0,00	21,85
11	GOCME53	0,00	-1137,55	-5,73	0,00	0,00	0,00	1,56
		2,00	-1133,88	-5,73	0,00	0,00	0,00	12,92
		4,00	-1130,21	-5,73	0,00	0,00	0,00	23,57
11	GOCME52	0,00	-1231,10	-5,88	0,00	0,00	0,00	2,78
		2,00	-1227,43	-5,88	0,00	0,00	0,00	14,41
		4,00	-1223,76	-5,88	0,00	0,00	0,00	25,24

FRAME	LOAD	LOC	P	V2	V3	T	M2	M3
12	DEPREM	0,00	-868,15	63,30	0,00	0,00	0,00	152,23
		2,00	-864,47	63,30	0,00	0,00	0,00	14,27
		4,00	-860,80	63,30	0,00	0,00	0,00	-124,28
12	GOCME	0,00	-1028,45	-13,71	0,00	0,00	0,00	-22,93
		2,00	-1024,78	-13,71	0,00	0,00	0,00	3,57
		4,00	-1021,11	-13,71	0,00	0,00	0,00	29,92
12	GOCME12	0,00	-733,75	-12,29	0,00	0,00	0,00	-25,34
		2,00	-730,08	-12,29	0,00	0,00	0,00	-1,20
		4,00	-726,40	-12,29	0,00	0,00	0,00	23,00
12	GOCME13	0,00	-829,04	-12,79	0,00	0,00	0,00	-24,86
		2,00	-825,37	-12,79	0,00	0,00	0,00	1,399E-01
		4,00	-821,70	-12,79	0,00	0,00	0,00	25,14
12	GOCME14	0,00	-921,37	-13,21	0,00	0,00	0,00	-24,03
		2,00	-917,69	-13,21	0,00	0,00	0,00	1,67
		4,00	-914,02	-13,21	0,00	0,00	0,00	27,30
12	GOCME15	0,00	-1000,84	-13,58	0,00	0,00	0,00	-23,22
		2,00	-997,17	-13,58	0,00	0,00	0,00	3,07
		4,00	-993,49	-13,58	0,00	0,00	0,00	29,24
12	GOCME55	0,00	-766,28	-12,06	0,00	0,00	0,00	-24,68
		2,00	-762,61	-12,06	0,00	0,00	0,00	-9,339E-01
		4,00	-758,93	-12,06	0,00	0,00	0,00	22,85
12	GOCME54	0,00	-845,75	-12,43	0,00	0,00	0,00	-23,87
		2,00	-842,08	-12,43	0,00	0,00	0,00	4,684E-01
		4,00	-838,41	-12,43	0,00	0,00	0,00	24,79
12	GOCME53	0,00	-938,07	-12,85	0,00	0,00	0,00	-23,03
		2,00	-934,40	-12,85	0,00	0,00	0,00	2,00
		4,00	-930,73	-12,85	0,00	0,00	0,00	26,95
12	GOCME52	0,00	-1033,37	-13,35	0,00	0,00	0,00	-22,55
		2,00	-1029,70	-13,35	0,00	0,00	0,00	3,34
		4,00	-1026,02	-13,35	0,00	0,00	0,00	29,09

FRAME	LOAD	LOC	P	V2	V3	T	M2	M3
13	DEPREM	0,00	-614,06	56,52	0,00	0,00	0,00	109,00
		2,00	-610,38	56,52	0,00	0,00	0,00	-12,09
		4,00	-606,71	56,52	0,00	0,00	0,00	-132,82
13	GOCME	0,00	-732,99	-13,80	0,00	0,00	0,00	-22,63
		2,00	-729,32	-13,80	0,00	0,00	0,00	4,12
		4,00	-725,64	-13,80	0,00	0,00	0,00	30,75
13	GOCME12	0,00	-533,19	-11,81	0,00	0,00	0,00	-22,85
		2,00	-529,52	-11,81	0,00	0,00	0,00	5,038E-01
		4,00	-525,85	-11,81	0,00	0,00	0,00	23,84
13	GOCME13	0,00	-526,69	-12,39	0,00	0,00	0,00	-23,60
		2,00	-523,01	-12,39	0,00	0,00	0,00	7,502E-01
		4,00	-519,34	-12,39	0,00	0,00	0,00	25,08
13	GOCME14	0,00	-622,27	-13,08	0,00	0,00	0,00	-23,36
		2,00	-618,59	-13,08	0,00	0,00	0,00	2,20
		4,00	-614,92	-13,08	0,00	0,00	0,00	27,69
13	GOCME15	0,00	-704,44	-13,61	0,00	0,00	0,00	-22,83
		2,00	-700,77	-13,61	0,00	0,00	0,00	3,61
		4,00	-697,09	-13,61	0,00	0,00	0,00	29,95
13	GOCME55	0,00	-564,92	-11,74	0,00	0,00	0,00	-22,30
		2,00	-561,25	-11,74	0,00	0,00	0,00	9,353E-01
		4,00	-557,58	-11,74	0,00	0,00	0,00	24,14
13	GOCME54	0,00	-647,09	-12,27	0,00	0,00	0,00	-21,77
		2,00	-643,42	-12,27	0,00	0,00	0,00	2,35
		4,00	-639,75	-12,27	0,00	0,00	0,00	26,40
13	GOCME53	0,00	-742,67	-12,96	0,00	0,00	0,00	-21,53
		2,00	-739,00	-12,96	0,00	0,00	0,00	3,80
		4,00	-735,33	-12,96	0,00	0,00	0,00	29,01
13	GOCME52	0,00	-736,16	-13,54	0,00	0,00	0,00	-22,28
		2,00	-732,49	-13,54	0,00	0,00	0,00	4,04
		4,00	-728,82	-13,54	0,00	0,00	0,00	30,25

FRAME	LOAD	LOC	P	V2	V3	T	M2	M3
14	DEPREM	0,00	-369,83	36,22	0,00	0,00	0,00	62,00
		2,00	-366,78	36,22	0,00	0,00	0,00	-14,34
		4,00	-363,74	36,22	0,00	0,00	0,00	-90,39
14	GOCME	0,00	-440,98	-12,65	0,00	0,00	0,00	-23,76
		2,00	-437,94	-12,65	0,00	0,00	0,00	9,876E-01
		4,00	-434,90	-12,65	0,00	0,00	0,00	25,71
14	GOCME12	0,00	-332,97	-10,55	0,00	0,00	0,00	-21,84
		2,00	-329,92	-10,55	0,00	0,00	0,00	-8,775E-01
		4,00	-326,88	-10,55	0,00	0,00	0,00	20,10
14	GOCME13	0,00	-329,70	-10,98	0,00	0,00	0,00	-22,55
		2,00	-326,66	-10,98	0,00	0,00	0,00	-8,246E-01
		4,00	-323,62	-10,98	0,00	0,00	0,00	20,92
14	GOCME14	0,00	-324,81	-11,68	0,00	0,00	0,00	-23,59
		2,00	-321,76	-11,68	0,00	0,00	0,00	-6,122E-01
		4,00	-318,72	-11,68	0,00	0,00	0,00	22,38
14	GOCME15	0,00	-411,04	-12,41	0,00	0,00	0,00	-23,76
		2,00	-407,99	-12,41	0,00	0,00	0,00	5,537E-01
		4,00	-404,95	-12,41	0,00	0,00	0,00	24,86
14	GOCME55	0,00	-364,51	-10,57	0,00	0,00	0,00	-21,46
		2,00	-361,47	-10,57	0,00	0,00	0,00	-4,491E-01
		4,00	-358,43	-10,57	0,00	0,00	0,00	20,57
14	GOCME54	0,00	-450,74	-11,31	0,00	0,00	0,00	-21,63
		2,00	-447,70	-11,31	0,00	0,00	0,00	7,169E-01
		4,00	-444,66	-11,31	0,00	0,00	0,00	23,05
14	GOCME53	0,00	-445,85	-12,01	0,00	0,00	0,00	-22,66
		2,00	-442,81	-12,01	0,00	0,00	0,00	9,293E-01
		4,00	-439,77	-12,01	0,00	0,00	0,00	24,50
14	GOCME52	0,00	-442,58	-12,44	0,00	0,00	0,00	-23,38
		2,00	-439,54	-12,44	0,00	0,00	0,00	9,822E-01
		4,00	-436,50	-12,44	0,00	0,00	0,00	25,33

FRAME	LOAD	LOC	P	V2	V3	T	M2	M3
15	DEPREM	0,00	-143,81	6,56	0,00	0,00	0,00	23,07
		2,00	-140,77	6,56	0,00	0,00	0,00	9,00
		4,00	-137,73	6,56	0,00	0,00	0,00	-5,13
15	GOCME	0,00	-163,34	-18,42	0,00	0,00	0,00	-31,49
		2,00	-160,30	-18,42	0,00	0,00	0,00	5,18
		4,00	-157,25	-18,42	0,00	0,00	0,00	41,82
15	GOCME12	0,00	-134,77	-16,94	0,00	0,00	0,00	-28,65
		2,00	-131,72	-16,94	0,00	0,00	0,00	5,22
		4,00	-128,68	-16,94	0,00	0,00	0,00	39,05
15	GOCME13	0,00	-134,07	-17,20	0,00	0,00	0,00	-29,21
		2,00	-131,03	-17,20	0,00	0,00	0,00	5,15
		4,00	-127,99	-17,20	0,00	0,00	0,00	39,48
15	GOCME14	0,00	-133,03	-17,60	0,00	0,00	0,00	-30,04
		2,00	-129,99	-17,60	0,00	0,00	0,00	5,07
		4,00	-126,95	-17,60	0,00	0,00	0,00	40,15
15	GOCME15	0,00	-131,64	-18,18	0,00	0,00	0,00	-31,21
		2,00	-128,60	-18,18	0,00	0,00	0,00	5,00
		4,00	-125,56	-18,18	0,00	0,00	0,00	41,18
15	GOCME55	0,00	-166,81	-17,05	0,00	0,00	0,00	-28,65
		2,00	-163,76	-17,05	0,00	0,00	0,00	5,43
		4,00	-160,72	-17,05	0,00	0,00	0,00	39,48
15	GOCME54	0,00	-165,42	-17,63	0,00	0,00	0,00	-29,82
		2,00	-162,37	-17,63	0,00	0,00	0,00	5,36
		4,00	-159,33	-17,63	0,00	0,00	0,00	40,51
15	GOCME53	0,00	-164,38	-18,02	0,00	0,00	0,00	-30,64
		2,00	-161,33	-18,02	0,00	0,00	0,00	5,29
		4,00	-158,29	-18,02	0,00	0,00	0,00	41,18
15	GOCME52	0,00	-163,68	-18,29	0,00	0,00	0,00	-31,21
		2,00	-160,64	-18,29	0,00	0,00	0,00	5,22
		4,00	-157,60	-18,29	0,00	0,00	0,00	41,61

FRAME	LOAD	LOC	P	V2	V3	T	M2	M3
16	DEPREM	0,00	-878,23	66,56	0,00	0,00	0,00	242,56
		2,00	-874,56	66,56	0,00	0,00	0,00	100,62
		4,00	-870,89	66,56	0,00	0,00	0,00	-49,10
16	GOCME	0,00	-1372,73	15,60	0,00	0,00	0,00	29,37
		2,00	-1369,06	15,60	0,00	0,00	0,00	-2,80
		4,00	-1365,39	15,60	0,00	0,00	0,00	-34,76
16	GOCME12	0,00	-859,21	15,42	0,00	0,00	0,00	24,45
		2,00	-855,53	15,42	0,00	0,00	0,00	-7,17
		4,00	-851,86	15,42	0,00	0,00	0,00	-38,23
16	GOCME13	0,00	-1019,70	15,48	0,00	0,00	0,00	25,94
		2,00	-1016,02	15,48	0,00	0,00	0,00	-5,87
		4,00	-1012,35	15,48	0,00	0,00	0,00	-37,22
16	GOCME14	0,00	-1180,84	15,54	0,00	0,00	0,00	27,51
		2,00	-1177,16	15,54	0,00	0,00	0,00	-4,48
		4,00	-1173,49	15,54	0,00	0,00	0,00	-36,11
16	GOCME15	0,00	-1323,04	15,58	0,00	0,00	0,00	28,89
		2,00	-1319,37	15,58	0,00	0,00	0,00	-3,24
		4,00	-1315,70	15,58	0,00	0,00	0,00	-35,11
16	GOCME55	0,00	-749,49	15,27	0,00	0,00	0,00	23,63
		2,00	-745,81	15,27	0,00	0,00	0,00	-7,66
		4,00	-742,14	15,27	0,00	0,00	0,00	-38,35
16	GOCME54	0,00	-891,69	15,31	0,00	0,00	0,00	25,01
		2,00	-888,02	15,31	0,00	0,00	0,00	-6,42
		4,00	-884,35	15,31	0,00	0,00	0,00	-37,35
16	GOCME53	0,00	-1052,83	15,37	0,00	0,00	0,00	26,57
		2,00	-1049,16	15,37	0,00	0,00	0,00	-5,03
		4,00	-1045,49	15,37	0,00	0,00	0,00	-36,24
16	GOCME52	0,00	-1213,32	15,44	0,00	0,00	0,00	28,07
		2,00	-1209,65	15,44	0,00	0,00	0,00	-3,73
		4,00	-1205,98	15,44	0,00	0,00	0,00	-35,23

FRAME	LOAD	LOC	P	V2	V3	T	M2	M3
17	DEPREM	0,00	-680,48	62,03	0,00	0,00	0,00	154,99
		2,00	-676,81	62,03	0,00	0,00	0,00	14,94
		4,00	-673,14	62,03	0,00	0,00	0,00	-126,00
17	GOCME	0,00	-1059,74	26,22	0,00	0,00	0,00	58,61
		2,00	-1056,07	26,22	0,00	0,00	0,00	4,96
		4,00	-1052,40	26,22	0,00	0,00	0,00	-48,97
17	GOCME12	0,00	-547,37	25,35	0,00	0,00	0,00	52,37
		2,00	-543,70	25,35	0,00	0,00	0,00	1,17
		4,00	-540,03	25,35	0,00	0,00	0,00	-50,11
17	GOCME13	0,00	-707,51	25,69	0,00	0,00	0,00	54,21
		2,00	-703,84	25,69	0,00	0,00	0,00	2,12
		4,00	-700,17	25,69	0,00	0,00	0,00	-50,10
17	GOCME14	0,00	-868,28	25,94	0,00	0,00	0,00	56,20
		2,00	-864,61	25,94	0,00	0,00	0,00	3,39
		4,00	-860,94	25,94	0,00	0,00	0,00	-49,62
17	GOCME15	0,00	-1010,17	26,15	0,00	0,00	0,00	57,99
		2,00	-1006,50	26,15	0,00	0,00	0,00	4,56
		4,00	-1002,82	26,15	0,00	0,00	0,00	-49,15
17	GOCME55	0,00	-595,87	25,17	0,00	0,00	0,00	51,98
		2,00	-592,20	25,17	0,00	0,00	0,00	1,21
		4,00	-588,53	25,17	0,00	0,00	0,00	-49,63
17	GOCME54	0,00	-737,75	25,38	0,00	0,00	0,00	53,77
		2,00	-734,08	25,38	0,00	0,00	0,00	2,38
		4,00	-730,41	25,38	0,00	0,00	0,00	-49,16
17	GOCME53	0,00	-898,52	25,63	0,00	0,00	0,00	55,76
		2,00	-894,85	25,63	0,00	0,00	0,00	3,65
		4,00	-891,18	25,63	0,00	0,00	0,00	-48,68
17	GOCME52	0,00	-1058,66	25,97	0,00	0,00	0,00	57,60
		2,00	-1054,99	25,97	0,00	0,00	0,00	4,60
		4,00	-1051,32	25,97	0,00	0,00	0,00	-48,67

FRAME	LOAD	LOC	P	V2	V3	T	M2	M3
18	DEPREM	0,00	-475,51	49,40	0,00	0,00	0,00	96,26
		2,00	-472,47	49,40	0,00	0,00	0,00	-14,03
		4,00	-469,43	49,40	0,00	0,00	0,00	-123,62
18	GOCME	0,00	-744,99	23,50	0,00	0,00	0,00	49,08
		2,00	-741,95	23,50	0,00	0,00	0,00	8,334E-01
		4,00	-738,91	23,50	0,00	0,00	0,00	-47,46
18	GOCME12	0,00	-392,89	22,10	0,00	0,00	0,00	42,82
		2,00	-389,85	22,10	0,00	0,00	0,00	-1,82
		4,00	-386,81	22,10	0,00	0,00	0,00	-46,37
18	GOCME13	0,00	-394,34	22,53	0,00	0,00	0,00	44,20
		2,00	-391,30	22,53	0,00	0,00	0,00	-1,51
		4,00	-388,26	22,53	0,00	0,00	0,00	-47,14
18	GOCME14	0,00	-554,40	23,03	0,00	0,00	0,00	46,38
		2,00	-551,36	23,03	0,00	0,00	0,00	-6,024E-01
		4,00	-548,31	23,03	0,00	0,00	0,00	-47,56
18	GOCME15	0,00	-695,64	23,38	0,00	0,00	0,00	48,38
		2,00	-692,60	23,38	0,00	0,00	0,00	4,550E-01
		4,00	-689,56	23,38	0,00	0,00	0,00	-47,49
18	GOCME55	0,00	-441,51	22,04	0,00	0,00	0,00	43,01
		2,00	-438,47	22,04	0,00	0,00	0,00	-1,49
		4,00	-435,43	22,04	0,00	0,00	0,00	-45,92
18	GOCME54	0,00	-582,75	22,39	0,00	0,00	0,00	45,00
		2,00	-579,71	22,39	0,00	0,00	0,00	-4,356E-01
		4,00	-576,67	22,39	0,00	0,00	0,00	-45,85
18	GOCME53	0,00	-742,81	22,89	0,00	0,00	0,00	47,18
		2,00	-739,76	22,89	0,00	0,00	0,00	4,703E-01
		4,00	-736,72	22,89	0,00	0,00	0,00	-46,27
18	GOCME52	0,00	-744,26	23,32	0,00	0,00	0,00	48,56
		2,00	-741,22	23,32	0,00	0,00	0,00	7,837E-01
		4,00	-738,18	23,32	0,00	0,00	0,00	-47,04

FRAME	LOAD	LOC	P	V2	V3	T	M2	M3
19	DEPREM	0,00	-278,16	45,08	0,00	0,00	0,00	81,71
		2,00	-275,11	45,08	0,00	0,00	0,00	-13,82
		4,00	-272,07	45,08	0,00	0,00	0,00	-108,96
19	GOCME	0,00	-431,03	24,34	0,00	0,00	0,00	51,15
		2,00	-427,99	24,34	0,00	0,00	0,00	1,71
		4,00	-424,94	24,34	0,00	0,00	0,00	-47,78
19	GOCME12	0,00	-239,82	22,63	0,00	0,00	0,00	45,62
		2,00	-236,77	22,63	0,00	0,00	0,00	1,829E-01
		4,00	-233,73	22,63	0,00	0,00	0,00	-45,26
19	GOCME13	0,00	-240,57	22,98	0,00	0,00	0,00	46,51
		2,00	-237,52	22,98	0,00	0,00	0,00	2,535E-01
		4,00	-234,48	22,98	0,00	0,00	0,00	-46,02
19	GOCME14	0,00	-241,64	23,54	0,00	0,00	0,00	48,18
		2,00	-238,59	23,54	0,00	0,00	0,00	5,944E-01
		4,00	-235,55	23,54	0,00	0,00	0,00	-47,01
19	GOCME15	0,00	-381,99	24,14	0,00	0,00	0,00	50,37
		2,00	-378,95	24,14	0,00	0,00	0,00	1,38
		4,00	-375,91	24,14	0,00	0,00	0,00	-47,64
19	GOCME55	0,00	-288,48	22,65	0,00	0,00	0,00	45,97
		2,00	-285,44	22,65	0,00	0,00	0,00	4,922E-01
		4,00	-282,40	22,65	0,00	0,00	0,00	-45,00
19	GOCME54	0,00	-428,83	23,25	0,00	0,00	0,00	48,16
		2,00	-425,79	23,25	0,00	0,00	0,00	1,28
		4,00	-422,75	23,25	0,00	0,00	0,00	-45,64
19	GOCME53	0,00	-429,90	23,82	0,00	0,00	0,00	49,82
		2,00	-426,86	23,82	0,00	0,00	0,00	1,62
		4,00	-423,82	23,82	0,00	0,00	0,00	-46,63
19	GOCME52	0,00	-430,65	24,17	0,00	0,00	0,00	50,72
		2,00	-427,61	24,17	0,00	0,00	0,00	1,69
		4,00	-424,57	24,17	0,00	0,00	0,00	-47,39

FRAME	LOAD	LOC	P	V2	V3	T	M2	M3
20	DEPREM	0,00	-94,75	35,81	0,00	0,00	0,00	62,08
		2,00	-91,71	35,81	0,00	0,00	0,00	-10,75
		4,00	-88,66	35,81	0,00	0,00	0,00	-83,49
20	GOCME	0,00	-136,36	29,15	0,00	0,00	0,00	51,15
		2,00	-133,32	29,15	0,00	0,00	0,00	-7,38
		4,00	-130,28	29,15	0,00	0,00	0,00	-65,85
20	GOCME12	0,00	-87,05	27,78	0,00	0,00	0,00	47,12
		2,00	-84,01	27,78	0,00	0,00	0,00	-8,50
		4,00	-80,96	27,78	0,00	0,00	0,00	-64,06
20	GOCME13	0,00	-87,20	28,03	0,00	0,00	0,00	47,79
		2,00	-84,16	28,03	0,00	0,00	0,00	-8,35
		4,00	-81,12	28,03	0,00	0,00	0,00	-64,43
20	GOCME14	0,00	-87,42	28,39	0,00	0,00	0,00	48,81
		2,00	-84,38	28,39	0,00	0,00	0,00	-8,11
		4,00	-81,34	28,39	0,00	0,00	0,00	-64,97
20	GOCME15	0,00	-87,69	28,92	0,00	0,00	0,00	50,43
		2,00	-84,64	28,92	0,00	0,00	0,00	-7,62
		4,00	-81,60	28,92	0,00	0,00	0,00	-65,62
20	GOCME55	0,00	-135,65	27,89	0,00	0,00	0,00	47,51
		2,00	-132,61	27,89	0,00	0,00	0,00	-8,33
		4,00	-129,57	27,89	0,00	0,00	0,00	-64,11
20	GOCME54	0,00	-135,91	28,43	0,00	0,00	0,00	49,14
		2,00	-132,87	28,43	0,00	0,00	0,00	-7,84
		4,00	-129,83	28,43	0,00	0,00	0,00	-64,75
20	GOCME53	0,00	-136,14	28,79	0,00	0,00	0,00	50,16
		2,00	-133,09	28,79	0,00	0,00	0,00	-7,59
		4,00	-130,05	28,79	0,00	0,00	0,00	-65,29
20	GOCME52	0,00	-136,29	29,03	0,00	0,00	0,00	50,83
		2,00	-133,25	29,03	0,00	0,00	0,00	-7,45
		4,00	-130,20	29,03	0,00	0,00	0,00	-65,67

ÖZGEÇMİŞ

Macit YURTSEVER 12 Eylül 1980 tarihinde Bulgaristan’da doğdu. Ailesiyle birlikte 1989’da Türkiye’ye gelerek Bursa’ya yerleşti. Bulgaristan’da başladığı ilkokulu Bursa’da Sakarya İlkokulu ve Setbaşı İlköğretim Okulu’nda tamamladı. Ortaokulu Bursa Çelebi Mehmet Lisesi’nde, liseyi Bursa Tophane Anadolu Teknik Lisesi Elektronik Bölümü’nde okudu. 1998’de ek kontenjan uygulamasından yararlanarak İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü’ne girdi. 2003’te bölümündeki en yüksek not ortalamasıyla mezun oldu. Aynı yıl yine İstanbul Teknik Üniversitesi’nde Yapı Anabilim Dalı Yapı Analizi ve Tasarımı Uzmanlık Alanı’nda yüksek lisans öğrenimine başladı.