İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇOK KATLI ÇELİK ÇERÇEVE SİSTEMDE DEPREM PERFORMANSININ BELİRLENMESİ ÜZERİNDE SAYISAL BİR İNCELEME

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş. Müh. Emre CENGİZOĞLU

Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Programı : YAPI MÜHENDİSLİĞİ

MAYIS 2005

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇOK KATLI ÇELİK ÇERÇEVE SİSTEMDE DEPREM PERFORMANSININ BELİRLENMESİ ÜZERİNDE SAYISAL BİR İNCELEME

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Emre CENGİZOĞLU
(501021084)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 9 Mayıs 2005
Tezin Savunulduğu Tarih : 30 Mayıs 2005

Tez Danışmanı : Prof.Dr. Erkan ÖZER
Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr. Gülay ALTAY (B.Ü.)
Yrd.Doç.Dr. Konuralp GİRGİN (İ.T.Ü.)

MAYIS 2005

ÖNSÖZ

Yüksek lisans tezi olarak sunulan bu çalışmada, çok katlı çelik çerçeve sistemlerde deprem performanslarının belirlenmesi üzerinde sayısal incelemeler yapılmıştır.

Lisans, yüksek lisans öğrenimi ve tez çalışmam boyunca, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, değerli danışmanım Sayın Prof. Dr. Erkan ÖZER' e, özellikle tez çalışmam esnasında bana göstermiş olduğu sabır ve hoşgörüden dolayı teşekkürü bir borç bilir, saygılarımı sunarım.

Bu günlere ulaşmamı sağlayan aileme, moral ve destekleri ile herzaman yanımda olan arkadaşlarıma da ayrıca teşekkür etmek isterim.

Mayıs 2005 İnş. Müh. Emre CENGİZOĞLU

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR **v**
TABLO LİSTESİ **vi**
ŞEKİL LİSTESİ **vii**
SEMBOL LİSTESİ **xii**
ÖZET **xvi**
SUMMARY **xix**

1 GİRİŞ **1**
1.1 Konu 1
1.2 Konu ile İlgili Yapılan Çalışmalar 2
1.3 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı 3

2 ÇELİK YAPI SİSTEMLERİNİN MALZEME BAKIMINDAN DOĞRUSAL OLMAYAN DAVRANIŞI **4**
2.1 Yapı Sistemlerinin Doğrusal Olmayan Davranışı 4
2.1.1 Çözümün Sağlaması Gerekli Koşullar 5
2.1.2 Yapı Sistemlerinin Doğrusal Olmama Nedenleri 6
2.1.3 Yapı Sistemlerinin Dış Yükler Altındaki Doğrusal Olmayan Davranışı 7
2.2 İç Kuvvet-Şekildeğiştirme Bağıntıları ve Akma (Kırılma) Koşulları 9
2.2.1 Malzemenin Şekildeğiştirme Özellikleri 9
2.2.1.1 İdeal Malzemeler 10
2.2.1.2 Yapı Çeliklerinin Gerilme-Şekildeğiştirme Bağıntıları 11
2.2.2 Düzlem Çubuk Elemanlarda İç Kuvvet-Şekildeğiştirme Bağıntıları ve Akma (Kırılma) Koşulları 11
2.2.2.1 İdeal Elastoplastik Malzemeden Yapılmış Çubuklar 15
2.3 Malzeme Bakımından Doğrusal Olmayan Sistemlerin Hesabı 24
2.3.1 Doğrusal Olmayan Şekildeğiştirmelerin Sürekli Olması Hali 24
2.3.2 Doğrusal Olmayan Şekildeğiştirmelerin Belirli Kesitlerde Toplandığının Varsayılması Hali 24
2.3.2.1 Plastik Mafsal Hipotezi 24
2.3.2.2 Yük Artımı Yöntemi 28
2.3.2.3 Limit Yükün Doğrudan Doğruya Hesabı 32

3 PERFORMANSA DAYALI TASARIM VE DEĞERLENDİRME **33**
3.1 Giriş 33
3.2 Performans Hedefinin Belirlenmesi 34

3.2.1 Performans Seviyelerinin Değerlendirilmesi 34
3.2.1.1 Taşıyıcı Elemanlar İçin Performans Seviyeleri ve Aralıkları 35
3.2.1.2 Taşıyıcı Olmayan Elemanlar İçin Performans Seviyeleri 37
3.2.2 Bina performans seviyeleri 38
3.3 Deprem Hareketi 39
3.4 Yapısal Stabilite 40
3.5 Doğrusal Olmayan Analize Dayanan Basitleştirilmiş Yöntemler 41
3.5.1 Kapasite Spektrumu Yöntemi (Capacity Spectrum Method, ATC 40) 42
3.5.2 Artımsal Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi – 2005 Türk Deprem Yönetmeliği Taslağı 49
3.5.2.1 Yöntemin Esasları 49
3.5.2.2 İtme Analizinde Modal Yerdeğiştirme İsteminin Belirlenmesi 50
3.5.3 Performans Noktasının Kabul Kriterleri 53
3.5.3.1 Bina İçin Öngörülen Kabul Kriterleri 53
3.5.3.2 Yapı Elemanları ve Bileşenleri için Öngörülen Kabul Kriterleri 54

4 ÇOK KATLI ÇELİK ÇERÇEVE SİSTEMDE DEPREM PERFORMANSININ BELİRLENMESİ ÜZERİNDE SAYISAL BİR İNCELEME 57
4.1 Seçilen Taşıyıcı Sistemin Ortak Özellikleri 59
4.2 Taşıyıcı Sistem Modellerinin Boyutlandırılması 61
4.2.1 Boyutlandırmada Göz Önünde Tutulan Varsayımlar 61
4.2.2 Boyutlandırmada Esas Alınan Yönetmelikler 61
4.2.3 Analiz ve Boyutlandırma 67
4.2.3.1 Tasarım Deprem Yüklerinin Bulunması 67
4.2.3.2 Enkesit profilleri, Gerilme Oranları ve Yanal Yerdeğiştirme Değerlerinin Bulunması 69
4.2.4 Taşıyıcı Sistem Modellerinin Performans Değerlendirmesi 73

5 SONUÇLAR 78

KAYNAKLAR 81

EKLER 83
Ek-A Taşıyıcı Sistem Modellerinin Enkesit Profilleri ve Gerilme Oranları 84
Ek-B Enkesit Profillerinin Eğilme Momenti-Dönme Grafikleri 92
Ek-C Taşıyıcı Sistem Modellerinin Kapasite Eğrileri Üzerinde Performans Noktasının Bulunmasına İlişkin Grafikler 95
Ek-D Enkesit Profillerinin Performans Noktasındaki Eleman Performans Seviyeleri 120

ÖZGEÇMİŞ 132

KISALTMALAR

AISC	: American Institute of Steel Construction
ATC	: Applied Technology Council
ATC 40	: Guidelines and Commentary for Seismic Rehabilitation of Buildings
CG (LS)	: Can Güvenliği (Life Safety) Performans Seviyesi
CSM	: Kapasite Spektrumu Yöntemi
FEMA	: Federal Emergency Management Agency
FEMA 273, 356	: NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings
G (C)	: Göçme (Collapse) Performans Seviyesi
GÖ (CP)	: Göçmenin Önlenmesi (Collapse Prevention) Performans Seviyesi
HK (IO)	: Hemen Kullanım (Immadiate Occupancy) Performans Seviyesi
SAP	: Integrated Software for Structural Analysis and Design
TDY'05	: 2005 Türk Deprem Yönetmeliği Taslağı
TDY'98	: 1998 Türk Deprem Yönetmeliği
TS	: Türk Standartları
UBC'97	: 1997 Uniform Building Code

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 3.1 Taşıyıcı Elemanların Performans Seviyeleri 35
Tablo 3.2 Taşıyıcı Olmayan Elemanların Performans Seviyeleri 37
Tablo 3.3 Bina Yapısal Performans Seviyeleri 38
Tablo 3.4 Çok Seviyeli Hedef Performansın Tanımlanması 40
Tablo 3.5 κ – Faktörü Değerleri 46
Tablo 3.6 Yapı Davranış Tipinin Belirlenmesi 47
Tablo 3.7 İzin Verilen En Küçük Spektral Azaltma Faktörleri 48
Tablo 3.8 Katlar Arası Yerdeğiştirmenin Kat Yüksekliğine Oranı 54
Tablo 3.9 Modelleme Parametreleri ve Kabul Edilen Plastik Şekildeğiştirme Kapasiteleri 56
Tablo 4.1 Taşıyıcı Sistem Modellerinde Deprem Yükleri 67
Tablo 4.2 Eşdeğer Kat Kesme Kuvvetlerinin Bulunması 68
Tablo 4.3 Kiriş Enkesit Profilleri ve Gerilme Oranları 70
Tablo 4.4 Kolon Enkesit Profilleri ve Gerilme Oranları 71
Tablo 4.5 Deprem Etkilerinden Oluşan Kat Yatay Yerdeğiştirmeleri 72
Tablo 4.6 Z2 Zemin Sınıfı İçin ve Güçlü Kolon Tasarımı Dikkate Alınmayan Sistemin Performans Değerlendirmesi (R=8)..... 74
Tablo 4.7 Z2 Zemin Sınıfı İçin ve Güçlü Kolon Tasarımı Dikkate Alınmayan Sistemin Performans Değerlendirmesi (R=5) 74
Tablo 4.8 Z2 Zemin Sınıfı İçin ve Güçlü Kolon Tasarımı Dikkate Alınan Sistemin Performans Değerlendirmesi (R=8)..... 74
Tablo 4.9 Z3 Zemin Sınıfı İçin ve Güçlü Kolon Tasarımı Dikkate Alınmayan Sistemin Performans Değerlendirmesi 75
Tablo 4.10 Z3 Zemin Sınıfı İçin ve Güçlü Kolon Tasarımı Dikkate Alınmayan Sistemin Performans Değerlendirmesi (R=5) 75
Tablo 4.11 Z3 Zemin Sınıfı İçin ve Güçlü Kolon Tasarımı Dikkate Alınan Sistemin Performans Değerlendirmesi 75
Tablo 4.12 Z4 Zemin Sınıfı İçin, Yerdeğiştirme Etkin ve Güçlü Kolon Tasarımı Dikkate Alınmayan Sistemin Performans Değerlendirmesi 76
Tablo 4.13 Z4 Zemin Sınıfı İçin, Yerdeğiştirme Etkin ve Güçlü Kolon Tasarımı Dikkate Alınan Sistemin Performans Değerlendirmesi 76
Tablo 4.14 Z4 Zemin Sınıfı İçin, Gerilme Etkin ve Güçlü Kolon Tasarımı Dikkate Alınmayan Sistemin Performans Değerlendirmesi 76
Tablo 4.15 Z4 Zemin Sınıfı İçin, Gerilme Etkin ve Güçlü Kolon Tasarımı Dikkate Alınan Sistemin Performans Değerlendirmesi 77
Tablo 4.16 Z2 Zemin Sınıfı İçin, Kompakt Olmayan Kesit ve Güçlü Kolon Tasarımı Dikkate Alınan Sistemin Performans Değerlendirmesi 77
Tablo 4.17 Z2 Zemin Sınıfı İçin, Kompakt Olm. Kesit, Güçlü Kolon Tasarımı Dikkate Alınmayan Sistemin Performans Değerlendirmesi (R=5) ... 77

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1 : Deprem Yükü Azaltma Katsayısı 5
Şekil 2.2 : Yapı Sistemlerinin Doğrusal Olmama Nedenleri 6
Şekil 2.3 : Çeşitli Teorilere Göre Elde Edilen Yük Parametresi-Yerdeğiştirme Bağıntıları 7
Şekil 2.4 : Dış Kuvvetler Etkisindeki Katı Cisim 9
Şekil 2.5 : Şematik Yük Parametresi – Şekildeğiştirme Diyagramı 9
Şekil 2.6 : İdeal Malzemeler 10
Şekil 2.7 : Yapı Çeliklerinde σ-ε Diyagramı 11
Şekil 2.8 : Yapı Çeliğinin σ-ε Diyagramlarının İdealleştirilmesi 12
Şekil 2.9 : Düzlem Çubuk Elemanda İç Kuvvetler ve Şekildeğiştirmeler 12
Şekil 2.10 : Bünye Denklemlerinin Eğri Grupları Halinde Gösterilimi 14
Şekil 2.11 : Akma Eğrisi (Karşılıklı Etki Diyagramı) 14
Şekil 2.12 : Basit Eğilme Halinde Eğilme Momenti – Eğrilik Diyagramı .. 15
Şekil 2.13 : İdeal Elastoplastik Malzemede σ–ε Diyagramı 16
Şekil 2.14 : Artan Eğilme Momentinden Oluşan Şekildeğiştirme ve Gerilme Durumları 17
Şekil 2.15 : Eğilme Momenti – Eğrilik $(M-\chi)$ Diyagramı 18
Şekil 2.16 : **I** Kesiti ve Dikdörtgen kutu kesit 19
Şekil 2.17 : Çeşitli Kesitlerde $M-\chi$ Diyagramları 20
Şekil 2.18 : Kuvvetli Eksen Etrafında Eğilen **I** Kesiti 21
Şekil 2.19 : Zayıf Eksen Etrafında Eğilen **I** Kesiti 21
Şekil 2.20 : Kuvvetli Eksen Etrafında Eğilen **I** Kesitlerinde $\chi = F_1(M,N)$ Bünye Bağıntıları 22
Şekil 2.21 : Kuvvetli Eksen Etrafında Eğilen **I** Kesitlerinde Akma Eğrileri 22
Şekil 2.22 : Akma Eğrisi ve Akma Vektörü 23
Şekil 2.23 : Eğilme Momenti - Eğrilik Diyagramı 25
Şekil 2.24 : Doğrusal Olmayan Şekildeğiştirmeler 26
Şekil 2.25 : İdealleştirilmiş Bünye Bağıntısı 27
Şekil 2.26 : Plastik Mafsal Boyu 28
Şekil 2.27 : Plastik Mafsal Hipotezinin Geçerli Olduğu Bir Yapı Sisteminin Artan Yükler Altındaki Davranışı 29
Şekil 2.28 : Tümsel ve Bölgesel Mekanizma Durumları 30
Şekil 2.29 : Yerdeğiştirmelerin Hesabı 31
Şekil 2.30 : Birim Yüklemede Kısaltma Teoreminin Uygulanması 31
Şekil 2.31 : Plastik Mafsalların Dönmelerinin Bulunması 32

Sayfa No

Şekil 3.1 : Kapasite Eğrisinde Performans Seviyeleri ve Aralıkları 36
Şekil 3.2 : Kapasite Spektrumu Yöntemi ile Performans Noktasının Belirlenmesi 42
Şekil 3.3 : Doğrusal Olmayan Teori ile Kapasite Eğrisinin Elde Edilmesi 43
Şekil 3.4 : Kapasite Eğrisinin Kapasite Spektrumuna Dönüştürülmesi 43
Şekil 3.5 : Elastik İstem Spektrumunun İvme-Yerdeğiştirme Formatına Dönüştürülmesi 45
Şekil 3.6 : Eşdeğer Viskoz Sönüm Miktarına Bağlı Sönüm Düzeltme Faktörü, κ 47
Şekil 3.7 : Histeretik Sönüme Eşdeğer Viskoz Sönümün Belirlenmesi 47
Şekil 3.8 : İndirgenmiş İstem Spektrumunun Elde Edilmesi 48
Şekil 3.9 : Modal Yerdeğiştirme İsteminin Belirlenmesi ($T \geq T_B$) 51
Şekil 3.10 : Modal Yerdeğiştirme İsteminin Belirlenmesi ($T \leq T_B$) 52
Şekil 4.1 : TDY 98 Deprem Yönetmeliği Spektrum Eğrileri 58
Şekil 4.2 : Yapılan İşlemlerin Akış Şeması 58
Şekil 4.3 : Taşıyıcı Sistemin Geometrik Özellikleri 60
Şekil 4.4 : Katlara Etkiyen Eşdeğer Deprem Yüklerinin Bulunması 64
Şekil 4.5 : Yapı Yükleri ve Deprem Yüklerinin Bulunması 69
Şekil 4.6 : Eğilme Momenti – Dönme Grafiği 73
Şekil A.1 : Z2 Zemin Sınıfı için ve Güçlü Kolon Tasarımı Dikkate Alındığında Enkesit Profilleri ile Gerilme Oranları 85
Şekil A.2 : Z2 Zemin Sınıfı için ve Güçlü Kolon Tasarımı Dikkate Alınmadığında Enkesit Profilleri ile Gerilme Oranları 85
Şekil A.3 : Z3 Zemin Sınıfı için ve Güçlü Kolon Tasarımı Dikkate Alındığında Enkesit Profilleri ile Gerilme Oranları 86
Şekil A.4 : Z3 Zemin Sınıfı için ve Güçlü Kolon Tasarımı Dikkate Alınmadığında Enkesit Profilleri ile Gerilme Oranları 86
Şekil A.5 : Z4 Zemin Sınıfı için, Yerdeğiştirme Etkin ve Güçlü Kolon Tasarımı Dikkate Alınan Sistemin Enkesit Profilleri ile Gerilme Oranları 87
Şekil A.6 : Z4 Zemin Sınıfı için, Yerdeğiştirme Etkin ve Güçlü Kolon Tasarımı Dikkate Alımayan Sistemin Enkesit Profilleri ile Gerilme Oranları 87
Şekil A.7 : Z4 Zemin Sınıfı için, Gerilme Etkin ve Güçlü Kolon Tasarımı Dikkate Alınan Sistemin Enkesit Profilleri ile Gerilme Oranları 88
Şekil A.8 : Z4 Zemin Sınıfı için, Gerilme Etkin ve Güçlü Kolon Tasarımı Dikkate Alınmayan Sistemin Enkesit Profilleri ile Gerilme Oranları 88
Şekil A.9 : Z2 Zemin Sınıfı için, Kompakt Olmayan Kesit ve Güçlü Kolon Tasarımı Dikkate Alınan Sistemin Enkesit Profilleri ile Gerilme Oranları 89
Şekil A.10 : Z2 Zemin Sınıfı için, Kompakt Olmayan Kesit ve Güçlü Kolon Tasarımı Dikkate Alınan Sistemin Enkesitleri 89
Şekil A.11 : Z2 Zemin Sınıfı için ve Güçlü Kolon Tasarımı Dikkate Alınmadığında Enkesit Profilleri ile Gerilme Oranları (R=5).. 90
Şekil A.12 : Z3 Zemin Sınıfı için ve Güçlü Kolon Tasarımı Dikkate Alınmadığında Enkesit Profilleri ile Gerilme Oranları (R=5).. 90

Sayfa No

Şekil A.13 : Z2 Zemin Sınıfı için, Kompakt Olmayan Kesit ve Güçlü Kolon Tasarımı Dikkate Alınmayan Sistemin Enkesit Profilleri ile Gerilme Oranları (R=5) 91

Şekil A.14 : Z2 Zemin Sınıfı için, Kompakt Olmayan Kesit ve Güçlü Kolon Tasarımı Dikkate Alınmayan Sistemin Enkesitleri (R=5) 91

Şekil B.1 : **IPE**, **IPEO** ve **HEB** Enkesit Profilleri İçin EğilmeMomenti–Dönme Grafiği 93

Şekil B.2 : **KR**, **KLA** ve **KLB** Enkesit Profilleri İçin Eğilme Momenti–Dönme Grafiği 93

Şekil B.3 : **HEA** Enkesit Profilleri İçin Eğilme Momenti–Dönme Grafikleri 94

Şekil C.1 : Z2 Zemin Sınıfı İçin CSM Yöntemine Göre Performans Noktasının Bulunması 96

Şekil C.2 : Z2 Zemin Sınıfı İçin ve Güçlü Kolon Tasarımı Dikkate Alınan Sistemde CSM Yöntemine Göre Performans Noktasının Bulunması 97

Şekil C.3 : Z2 Zemin Sınıfı İçin ve Güçlü Kolon Tasarımı Dikkate Alınmayan Sistemde CSM Yöntemine Göre Performans Noktasının Bulunması 98

Şekil C.4 : Z3 Zemin Sınıfı İçin CSM Yöntemine Göre Performans Noktasının Bulunması 99

Şekil C.5 : Z3 Zemin Sınıfı İçin ve Güçlü Kolon Tasarımı Dikkate Alınan Sistemde CSM Yöntemine Göre Performans Noktasının Bulunması 100

Şekil C.6 : Z3 Zemin Sınıfı İçin ve Güçlü Kolon Tasarımı Dikkate Alınmayan Sistemde CSM Yöntemine Göre Performans Noktasının Bulunması 101

Şekil C.7 : Z4 Zemin Sınıfı İçin ve Yerdeğiştirme Etkin Tasarıma Göre CSM Yöntemine Göre Performans Noktasının Bulunması”..... 102

Şekil C.8 : Z4 Zemin Sınıfı İçin, Yerdeğiştirme Etkin ve Güçlü Kolon Tasarımı Dikkate Alınan Sistemde CSM Yöntemine Göre Performans Noktasının Bulunması 103

Şekil C.9 : Z4 Zemin Sınıfı İçin, Yerdeğiştirme Etkin ve Güçlü Kolon Tasarımı Dikkate Alınmayan Sistemde CSM Yöntemine Göre Performans Noktasının Bulunması 104

Şekil C.10 : Z4 Zemin Sınıfı İçin ve Gerilme Etkin Tasarıma Göre CSM Yöntemine Göre Performans Noktasının Bulunması 105

Şekil C.11 : Z4 Zemin Sınıfı İçin, Gerilme Etkin ve Güçlü Kolon Tasarımı Dikkate Alınan Sistemde CSM Yöntemine Göre Performans Noktasının Bulunması 106

Şekil C.12 : Z4 Zemin Sınıfı İçin, Gerilme Etkin ve Güçlü Kolon Tasarımı Dikkate Alınmayan Sistemde CSM Yöntemine Göre Performans Noktasının Bulunması 107

Şekil C.13 : Z2 Zemin Sınıfı İçin Kompakt Olan/Olmayan Kesit ve Güçlü Kolon Tasarımı Dikkate Alınan Sistemde CSM Yöntemine Göre Performans Noktasının Bulunması 108

Sayfa No

Şekil C.14 : Z2 Zemin Sınıfı İçin, Kompakt Olmayan Kesit ve Güçlü Kolon Tasarımı Dikkate Alınan Sistemde CSM Yöntemine Göre Performans Noktasının Bulunması 109

Şekil C.15 : Z2 Zemin Sınıfı İçin TDY-05 Yöntemine Göre Performans Noktalarının Bulunması 110

Şekil C.16 : Z3 Zemin Sınıfı İçin TDY-05 Yöntemine Göre Performans Noktalarının Bulunması 111

Şekil C.17 : Z4 Zemin Sınıfı İçin ve Yerdeğiştirme Etkin Tasarımda TDY-05 Yöntemine Göre Performans Noktalarının Bulunması 112

Şekil C.18 : Z4 Zemin Sınıfı İçin ve Gerilme Etkin Tasarımda TDY-05 Yöntemine Göre Performans Noktalarının Bulunması 113

Şekil C.19 : Z2 Zemin Sınıfı İçin CSM Yöntemine Göre Performans Noktalarının Karşılaştırılması 114

Şekil C.20 : Z2 Zemin Sınıfı İçin ve Güçlü Kolon Tasarımı Dikkate Alınmayan Sistemde CSM Yöntemine Göre Performans Noktasının Bulunması (R=5) 115

Şekil C.21 : Z3 Zemin Sınıfı İçin CSM Yöntemine Göre Performans Noktalarının Karşılaştırılması 116

Şekil C.22 : Z3 Zemin Sınıfı İçin ve Güçlü Kolon Tasarımı Dikkate Alınmayan Sistemde CSM Yöntemine Göre Performans Noktasının Bulunması (R=5) 117

Şekil C.23 : Z2 Zemin Sınıfı ve Kompakt Olmayan Kesit Tasarımı İçin CSM Yöntemine Göre Performans Noktalarının Karşılaştırılması 118

Şekil C.24 : Z2 Zemin Sınıfı ve Kompakt Olmayan Kesit İçin ve Güçlü Kolon Tasarımı Dikkate Alınmayan Sistemde CSM Yöntemine Göre Performans Noktasının Bulunması (R=5) 119

Şekil D.1 : Z2 Zemin Sınıfı için ve Güçlü Kolon Tasarımı Dikkate Alındığında, CSM Yöntemine Göre Eleman Performans Seviyeleri 121

Şekil D.2 : Z2 Zemin Sınıfı için ve Güçlü Kolon Tasarımı Dikkate Alındığında, TDY-05 Yöntemine Göre Eleman Performans Seviyeleri 121

Şekil D.3 : Z2 Zemin Sınıfı için ve Güçlü Kolon Tasarımı Dikkate Alınmadığında, CSM Yöntemine Göre Eleman Performans Seviyeleri 122

Şekil D.4 : Z2 Zemin Sınıfı için ve Güçlü Kolon Tasarımı Dikkate Alınmadığında, TDY-05 Yöntemine Göre Eleman Performans Seviyeleri 122

Şekil D.5 : Z3 Zemin Sınıfı için ve Güçlü Kolon Tasarımı Dikkate Alındığında, CSM Yöntemine Göre Eleman Performans Seviyeleri 123

Şekil D.6 : Z3 Zemin Sınıfı için ve Güçlü Kolon Tasarımı Dikkate Alındığında, TDY-05 Yöntemine Göre Eleman Performans Seviyeleri 123

Sayfa No

Şekil D.7 : Z3 Zemin Sınıfı için ve Güçlü Kolon Tasarımı Dikkate Alınmadığında, CSM Yöntemine Göre Eleman Performans Seviyeleri 124

Şekil D.8 : Z3 Zemin Sınıfı için ve Güçlü Kolon Tasarımı Dikkate Alınmadığında, TDY-05 Yöntemine Göre Eleman Performans Seviyeleri 124

Şekil D.9 : Z4 Zemin Sınıfı için, Yerdeğiştirme Etkin ve Güçlü Kolon Tasarımı Dikkate Alındığında, CSM Yöntemine Göre Eleman Performans Seviyeleri 125

Şekil D.10 : Z4 Zemin Sınıfı için, Yerdeğiştirme Etkin ve Güçlü Kolon Tasarımı Dikkate Alındığında, TDY-05 Yöntemine Göre Eleman Performans Seviyeleri 125

Şekil D.11 : Z4 Zemin Sınıfı için, Yerdeğiştirme Etkin ve Güçlü Kolon Tasarımı Dikkate Alınmadığında, CSM Yöntemine Göre Eleman Performans Seviyeleri 126

Şekil D.12 : Z4 Zemin Sınıfı için, Yerdeğiştirme Etkin ve Güçlü Kolon Tasarımı Dikkate Alınmadığında, TDY-05 Yöntemine Göre Eleman Performans Seviyeleri 126

Şekil D.13 : Z4 Zemin Sınıfı için, Gerilme Etkin ve Güçlü Kolon Tasarımı Dikkate Alındığında, CSM Yöntemine Göre Eleman Performans Seviyeleri 127

Şekil D.14 : Z4 Zemin Sınıfı için, Gerilme Etkin ve Güçlü Kolon Tasarımı Dikkate Alındığında, TDY-05 Yöntemine Göre Eleman Performans Seviyeleri 127

Şekil D.15 : Z4 Zemin Sınıfı için, Gerilme Etkin ve Güçlü Kolon Tasarımı Dikkate Alınmadığında, CSM Yöntemine Göre Eleman Performans Seviyeleri 128

Şekil D.16 : Z4 Zemin Sınıfı için, Gerilme Etkin ve Güçlü Kolon Tasarımı Dikkate Alınmadığında, TDY-05 Yöntemine Göre Eleman Performans Seviyeleri 128

Şekil D.17 : Z2 Zemin Sınıfı için, Kompakt Olmayan Kesit ve Güçlü Kolon Tasarımı Dikkate Alındığında, CSM Yöntemine Göre Eleman Performans Seviyeleri 129

Şekil D.18 : Z2 Zemin Sınıfı için, Kompakt Olmayan Kesit ve Güçlü Kolon Tasarımı Dikkate Alındığında, TDY-05 Yöntemine Göre Eleman Performans Seviyeleri 129

Şekil D.19 : Z2 Zemin Sınıfı için ve Güçlü Kolon Tasarımı Dikkate Alınmadığında, CSM Yöntemine Göre Eleman Performans Seviyeleri (R=5) 130

Şekil D.20 : Z3 Zemin Sınıfı için ve Güçlü Kolon Tasarımı Dikkate Alınmadığında, CSM Yöntemine Göre Eleman Performans Seviyeleri (R=5) 130

Şekil D.21 : Z2 Zemin Sınıfı için, Kompakt Olmayan Kesit ve Güçlü Kolon Tasarımı Dikkate Alınmadığında, CSM Yöntemine Göre Eleman Performans Seviyeleri (R=5) 131

SEMBOL LİSTESİ

$A(T_1)$: T_1 periyot değerindeki spektral ivme katsayısı
A_0 : Etkin yer ivmesi katsayısı
a_{pi} : İki parçalı olarak idealleştirilen kapasite eğrisinin, gerçek kapasite eğrisini kestiği noktanın spektral ivme değeri
a_y : İki parçalı olarak idealleştirilen kapasite eğrisinin, gerçek kapasite eğrisinin başlangıç teğetini kestiği noktanın spektral ivme değeri
$a_{y,1}$: Eşdeğer akma noktasının ivme değeri
$a_{y,1}^{(i)}$: Performans noktasını bulunurken, eşdeğer akma noktasının ardışık yaklaşım adımlarının ivme değeri
a_1, $S_{a,1}$: Modal sözde ivme
b : Enkesit profili başlık levhası genişliği
C_m : Yanal harekete serbest olan çerçeve kolonlarında değeri 0.85' e eşit olan bir katsayı
$C_{R,1}$: Yerdeğiştirme oranı
d : Enkesit yüksekliği
$\vec{d}(\chi,\varepsilon)$: Plastik şekildeğiştirme (akma) vektörü
$\vec{d}$: Akma vektörünün şiddetini belirleyen bir katsayı
d_{pi} : İki parçalı olarak idealleştirilen kapasite eğrisinin, gerçek kapasite eğrisini kestiği noktanın spektral yerdeğiştirme değeri
d_y : İki parçalı olarak idealleştirilen kapasite eğrisinin, gerçek kapasite eğrisinin başlangıç teğetini kestiği noktanın spektral yerdeğiştirme değeri
d_1, $S_{d,1}$: Modal yerdeğiştirme
E : Çeliğin elastisite modülü
e : Güvenlik katsayısı
E_D : Sönümleme esnasında yutulan enerji
E_{S0} : Maksimum şekildeğiştirme enerjisi
f : Şekil katsayısı
$F_i(M,N,T)$: Malzeme karakteristiklerine ve enkesit özelliklerine bağlı doğrusal olmayan fonksiyonlar
F_i : Kütlelerin toplandığı varsayılan noktalara etkiyen eşdeğer deprem yükleri
g : Yerçekimi ivmesi, sabit yük
g_k : Normal kat ölü yük
$g_ç$: Çatı katı ölü yük
g_i : Yapının i' inci katındaki sabit yük
H : Yapının temel üst kotundan ölçülen yüksekliği
h : Enkesit profil yüksekliği
H_i : Yapının i' inci katının temel üst kotundan ölçülen yüksekliği
I : Yapı önem katsayısı

i_b : Eğilmenin meydana geldiği düzleme dik eksene göre atalet yarıçapı
K : Eğilme düzlemindeki etkin burkulma boyu katsayısı
K_0 : Kapasite eğrisinde başlangıç rijitliği
$K_1(\chi,\varepsilon,\gamma)$: Akma (kırılma) eğrisi veya karşılıklı etki diyagramını şekildeğiştirmelere bağlı olarak ifade eden fonksiyon
$K_1(M,N,T)$: Akma (kırılma) eğrisi veya karşılıklı etki diyagramını kesit zorlarına bağlı olarak ifade eden fonksiyon
K_{eff} : Kapasite eğrisinde performans noktasındaki etkili rijitlik
lp : Plastik mafsal boyu
M : Eğilme momenti kesit tesiri
M_e : Kesitin doğrusal-elastik olarak taşıyabileceği en büyük eğilme momenti
$M_{p,}$: Kesitin eğilme momenti taşıma gücü (plastik moment)
M_p : İndirgenmiş plastik moment
N : Normal kuvvet kesit tesiri, Yapının kat adedi
n : Hareketli yük katılım katsayısı
Np : Kesitin normal kuvvet taşıma gücü (plastik normal kuvvet)
P : Yatay Kuvvet
P_B : Doğrusal-elastik burkulma yükü
P_{cr} : Kritik yük
PF_1 : Modal katılım çarpanı
P_G : Göçme yükü
P_i : i nolu kattaki toplam düşey yük
P_{L1} : Birinci mertebe limit yük
P_{L2} : İkinci mertebe limit yük
P-Δ : Yük Parametresi – yerdeğiştirme
P-Δl : Yük parametresi – şekildeğiştirme
q_k : Normal kat hareketli yük
$q_ç$: Çatı katı hareketli yük
q : hareketli yük
q_i : Yapının i' inci katındaki hareketli yük
R : Taşıyıcı sistem davranış katsayısı
$R_a(T_1)$: T_1 periyot değerindeki deprem yükü azaltma katsayısı
$R_{y,1}$: Birinci moda ait dayanım azaltma katsayısı
$S(T_1)$: T_1 periyot değerindeki elastik tasarım ivme spektrum değeri
S_a : Spektral ivme
$S_{ae,1}$: Eşlenik doğrusal sisteme ait doğrusal elastik spektral ivme
S_{ao} : Dönüştürülmüş spektrum eğrisinin yatay kolunun ivme değeri
s_b : Eğilme düzlemindeki serbest boy
S_d : Spektral yerdeğiştirme
$S_{de,1}$: Eşlenik doğrusal elastik sisteme ait doğrusal elastik spektral yerdeğiştirme
$S_{di,1}$: Doğrusal elastik olmayan spektral yerdeğiştirme
SR_A : Elastik istem spektrumunun yatay koluna uygulanacak indirgeme katsayısı
SR_V : Elastik istem spektrumunun azalan koluna uygulanacak indirgeme katsayısı
T : Kesme kuvveti kesit tesiri, yapının birinci normal moduna ait doğal periyot

t : Kesite etkiyen düzgün sıcaklık değişmesi
T_1 : Yapının birinci doğal titreşim periyodu
T_A, T_B : Zemin karakteristik periyotları
t_b : Enkesit profili başlık levhası et kalınlığı
t_w : Enkesit profili gövde levhası et kalınlığı
V : Toplam yatay kuvvet (taban kesme kuvveti)
V_i : i nolu kata ait kesme kuvveti
V_T : Yapının tümüne etkiyen toplam eşdeğer deprem yükü, taban kesme kuvveti
W : Kesitin elastik mukavemet momenti, Yapının deprem sırasındaki toplam ağırlığı
w_i : Yapının i' inci katının toplam ağırlığı
Wp : Kesitin plastik mukavemet momenti
Z2, Z3, Z4 : Zemin sınıfları
α_1 : Birinci doğal moda ait modal kütle katsayısı
α_t : Sıcaklık genleşme katsayısı
β_0 : Eşdeğer viskoz sönüm cinsinden ifade edilen histeritik sönüm
β_{eff} : Yüzde olarak ifade edilen etkili sönüm oranı
χ : Birim dönme (eğrilik)
χ_p : Kesitin eğilme momentine karşı gelen birim dönme
$\chi_{p,maks}$: En büyük eğrilik
$\Delta_{çatı}$: Tepe noktası yer değiştirmesi (çatı yer değiştirmesi)
ΔF_N : Ek eşdeğer deprem yükü
Δl_l : Lineer şekildeğiştirmeler
Δl_{p1} ve Δl_{p2} : Lineer olmayan şekildeğiştirmeler
Δt : Kesite etkiyen farklı sıcaklık değişmesi
δ : yatay yerdeğiştirme
δ_i : i' inci katın yatay yerdeğiştirmesi
δ_{maks} : Yapının tepe noktası yatay yerdeğiştirmesi
ε : Birim boy değişmesi
ε_e : Akma şekildeğiştirmesi
ϕ_1 : Elastik birinci mod şekli vektörü
$\phi_{i,1}$: Birinci moda ait (i) nolu kattaki genlik
$\phi_{tepe,1}$: Birinci normal moda ait en üst kattaki genlik
γ : Birim kayma
$\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_4$: Plastik mafsal dönmeleri
φ : Kesitin dönmesi
φ_p : Plastik mafsalın dönmesi
κ : Yapının taşıyıcı sisteminin davranışı ve depremin süresine bağlı olarak değişen bir katsayı
$maks\varphi_p$: Plastik mafsalın dönme kapasitesi
θ : Birim dönme
θ_p , θ_y : Kesitin akma gerilmesi değerindeki birim dönme
σ_b : Eğilme momentine göre hesaplanan gerilme
σ_e : Akma gerilmesi

σ_{eb} : Eğilme düzlemindeki etkin burkulma boyu katsayısı

σ_k : Kopma gerilmesi

σ_p : Orantı sınırı

ω_1 : Birinci moda ait özdeğer açısal frekansı

ω_b : Zemin karakteristik periyodu T_B' ye ait özdeğer açısal frekansı

μ : Süneklik oranı

ÇOK KATLI ÇELİK ÇERÇEVE SİSTEMLERDE DEPREM PERFORMANSININ BELİRLENMESİ ÜZERİNDE SAYISAL BİR İNCELEME

ÖZET

Yapılar kullanım amaçlarına, yapımları için ayrılan bütçeye, tasarımda uygulanacak kriterlere, inşaat alanının konumuna ve estetik görüşlere bağlı olarak farklı özellikte malzemeler kullanılarak tasarlanabilirler. Bu malzemelerden biri olan çelik, çekmeye ve basınca karşı aynı dayanım özelliklerine sahip, homojen ve izotrop, yük taşıma kapasitesi kendi öz ağırlığına oranla fazla olan, sünek bir malzemedir. Deprem etkilerinin yön değiştiren etkiler olduğu ve binanın ağırlığı ile orantılı olarak arttığı düşünülürse, yukarıda açıklanan özelliklerden dolayı, deprem bölgelerinde yapı malzemesi olarak çeliğin tercih edilmesi daha iyi anlaşılır. Özellikle çok katlı binalarda kat kullanım alanlarının fazla olmasını sağlaması çeliğin diğer bir tercih nedenidir.

Yapı sistemlerinin deprem etkileri altında hesabı, doğrusal ve doğrusal olmayan hesap olarak iki grupta incelenebilir. Doğrusal hesapta, malzemenin doğrusal-elastik ve yerdeğiştirmelerin çok küçük olduğu varsayılmakta, yönetmeliklerde yer alan doğrusal hesap yöntemleri uygulanarak yapı sisteminin analizi ve boyutlandırması yapılmaktadır. Doğrusal olmayan hesapta ise, malzemedeki gerilmelerin doğrusal-elastik bölgeyi aştığı ve yerdeğiştirmelerin çok küçük olmadığı gözönünde tutulmaktadır. Doğrusal olmayan hesap yöntemlerinin doğrusal hesap yöntemlerine göre daha karmaşık olması ve bu yöntemlerle analizin daha çok zaman alması nedeniyle, yönetmeliklerde yapı sisteminin doğrusal olmayan davranışı dolaylı olarak göz önüne alınmaya çalışılmaktadır. Örneğin, doğrusal olmayan şekildeğiştirmeler nedeniyle iç kuvvet dağılımının değişmesi yeniden dağılım ilkesi yardımı ile göz önüne alınmaktadır. Son zamanlarda bilgisayarların hızlanması, bilgisayar hesap yöntemlerinin ve programlarının gelişmesinden dolayı doğrusal olmayan hesap daha kolay yapılabilmektedir.

Bu çalışmada, çok katlı çelik çerçeve sistemlerde deprem performansının belirlenmesi üzerinde parametrik incelemeler yapılmıştır. Seçilen sistemlerin 1998 Türk Deprem Yönetmeliği (TDY-98) ve TS 648 Çelik Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları standardına göre analizi ve boyutlandırması yapılmıştır. Boyutlandırma yapılırken TDY-98' de tanımlanan Z2, Z3 ve Z4 zemin sınıfları için, güçlü kolon tasarımı dikkate alınarak ve alınmayarak altı adet sistem incelenmiştir. Ayrıca Z4 zemin sınıfını için, yerdeğiştirme etkin ve gerilme etkin tasarıma göre ayrı ayrı hesap yapılmıştır. Hesaplanan bu sistemler içinden Z2 zemin sınıfı için ve güçlü kolon tasarımı dikkate alınan sistem seçilerek, kompakt olmayan (yerel burkulma

koşullarını sağlamayan) yapma enkesit profillerine göre boyutlandırılmıştır. Bu sistemlerin performans noktalarının bulunmasında Kapasite Spektrumu Yöntemi (ATC 40) ve TDY-05 Yöntemi (TDY-05) kullanılmış, FEMA 356' ya göre eleman performans seviyeleri belirlenmiş, ATC 40' a göre ise yerdeğiştirme performans değerlendirmesi yapılmıştır. Ayrıca performans noktası bulunan sistemler üzerinde kapasite spektrumu yöntemi ile TDY-05 yöntemi sonuçları karşılaştırılmıştır.

Bu çalışmanın amacı, ülkemizde yürürlükte olan yönetmelik ve standartlara göre boyutlandırılan çelik yapıların deprem performanslarının değerlendirilmesi ve elde edilen sonuçlara dayanarak, yönetmeliklerde yer alan doğrusal davranış esaslı yöntemlerin, doğrusal olmayan teori çerçevesinde irdelenmesidir.

Tez çalışması beş bölümden oluşmaktadır.

Birinci bölüm konunun tanıtılmasına, konu ile ilgili çalışmaların gözden geçirilmesine, çalışmanın amacının ve kapsamının açıklanmasına ayrılmıştır.

İkinci bölümde, yapı sistemlerinin doğrusal olmayan davranışı incelenmekte ve doğrusal olmayan sistemlerin hesap yöntemleri gözden geçirilmektedir.

Üçüncü bölümde, mevcut yapıların deprem performanslarının belirlenmesi ve yeni inşa edilecek olan yapıların depreme dayanıklı olarak tasarımı amacıyla geliştirilen performansa dayalı tasarım ve değerlendirme kavramının açıklanmasına ayrılmıştır.

Dördüncü bölümde sayısal parametrik incelemeler yer almaktadır. Bu bölümde, çok katlı çelik yapı sistemlerini temsil etmek üzere seçilen taşıyıcı sistem modelleri ülkemizde yürürlükte olan yönetmeliklere göre boyutlandırılmış, seçilen sistemlerin elastoplastik davranışları incelenerek deprem performansları, göçme güvenlikleri ve süneklik oranları belirlenmiştir.

Beşinci bölümde, bu çalışmada varılan sonuçlar açıklanmıştır. Çalışmanın başlıca özellikleri, sayısal sonuçların değerlendirilmesi ve konunun olası genişleme alanları bu bölümde sunulmuştur.

Çalışmanın sayısal incelemelerinde elde edilen sonuçların başlıcaları aşağıda özetlenmiştir:

- Ülkemizde yürürlükte olan yönetmeliklere uygun olarak boyutlandırılan yapı sistemlerinin performans seviyeleri, bazı özel haller dışında, hedeflenen düzeydedir.

- Yerdeğiştirme kriterlerine bağlı olarak belirlenen yapı performansı, plastik mafsallardaki plastik dönmeler esas alınarak belirlenen performansa oranla daha elverişsiz sonuç vermektedir.

- Zemin sınıfı Z2 den Z4 e doğru gittikçe, zemin sınıfının özelliklerini göz önüne alacak şekilde boyutlandırma yapılmasına karşılık, yapı performansında azalma meydana gelmektedir.

- 2005 Türk Deprem Yönetmeliği taslağındaki yaklaşım ile elde edilen performans noktalarına ait yatay yerdeğiştirmeler, Kapasite Spektrum Yöntemi ile bulunan performans noktası yerdeğiştirmelerinden daha büyük değerler almaktadır. Her iki yöntem arasındaki fark, zemin sınıfı Z4 e doğru ilerledikçe daha belirgin olmaktadır.

- Yerdeğiştirme sınırlandırması gözönüne alınmaksızın boyutlandırılan yapı sistemlerinde, özellikle yerdeğiştirmeler cinsinden belirlenen performans değerleri daha elverişsiz sonuçlar vermektedir.

- Kapasite eğrisinde göçme noktası esas alınarak hesaplanan R taşıyıcı sistem davranış katsayısı değerleri, güçlü kolon tasarımı dikkate alınan yapılarda 7-8 arasında, güçlü kolon tasarımı dikkate alınmayan yapılarda ise 6-7 arasında değişmektedir.

- Yapı sisteminin yatay yük taşıma kapasitesinin tasarım yatay yüklerine oranı olarak tanımlanan ek dayanım katsayısının değerleri, zemin sınıfına ve güçlü kolon tasarımına bağlı olarak, 3-4 arasında değişmektedir.

- Toplam şekildeğiştirmelerin doğrusal şekildeğiştirmelere oranı olarak tanımlanan süneklik oranı, 1.8-2.7 arasında değişmektedir.

- Güçlü kolon tasarımı dikkate alınan yapılarda süneklik oranı azalmakta, ek dayanım katsayısı artmaktadır. Sonuç olarak, süneklik oranı ile ek dayanım katsayısının çarpımı olarak tanımlanan R taşıyıcı sistem davranış katsayısı artmaktadır.

- Kompakt olmayan kesit tasarımına göre boyutlandırılan binalar için bulunan kapasite eğrisi, kompakt kesit tasarımına göre boyutlandırılan binalarınki ile üst üste çakışmaktadır. Buna karşılık kapasite eğrisi daha kısa kalmakta, kesitin göçmesi daha erken olmaktadır. Ayrıca kompakt olmayan tasarımda kapasite eğrisi yataylaşmadan önce göçme meydana geldiği için, süneklik oranı ve ek dayanım katsayısı değerleri daha küçük olmaktadır.

A NUMERICAL STUDY ON PERFORMANCE-BASED SEISMIC EVALUATION OF MULTISTOREY STEEL BUILDINGS

SUMMARY

Buildings are designed by using different kinds of materials depending on using purposes, construction budget, design criteria, the location of construction area, and aesthetics point of view. Steel, being one of these materials, has same strength properties for tension and compression, is homogeneous and isotropic, has high strength to weight ratio and is a ductile material. By thinking that the earthquake forces have cyclic nature and are proportional to building weight, it can be easily understood why steel is preferred in earthquake active areas, as construction material. Especially, in multistorey buildings, providing large floor areas, makes another preference reason for use of steel.

Building systems under earthquake forces can be investigated by two approaches as linear and nonlinear analysis. In linear analysis, it is assumed that the material is linear-elastic and the displacements are very small. Analysis and design of building is done by linear analysis methods which is takes part in building codes. In nonlinear analysis, the stresses in material exceeds the linear-elastic limit and the displacements are not small. Because nonlinear analysis methods are more complex than linear analysis methods and analysis is time comsuming, in building codes nonlinear behaviour of building structures are tried to be taken into consideration indirectly. For example, change of interior force distribution due to nonlinear deformations is taken into account through redistribution rule. Recently, nonlinear analysis become easier and more practical, regarding to speed of computers, development of computer analysis methods and programs.

In this study, parametric investigations have been carried out to determine the earthquake performance of multistorey steel frame systems. Selected systems are designed and analysed regarding to the 1998 Turkish Seismic Code (TDY-98) and TS 648 Building Code for Steel Structures. By design for Z2, Z3 and Z4 soil profile types defined at TDY-98, six different systems are investigated by considering and omitting strong column design. Furthermore, for soil profile type Z4, different analyses have been done for displacement active and stress active design. The system for Z2 soil profile type and strong column design is selected and designed for built-up section profiles which are not compact (which do not satisfy local buckling criteria). To find the performance points of these systems, Capacity Spectrum Method (ATC 40) and TDY-05 Method (TDY-05) are used, performance levels are determined by FEMA 356, and displacement performance appraisal is done by ATC 40. Furthermore, the results of capacity spectrum method and TDY-05 method on systems having performance point, are compared.

The aim of this study is to evaluate the seismic performance of steel structures designed according to the current codes and standards, and using the results obtained, to criticize the linear theory based codes, in the frame of nonlinear behaviour

The thesis consists of five chapters.

The first chapter of the thesis, covers the description of the subject, examination of the related studies, and the aim and scope of the study.

In the second chapter, the non-linear behaviour of steel framed sructures are studied and the analysis methods of non-linear structural systems are examined in detail.

The third chapter is devoted to the seismic performance evaluation of existing structures and to the explanation of the performance-based design and evaluation concept that is developed for the earthquake resistant design of structures.

Numerical parametric investigations are given in the fourth chapter. In this section, the sample steel frame models selected to represent the multistorey steel buildings that are designed in compliance with the code regulations existing in our country, and after investigating the elastic-plastic behaviour of these structures, the performance points, collapse safety and ductility ratios are determined.

The fifth section covers the explanation of the conclusions accomplished in this study. The main chracteristics of the study, the evaluation of the numerical results of the investigations and possible extensions of the subject are presented in this section.

The basic conclusions of the numerical analyses of the study are summarized below:

- The performance levels of the structural systems designed according to the criteria imposed by the Turkish Earthquake Code is as expected, except in some special cases.

- The structural performance determined according to the lateral displacement criteria gives more unsuitable results when compared to the performance determined according to the plastic rotations criteria in plastic hinges.

- As the soil profile type goes from Z2 to Z4, structural performance level decreases although it is taken into consideration while designing the structure.

- The lateral displacements corresponding to the performance points found by the application of 2005 Turkish Seismic Code, get larger values than the displacements of performance points found by the Capacity Spectrum Method. The difference between the two methods becomes more significant as the soil profile type approaches toward Z4.

- In structural systems designed without taking the displacement limits into consideration, particularly the performance values determined in terms of displacements, gives more inconvenient results.

- The R (coefficient for reduction of elastic spectral response for design) values calculated on the basis of the collapse point in capacity curve, change between 7 and 8 for buildings for which strong column design is considered and between 6 and 7 for buildings which do not consider strong column design.

- The overstrength factor, that is described as the ratio of the lateral load carrying capacity of structural system to the design lateral loads, varies between 3 and 4 according to the soil profile type and strong column design.

- Ductility ratio, which is defined as the ratio of total deformations to linear deformations, is between 1.8 and 2.7.

- For buildings designed according to the strong column criteria, the ductility ratio is decreases while the overstrength ratio increases. Finally, R coefficient for reduction of elastic spectral response for design, which is defined as the multiplication of ductility ratio and overstrength ratio, increases.

- Capacity curve for buildings designed according to the non-compact section design is same as the capacity curve for the buildings designed according to the compact section design. However, capacity curve becomes short and section collapses earlier. Furthermore, for non-compact design, because the collapse occurs before capacity curve becomes horizontal, ductility ratio and overstrength ratio values have lower values.

1 GİRİŞ

1.1 Konu

Her yıl yaklaşık 10.000 kişi depremden dolayı hayatını kaybetmektedir. UNESCO' nun yaptığı bir araştırmaya göre, 1926 ile 1950 yılları arasında depremlerden ötürü yaklaşık $10.000.000.000 maddi zarar oluşmuştur. Ülkemizde meydana gelen 1999 Marmara depreminde de, yaklaşık 18.000 can kaybı ve 100.000 konutta ağır hasar meydana gelmiştir. Depremlerden kaynaklanan bu hasar ve kayıplar, deprem afetinin insan hayatıyla ne kadar yakından ilgili olduğunu kanıtlamaktadır.

Ülkemizin aktif bir deprem kuşağının içinde yer alması, tarihte meydana gelen depremlerden dolayı büyük maddi hasarlar meydana gelmesi ve çok fazla can kayıplarının olması, binaların depreme karşı dayanıklı, yeterli güvenlikte ve ekonomik olarak tasarımının önemini vurgulamaktadır. Sismoloji bilimi ve yapı mühendisliğindeki gelişmeler, örneğin hassas sismografların yapılması, bilgisayarların hızlanması ve malzeme bilimindeki gelişmeler, mühendislerin deprem hareketini ve depremin yapılar üzerindeki etkilerini daha gerçekçi ve aslına uygun olarak belirlemesine katkıda bulunmaktadır. Bu gelişmeler, yapı sistemlerinin deprem sırasındaki doğrusal olmayan davranışlarının daha yakından izlenmesine ve gerçek göçme güvenliklerinin belirlenmesine olanak sağlamaktadır.

Ülkemizde, özellikle 1999 Marmara depreminden sonra, yatırımcıların çelik binalara olan ilgisi giderek artmaktadır. Bu durum, diğer yapı sistemlerinin yanında, çelik yapıların ve özellikle çok katlı çelik binaların deprem performanslarının yerdeğiştirmeye bağlı kriterler çerçevesinde değerlendirilmesinin ve deprem yönetmeliklerinin bu açıdan irdelenmesinin önemini ortaya koymaktadır.

1.2 Konu ile İlgili Yapılan Çalışmalar

Yerdeğiştirmeye bağlı performans kriterlerini esas alan yapısal değerlendirme ve tasarım kavramı, özellikle son yıllarda Amerika Birleşik Devletleri'nin deprem bölgelerindeki mevcut yapıların deprem güvenliklerinin daha gerçekçi olarak belirlenmesi ve yeterli güvenlikte olmayan yapıların güçlendirilmeleri çalışmaları sırasında ortaya konulmuş ve geliştirilmiştir.

Amerika Birleşik Devletleri' nin California eyaletinde, 1989 Loma Prieta ve 1994 Northridge depremlerinin neden olduğu büyük hasar, deprem etkileri altında yeterli bir dayanımı öngören performans kriterlerine alternatif olarak, yerdeğiştirmeye bağlı daha gerçekçi performans kriterlerini esas alan yöntemlerin geliştirilmesi gereksinimini ortaya çıkarmıştır.

Bu gereksinimi karşılamaya yönelik olarak, Applied Technology Council (ATC) tarafından *Guidelines and Commentary for Seismic Rehabilitation of Buildings* - **ATC 40** [1] projesi ve Federal Emergency Management Agency (FEMA) tarafından *NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings* - **FEMA 273** [2], **FEMA 356** [3] yayınları gerçekleştirilmiştir. Daha sonra, bu çalışmaların sonuçlarının irdelenerek geliştirilmesi amacıyla ATC 55 projesi yürütülmüş ve projenin bulgularını içeren **FEMA 440** [4] taslak raporu hazırlanmıştır. Bu organizasyonların yanında, Building Seismic Safety Council (BSSC), American Society of Civil Engineers (ASCE) ve Earthquake Engineering Research Center of University of California at Berkeley (EERC-UCB) tarafından yürütülen diğer projeler de bu alandaki araştırmalara katkı sağlamaktadır.

Ülkemizde, özellikle 1999 Adapazarı-Kocaeli ve Düzce depremlerinin ardından, mevcut yapıların deprem güvenliklerinin belirlenmesine ve yeterli deprem güvenliğine sahip olmayan yapıların güçlendirilmesine yönelik olarak pratik uygulamalar yapılmaktadır. Ancak, diğer bir çok ülkede olduğu gibi ülkemizde de mevcut yapıların deprem güvenliklerinin belirlenmesine yönelik bir yönetmeliğin henüz mevcut olmaması nedeniyle, bu uygulamaların önemli bir bölümü yeni yapılacak yapılar için geçerli yönetmelik (1998 Türk Deprem Yönetmeliği) esas alınarak gerçekleştirilmektedir. Bu durumun oluşturduğu sakıncaları ortadan kaldırmak amacıyla, 2003 yılında, deprem yönetmeliğine mevcut binaların deprem güvenliklerinin belirlenmesi ve güçlendirilmesi ile ilgili bir bölüm (Bölüm 13) eklenmesi ve buna paralel olarak yönetmeliğin diğer bölümlerinin de güncelleştirilmesi çalışmaları başlatılmıştır .

1.3 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Bu çalışmanın amacı, ülkemizde yürürlükte olan yönetmelik ve standartlara göre boyutlandırılan çelik yapıların deprem performanslarının değerlendirilmesi ve elde edilen sonuçlara dayanarak, yönetmeliklerde yer alan doğrusal davranış esaslı yöntemlerin, doğrusal olmayan teori çerçevesinde irdelenmesidir.

Bu amaca yönelik olarak, çok katlı çelik yapı sistemlerini temsil etmek üzere seçilen taşıyıcı sistem modelleri, ülkemizde yürürlükte olan yönetmeliklere göre boyutlandırılmış, daha sonra, boyutlandırılan yapı sistemleri düşey işletme yükleri altında, eşdeğer statik kuvvetler ile temsil edilen ve monoton artan yatay deprem etkileri için, malzeme bakımından lineer olmayan teoriye göre hesaplanarak elastoplastik davranışları ayrıntılı olarak incelenmiş, göçme yükleri ve süneklik oranları belirlenmiştir.

Çalışmada izlenen yol aşağıdaki adımlardan oluşmaktadır:

- Yapı sistemlerinin doğrusal olmayan davranışlarının incelenmesi ve doğrusal olmayan sistemlerin hesap yöntemlerinin gözden geçirilmesi.

- Mevcut yapıların deprem performanslarının belirlenmesi ve yeni inşa edilecek olan yapıların depreme dayanıklı olarak tasarımı amacıyla geliştirilen performansa dayalı tasarım ve değerlendirme kavramının ATC 40 ve TDY 05 [5] dökümanlarındaki uygulamaları ile çok katlı çelik çerçeve sistemler için FEMA 356 da verilen modelleme parametreleri ve plastik şekildeğiştirme kapasiteleri hakkında bilgi verilmesi.

- Çok katlı çelik çerçeve sistemlerini temsil etmek üzere seçilen taşıyıcı sistem modellerinin, ülkemizde yürürlükte olan yönetmeliklere göre boyutlandırılmaları, seçilen sistemlerin elastoplastik davranışlarının çeşitli yaklaşımlar ile incelenerek performans noktalarının, göçme güvenliklerinin ve süneklik oranlarının belirlenmesi.

- Çalışmanın başlıca özelliklerinin belirtilmesi, sayısal sonuçların değerlendirilmesi ve konunun olası genişleme alanları konusunda önerilerin oluşturulması.

2 ÇELİK YAPI SİSTEMLERİNİN MALZEME BAKIMINDAN DOĞRUSAL OLMAYAN DAVRANIŞI

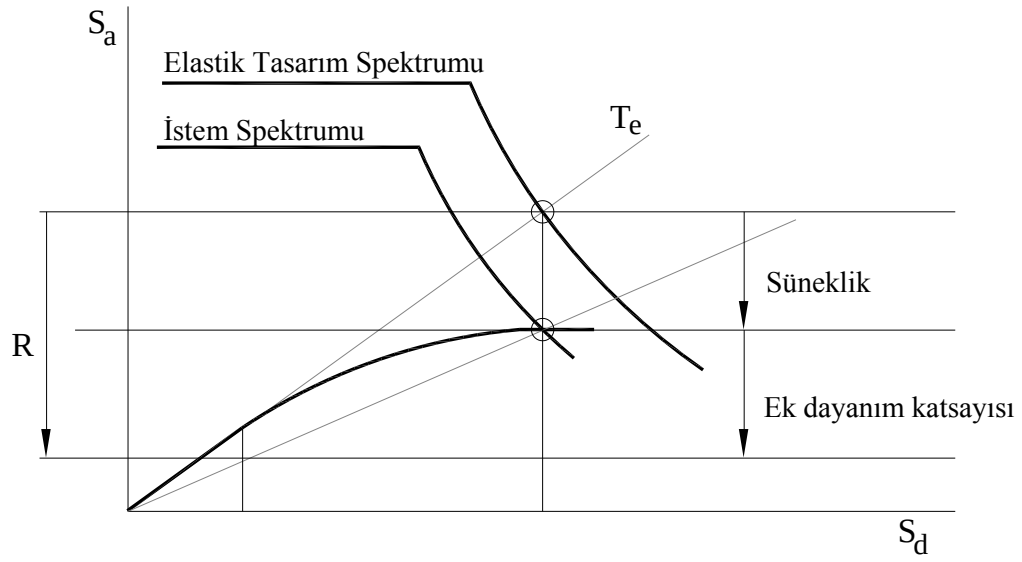
2.1 Yapı Sistemlerinin Doğrusal Olmayan Davranışı

Bazı özel durumların dışında, yapı sistemleri işletme yükleri altında genellikle doğrusal davranış gösterirler. Bu genel durumun dışında kalan sistemler arasında narin yapılar ve elastik zemine oturan sistemler ile bölgesel zayıflıklar ve stabilite yetersizlikleri içeren yapılar sayılabilir.

Doğrusal sistem davranışını esas alan analiz yöntemlerinde, malzemenin gerilme-şekildeğiştirme bağıntıları doğrusal-elastik olarak alınmakta ve yerdeğiştirmelerin çok küçük olduğu varsayılmaktadır.

Buna karşılık, dış etkiler işletme yükü sınırını aşarak yapının taşıma gücüne yaklaştıkça, gerilmeler doğrusal-elastik sınırı aşmakta ve yerdeğiştirmeler çok küçük kabul edilemeyecek değerler almaktadır.

Günümüzde yapı mühendisliğinde genellikle uygulanmakta olan ve doğrusal teoriye göre sistem analizine dayanan tasarım yaklaşımlarda (güvenlik gerilmeleri esasına göre tasarım ve taşıma gücü yöntemine göre tasarım), yapı sisteminin doğrusal olmayan davranışı çeşitli şekillerde göz önüne alınmaya çalışılmaktadır. Örneğin, ikinci mertebe etkilerini hesaba katmak ve burkulmaya karşı güvenlik sağlamak amacıyla, moment büyütme yönteminden ve burkulma katsayılarından yararlanılmakta, doğrusal olmayan şekildeğiştirmeler nedeniyle iç kuvvet dağılımının değişmesi yeniden dağılım ilkesi yardımı ile gözönüne alınmaya çalışılmaktadır. Diğer taraftan, deprem etkilerine göre hesapta malzemenin doğrusal-elastik sınır ötesindeki davranışını hesaba katmak üzere, taşıyıcı sistem davranış katsayısı tanımlanmakta ve elastik deprem yükleri bu katsayıya bağlı bir deprem yükü azaltma katsayısı ile bölünerek küçültülmektedir, Şekil 2.1.



Şekil 2.1 Deprem Yükü Azaltma Katsayısı

Yapı malzemelerinin doğrusal-elastik sınır ötesindeki taşıma kapasitesini gözönüne almak, çok küçük olmayan yerdeğiştirmelerin denge denklemlerine ve gerekli olduğu hallerde geometrik uygunluk koşullarına etkilerini hesaba katmak suretiyle, yapı sistemlerinin dış etkiler altındaki davranışlarının daha yakından izlenmesi ve bunun sonucunda daha gerçekçi ve ekonomik çözümler elde edilmesi mümkün olabilmektedir.

Doğrusal olmayan sistem davranışını esas alan hesap yöntemlerinin geliştirilmesinde ve uygulanmasında genel olarak iki durum ile karşılaşılmaktadır. Bunlardan birincisi, yapı sisteminin doğrusal olmamasına neden olan etkenlerin belirlenerek sistem davranışını gerçeğe yakın bir şekilde temsil eden bir hesap modelinin oluşturulması, diğeri ise bu hesap modelinin analizi sonucunda elde edilen doğrusal olmayan denklem sisteminin etkin bir şekilde çözülmesidir.

2.1.1 Çözümün Sağlaması Gereken Koşullar

Bir yapı sisteminin dış etkiler altında analizi ile elde edilen iç kuvvetler, şekildeğiştirmeler ve yerdeğiştirmelerin çözüm olabilmeleri için aşağıdaki üç koşulu bir arada sağlamaları gerekmektedir, [6].

1- Bünye denklemleri: Malzemenin cinsine ve özelliklerine bağlı olan gerilme-şekildeğiştirme bağlantılarına bünye denklemleri denilmektedir.

2- Denge koşulları: Sistemi oluşturan elemanların ve bu elemanların birleştiği düğüm noktalarının denge denklemlerinden oluşmaktadır.

3- Geometrik uygunluk koşulları: Elemanların ve düğüm noktalarının geometrik süreklilik denklemleri ile mesnetlerdeki geometrik sınır koşullardır.

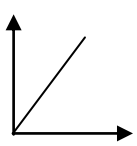
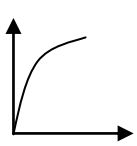
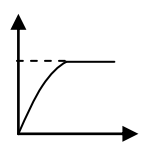
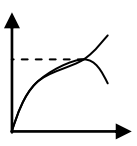
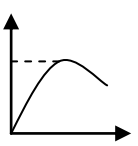
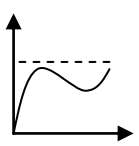
2.1.2 Yapı Sistemlerinin Doğrusal Olmama Nedenleri

Bir yapı sisteminin dış yükler altındaki davranışının doğrusal olmaması genel olarak iki temel nedenden kaynaklanmaktadır, [7].

1- Malzemenin doğrusal-elastik olmaması nedeniyle gerilme-şekildeğiştirme bağıntılarının (bünye denklemlerinin) doğrusal olmaması.

2- Geometri değişimlerinin yeter derecede küçük olmaması nedeniyle denge denklemlerinin (ve bazı hallerde geometrik süreklilik denklemlerinin) doğrusal olmaması.

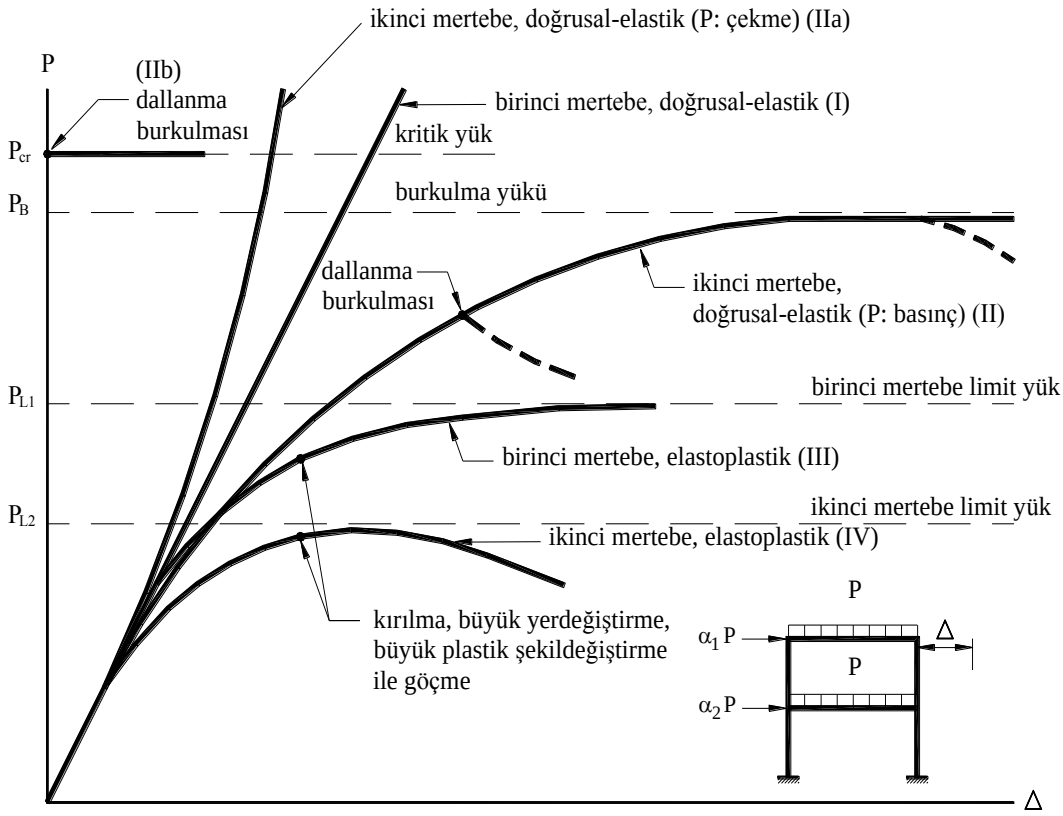
Yapı sistemlerinin doğrusal olmamasına neden olan etkenler ve bu etkenleri göz önüne alan teoriler Şekil 2.2 deki tablo üzerinde topluca özetlenmiştir.

Çözümün Sağlaması Gereken Koşullar	Doğrusal Sistemler	Doğrusal Olmayan Sistemler				
		Malzeme Bakımından (1)	Geometri Değişimleri Bakımından (2)		Her İki Bakımdan (1+2)	
			İkinci Mertebe Teorisi	Sonlu Deplasman Teorisi	İkinci Mertebe Teorisi	Sonlu Deplasman Teorisi
Bünye Denklemleri (Gerilme-Şekildeğiştirme Bağıntıları)	Doğrusal Elastik	Doğrusal Elastik **Değil**	Doğrusal Elastik	Doğrusal Elastik	Doğrusal Elastik **Değil**	Doğrusal Elastik **Değil**
Denge Denklemlerinde Yer Değiştirmeler	Küçük	Küçük	Küçük **Değil**	Küçük **Değil**	Küçük **Değil**	Küçük **Değil**
Geometrik Uygunluk Koşullarında Yerdeğiştirmeler	Küçük	Küçük	Küçük	Küçük **Değil**	Küçük	Küçük **Değil**
P-δ Bağıntıları						

Şekil 2.2 Yapı Sistemlerinin Doğrusal Olmama Nedenleri

2.1.3 Yapı Sistemlerinin Dış Yükler Altındaki Doğrusal Olmayan Davranışı

Düşey ve yatay yükler etkisindeki bir yapı sisteminin doğrusal ve doğrusal olmayan teorilere göre hesabı ile elde edilen yük parametresi-yerdeğiştirme *(P-Δ)* bağıntıları Şekil 2.3 te şematik olarak gösterilmişlerdir.



Şekil 2.3 Çeşitli Teorilere Göre Elde Edilen Yük Parametresi-Yerdeğiştirme Bağıntıları

Malzemenin sınırsız olarak doğrusal-elastik varsayıldığı bir yapı sisteminin, artan dış yükler altında, birinci mertebe teorisine göre elde edilen davranışı şekildeki (I) doğrusu ile temsil edilmektedir. Geometri değişimlerinin denge denklemlerine etkisinin, diğer bir deyişle, eksenel kuvvetlerden oluşan ikinci mertebe etkilerinin hesaba katıldığı ikinci mertebe teorisinde ise, eksenel kuvvetin basınç veya çekme olmasına göre farklı sistem davranışları ile karşılaşılabilmektedir. Örneğin eksenel kuvvetin basınç olması halinde, (II) eğrisinden görüldüğü gibi, artan dış yüklere daha hızla artan yerdeğiştirmeler karşı gelmektedir. Dış yüklerin şiddetini ifade eden yük parametresi artarak *doğrusal-elastik burkulma yükü* adı verilen bir P_B değerine eşit olunca yerdeğiştirmeler artarak sonsuza erişir ve sistem burkularak göçer. Bazı özel durumlarda, burkulmadan sonra, artan yerdeğiştirmelere azalan yük parametresi karşı gelebilir. Örneğin asma sistemler gibi eksenel kuvvetin çekme olduğu durumlarda

ise, şekilde (IIa) ile gösterilen P-Δ diyagramı pekleşen özellik gösterir. Yanal yük etkisinde olmayan ve bu nedenle burkulmadan önce şekildeğiştirmeyen sistemlerde, yük parametresinin bir P_{cr} değerinde dallanma burkulması oluşur ve şekildeki (IIb) diyagramından görüldüğü gibi, yerdeğiştirmeler birden artarak sonsuza erişir. Dallanma burkulmasına neden olan yüke *kritik yük* denilmektedir. Kritik yük genellikle burkulma yükünden biraz büyük veya ona eşittir. Dallanma burkulması, bazı hallerde burkulmadan önce şekildeğiştiren sistemlerde de oluşabilir, (II eğrisi).

Doğrusal olmayan malzemeden yapılmış sistemlerde, artan dış yüklerle birlikte iç kuvvetler de artarak bazı kesitlerde doğrusal-elastik sınırı aşmakta ve bu kesitler dolayında doğrusal olmayan (plastik) şekildeğiştirmeler meydana gelmektedir. Doğrusal olmayan şekildeğiştirmeler genel olarak sistem üzerinde sürekli olarak yayılmaktadır. Buna karşılık, kopma sırasındaki toplam şekildeğiştirmelerin doğrusal şekildeğiştirmelere oranının büyük olduğu sünek malzemeden yapılmış sistemlerde, doğrusal olmayan şekildeğiştirmelerin plastik mafsal (veya genel anlamda plastik kesit) adı verilen belirli kesitlerde toplandığı, bunun dışındaki bölgelerde ise sistemin doğrusal-elastik davrandığı varsayılabilir. Bu varsayım *plastik mafsal hipotezi* olarak isimlendirilmektedir. Plastik mafsal hipotezinin esas alındığı bir yapı sisteminin birinci mertebe teorisine göre hesabında (III eğrisi), oluşan plastik mafsallar nedeniyle sistemin tümünün veya bir bölümünün mekanizma durumuna gelmesi taşıma gücünün sona erdiğini ifade eder. Bu yük *birinci mertebe limit yük* adını alır.

Doğrusallığı bozan her iki etkinin birlikte göz önüne alınması halinde, yani yapı sisteminin ikinci mertebe elastoplastik teoriye göre hesabı ile elde edilen P-Δ diyagramı şekilde (IV) eğrisi ile gösterilmiştir. Bu diyagram ilk kritik kesitte doğrusal-elastik sınırın aşılmasına kadar (II) eğrisini izlemekte, daha sonra oluşan plastik şekildeğiştirmeler nedeniyle yerdeğiştirmeler daha hızlı olarak artmaktadır. Plastik mafsal hipotezinin esas alındığı yapı sistemlerinde, dış yükler artarak bir P_{L2} sınır değerine eşit olunca, meydana gelen plastik mafsallar nedeniyle rijitliği azalan sistemin burkulma yükü dış yük parametresinin altına düşer, diğer bir deyişle, P-Δ diyagramında artan yerdeğiştirmelere azalan yükler karşı gelir. Sistemin stabilite yetersizliği nedeniyle taşıma gücünü yitirmesine sebep olan bu yük parametresine *ikinci mertebe limit yük* denilmektedir.

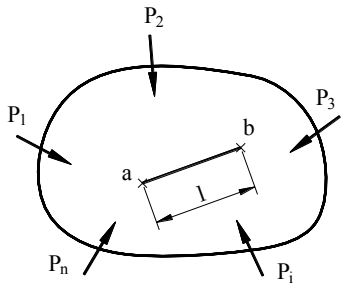
Bazı hallerde, dış yükler limit yüke erişmeden önce, meydana gelen büyük yerdeğiştirmeler, büyük plastik şekildeğiştirmeler ile betonarme sistemlerde oluşan çatlaklar ve kırılma yapının göçmesine neden olabilmektedir.

2.2 İç Kuvvet-Şekildeğiştirme Bağıntıları ve Akma (Kırılma) Koşulları

Aşağıda, çeşitli yapı malzemelerinin gerilme-şekildeğiştirme bağıntıları ile düzlem ve uzay çubuk elemanlarda iç kuvvet-şekildeğiştirme bağıntıları ve akma (kırılma) koşulları gözden geçirilecektir.

2.2.1 Malzemelerin Şekildeğiştirme Özellikleri

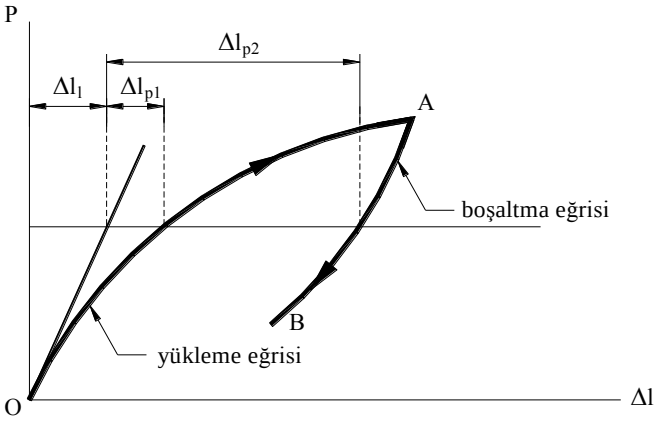
Şekilde 2.4 de verilen katı cisim, aralarındaki oran sabit kalacak şekilde artan P_i dış kuvvetlerinin etkisi altındadır. Bu dış kuvvetlerin büyüklüğünü tanımlayan P yük parametresi ordinata, bu kuvvetlerden dolayı katı cismin a ve b noktaları arasındaki l uzunluğunun Δl değişimi absise taşınarak çizilen P-Δl diyagramı Şekil 2.5 de şematik olarak gösterilmiştir.



$P_i = p_i P$

P : yük parametresi

Şekil 2.4 Dış Kuvvetler Etkisindeki Katı Cisim



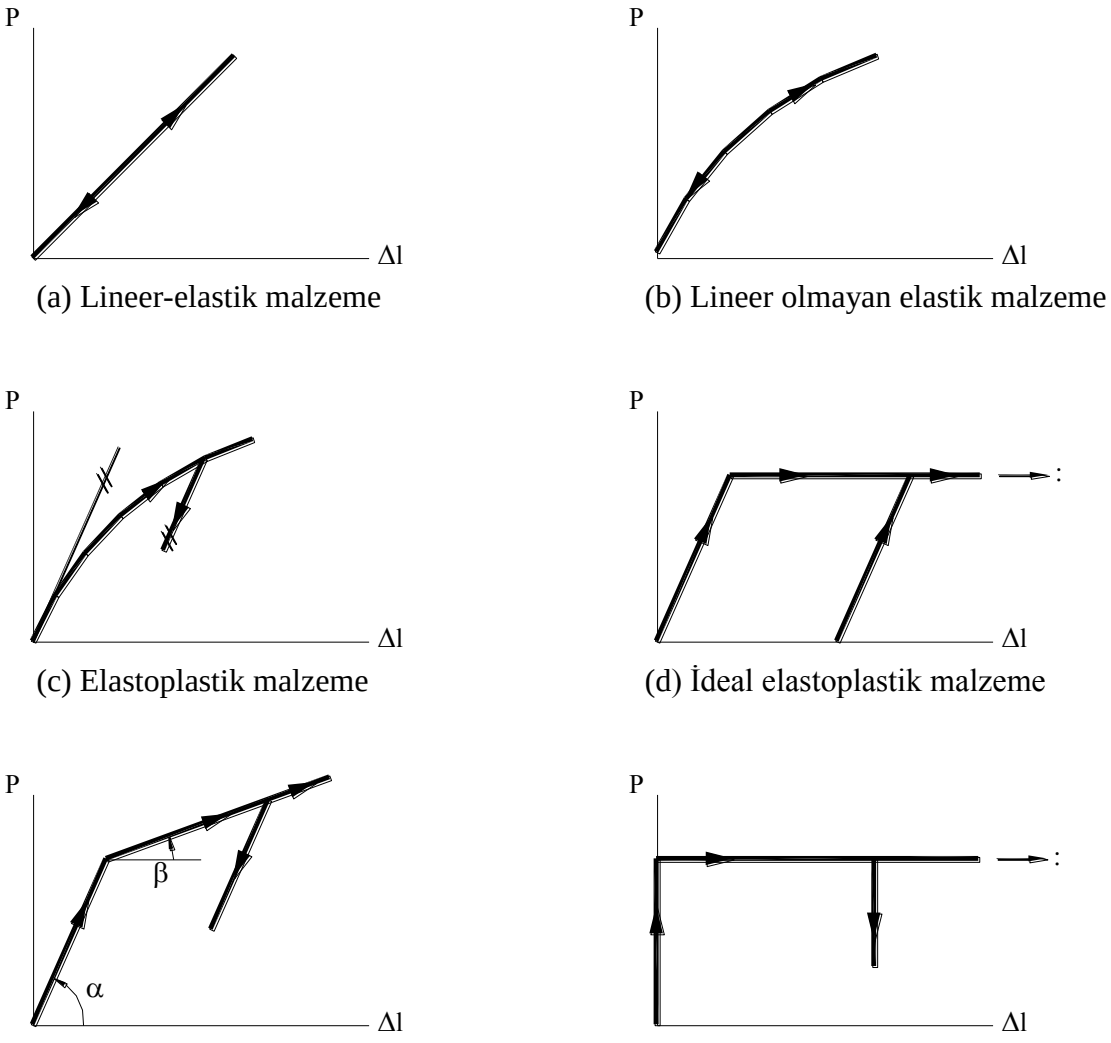
Şekil 2.5 Şematik Yük Parametresi – Şekildeğiştirme Diyagramı

Bu diyagramın, artan yük parametresi için elde edilen OA bölümüne yükleme eğrisi, yüklerin kaldırılması durumuna karşı gelen AB bölümüne de boşaltma eğrisi denir. Eğrinin başlangıç teğeti ile ordinat ekseni arasındaki Δl_l

şekildeğiştirmeleri lineer şekildeğiştirmeler, başlangıç teğeti ile yükleme ve boşaltma eğrileri arasında kalan Δl_{p1} ve Δl_{p2} şekildeğiştirmeleri ise lineer olmayan şekildeğiştirmeler olarak tanımlanır.

2.2.1.1 İdeal Malzemeler

Yapı sistemlerinde kullanılan gerçek malzemelerin şekildeğiştirme özellikleri üzerinde bazı idealleştirmeler yaparak tanımlanan ideal malzemelerin başlıcaları Şekil 2.6 da gösterilmiştir.



(a) Lineer-elastik malzeme (b) Lineer olmayan elastik malzeme

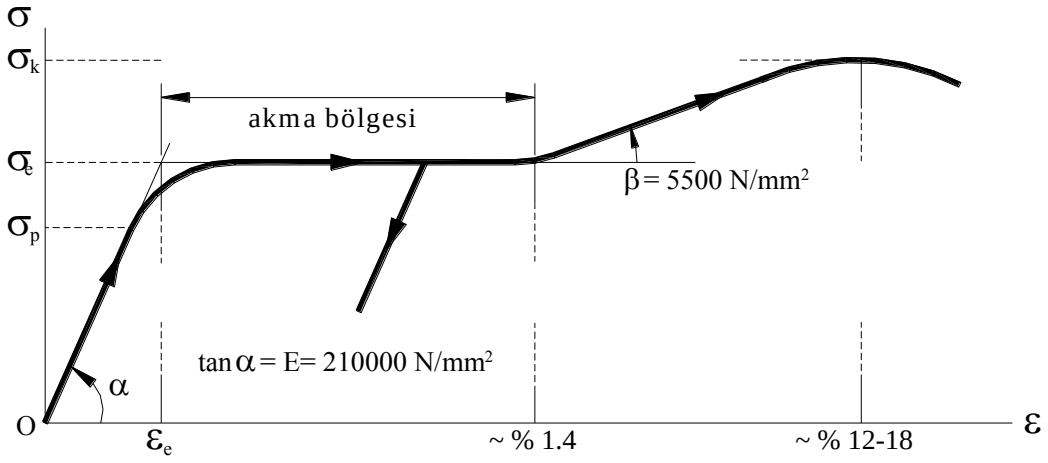
(c) Elastoplastik malzeme (d) İdeal elastoplastik malzeme

(e) Pekleşen ideal Elastoplastik malzeme (f) Rijit plastik malzeme

Şekil 2.6 İdeal Malzemeler

2.2.1.2 Yapı Çeliklerinin Gerilme-Şekildeğiştirme Bağıntıları

Yapı çeliklerinin gerilme-şekildeğiştirme *(σ-ε)* diyagramları ve bu diyagramlara ait bazı sayısal değerler aşağıda verilmiştir.



Şekil 2.7 Yapı Çeliklerinde σ-ε Diyagramı

Bu diyagramı tanımlayan σ_k kopma gerilmesi, σ_e akma gerilmesi, ε_e akma şekildeğiştirmesi ve σ_p orantı sınırının çelik sınıfına bağlı olarak aldığı değerler :

Fe 37 *Yapı çeliği* : σ_k = 360-490 N/mm^2 , σ_e = 235 N/mm^2 ($\varepsilon_e \cong 0{,}0011$)
$\sigma_p = 0.8\sigma_e \approx 188$ N/mm^2

Fe 52 *Yapı çeliği* : σ_k = 510-610 N/mm^2 , σ_e = 353 N/mm^2 ($\varepsilon_e \cong 0{,}0017$)
$\sigma_p = 0.8\sigma_e \approx 280$ N/mm^2

Yapı çeliklerinin σ-ε diyagramlarının bir bölümü veya tümü aşağıdaki şekilde idealleştirilebilir, Şekil 2.8.

2.2.2 Düzlem Çubuk Elemanlarda İç Kuvvet-Şekildeğiştirme Bağıntıları ve Akma (Kırılma) Koşulları

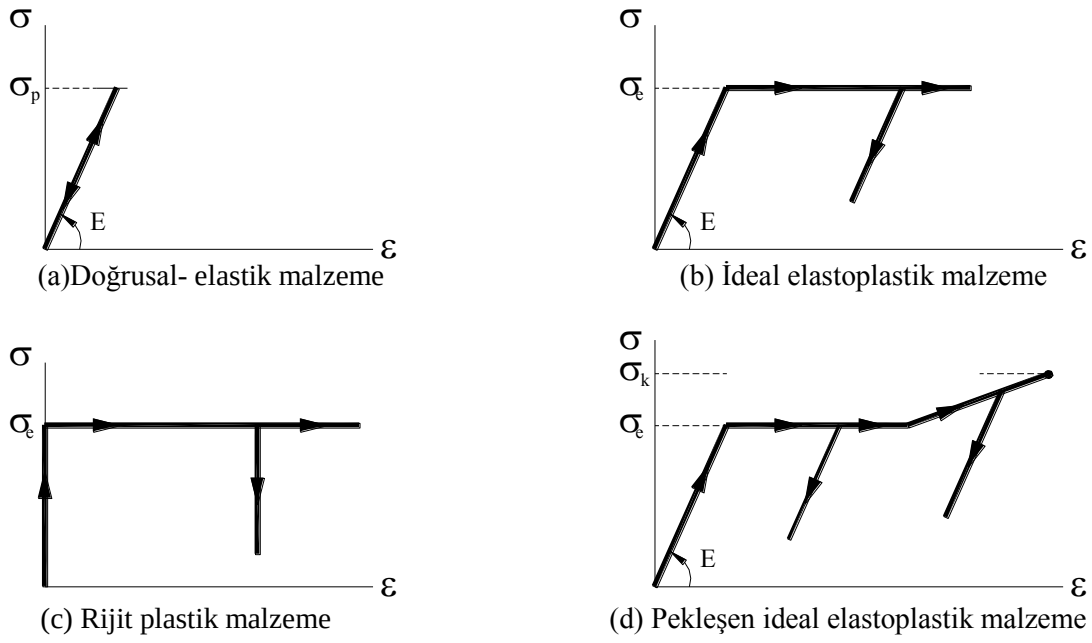
Düzlemi içindeki kuvvetlerin etkisi altında bulunan düzlem çubuk elemanlarda iç kuvvetler (kesit zorları), *M* eğilme momenti, *N* normal kuvveti ve *T* kesme kuvvetidir. Birim boydaki bir çubuk elemanın bir yüzünün diğer yüzüne göre göreli (rölatif) yerdeğiştirmelerinin kesit zorları doğrultularındaki bileşenleri elemanın birim şekildeğiştirmeleri olarak tanımlanır. Bunlar φ kesitin dönmesini, *u* ve *v* kesitin çubuk ekseni ve ona dik doğrultudaki yerdeğiştirmelerini göstermek üzere

$\chi = d\varphi / ds$: birim dönme (eğrilik)

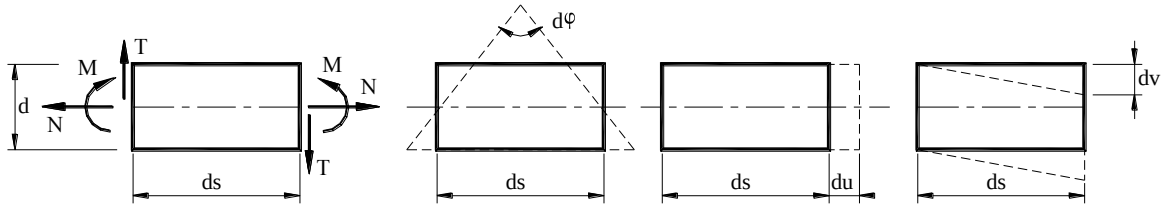
$\varepsilon = du / ds$: birim boy değişmesi

$\gamma = dv / ds$: birim kayma

adını alırlar, Şekil 2.9.



Şekil 2.8 Yapı Çeliğinin σ-ε Diyagramlarının İdealleştirilmesi



Şekil 2.9 Düzlem Çubuk Elemanda İç Kuvvetler ve Şekildeğiştirmeler

Düzlem çubuk elemanlarda iç kuvvetler ile şekildeğiştirmeler arasındaki bağıntılar (bünye denklemleri), genel olarak

$$\chi = \frac{d\varphi}{ds} = F_1(M, N, T) + \frac{\alpha_t . \Delta t}{d} \tag{2.1}$$

$$\varepsilon = \frac{du}{ds} = F_2(M, N, T) + \alpha_t . t \tag{2.2}$$

$$\gamma = \frac{dv}{ds} = F_3(M, N, T) \tag{2.3}$$

şeklindedir. Burada F_1, F_2, F_3 malzeme karakteristiklerine ve enkesit özelliklerine bağlı olarak belirlenen doğrusal olmayan fonksiyonları, *t* ve Δt kesite etkiyen düzgün ve farklı sıcaklık değişmelerini, α_t sıcaklık genleşme katsayısını göstermektedir.

İç kuvvetlerin artarak, belirli bir sınır duruma erişmesi halinde kırılma, akma veya büyük şekildeğiştirmeler nedeniyle kesitin taşıma gücü sona erer. Kesitin daha büyük kesit zorlarını taşıyamayacağını ifade eden bu sınır durum kısaca akma veya kırılma olarak tanımlanır. Bu duruma karşı gelen iç kuvvetlere de kesitin taşıma gücü adı verilir. Akma (kırılma) durumunu kesit zorlarına veya şekildeğiştirmelere bağlı olarak ifade eden

$$K_1(M, N, T) = 0 \tag{2.4}$$

veya

$$K_2(\chi, \varepsilon, \gamma) = 0 \tag{2.5}$$

bağıntılarına akma (kırılma) koşulları denilmektedir.

Uygulamada genellikle olduğu gibi, kayma şekildeğiştirmeleri eğilme ve uzama şekildeğiştirmeleri yanında terk edilir ve kesme kuvvetinin birim dönme ve birim boy değişmesine etkileri ihmal edilirse, iç kuvvet şekildeğiştirme bağıntıları (bünye denklemleri)

$$\chi = \frac{d\varphi}{ds} = F_1(M, N) + \frac{\alpha_t . \Delta t}{d} \tag{2.1a}$$

$$\varepsilon = \frac{du}{ds} = F_2(M, N) + \alpha_t . t \tag{2.2a}$$

ve akma (kırılma) koşulu da

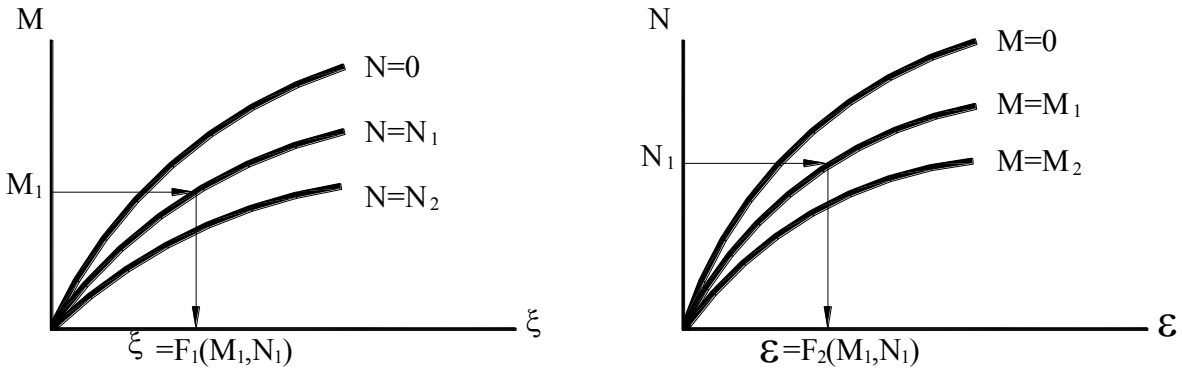
$$K_1(M, N) = 0 \tag{2.4a}$$

veya

$$K_2(\chi, \varepsilon) = 0 \qquad (2.5a)$$

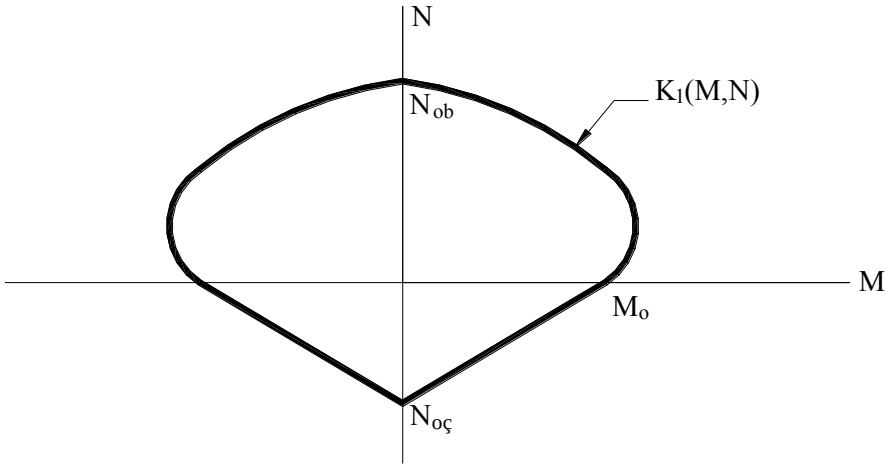
şeklini alır.

Bünye bağıntılarının belirlediği yüzeyler, pratikte genellikle eğri grupları halinde gösterilebilirler, Şekil 2.10.



Şekil 2.10 Bünye Denklemlerinin Eğri Grupları Halinde Gösterilimi

Akma koşulunu kesit zorları cinsinden ifade eden $K_1(M, N) = 0$ denkleminin belirlediği kapalı eğri, akma (kırılma) eğrisi veya karşılıklı etki diyagramı adını almaktadır, Şekil 2.11.



Şekil 2.11 Akma Eğrisi (Karşılıklı Etki Diyagramı)

Özel Hal : N = 0 hali

Normal kuvvetin sıfır veya terk edilebilecek kadar küçük olması ve kesite sıcaklık değişmesi etkimemesi halinde, iç kuvvet – şekildeğiştirme bağıntısı

$$\chi = \frac{d\varphi}{ds} = F_1(M) \tag{2.6}$$

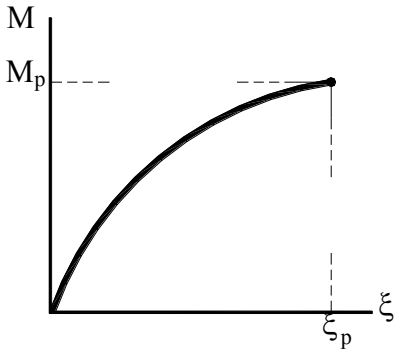
şeklinde yazılabilir. Akma koşulu ise

$$M - M_p = 0 \tag{2.7}$$

veya

$$\chi - \chi_p = 0 \tag{2.8}$$

bağıntıları ile ifade edilir. Burada M_p kesitin eğilme momenti taşıma gücünü, χ_p ise buna karşı gelen birim dönmeyi göstermektedir, Şekil 2.12.



Şekil 2.12 Basit Eğilme Halinde Eğilme Momenti – Eğrilik Diyagramı

2.2.2.1 İdeal Elastoplastik Malzemeden Yapılmış Çubuklar

Bu bölümde, ideal elastoplastik malzemeden yapılmış çubuklarda kesit zorları ile şekildeğiştirmeler arasındaki bağıntılar ve akma koşulları hakkında bilgi verilecektir, [8]. Uygulamada, yapı çeliği genellikle ideal elastoplastik malzeme olarak idealleştirilebilmektedir.

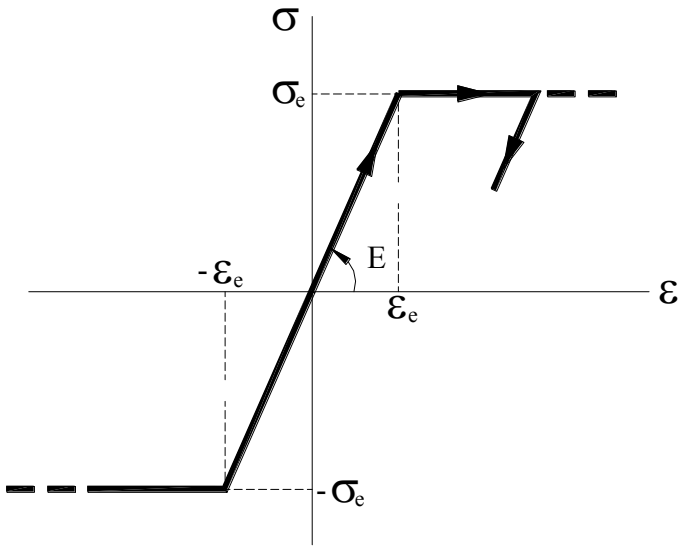
İdeal elastoplastik malzemenin tanımı uyarınca, σ–ε diyagramının

$$0 \le \varepsilon \le \varepsilon_e \qquad \text{için} \qquad \sigma = E\varepsilon \tag{2.9}$$

$$\varepsilon_e \le \varepsilon \le \infty \qquad \text{için} \qquad \sigma = \sigma_e \tag{2.10}$$

şeklinde iki doğru parçasından oluştuğu, çekme ve basınç yüklemeleri altında malzemenin aynı özellikleri gösterdiği gözönünde tutulacaktır, Şekil 2.13. Burada E çeliğin elastisite modülünü, σ_e ise akma gerilmesini göstermektedir.

Ayrıca, dik kesitin şekildeğiştirdikten sonra da düzlem kaldığı (Bernoulli - Navier hipotezi) ve kesme kuvvetinin eğilme ve uzama şekildeğiştirmelerine etkisinin terk edilebileceği varsayımları yapılmaktadır.



Şekil 2.13 İdeal Elastoplastik Malzemede σ–ε Diyagramı

a) Eğilme Etkisindeki Çubuklar

Eğilme momenti etkisindeki çubuklarda M eğilme momenti ile χ birim dönmesi (eğrilik) arasındaki genel bağıntı elde edilecektir. Basitlik açısından, çubuğun iki simetri düzlemi olduğu ve eğilme momentinin bu düzlemlerden birinde etkidiği varsayılacaktır.

M eğilme momenti etkisindeki kesitte, eğilme momentinin artan değerleri için oluşan şekildeğiştirme durumları ve bunlara karşı gelen normal gerilme yayılışları Şekil 2.14 te görülmektedir.

Eğilme momentinin küçük değerleri için kenar liflerdeki maksimum birim boy değişmesi

$$\varepsilon \leq \varepsilon_e$$

olduğundan gerilme-şekildeğiştirme bağıntısı doğrusal-elastiktir. Bu nedenle kesitteki gerilme yayılışı doğrusaldır ve eğilme momenti ile eğrilik arasında,

$$M = EI\chi \tag{2.11}$$

Bağıntısı bulunmaktadır, Şekil 2.14a. Bu bağıntı, eğilme momentinin artarak

$$M_e = \sigma_e W \quad (W\text{: kesitin elastik mukavemet momenti}) \tag{2.12}$$

sınır değerine erişmesi halinde sona erer, Şekil 2.14b. Burada M_e kesitin doğrusal-elastik olarak taşıyabileceği en büyük eğilme momentini göstermektedir ve elastik moment adını alır.

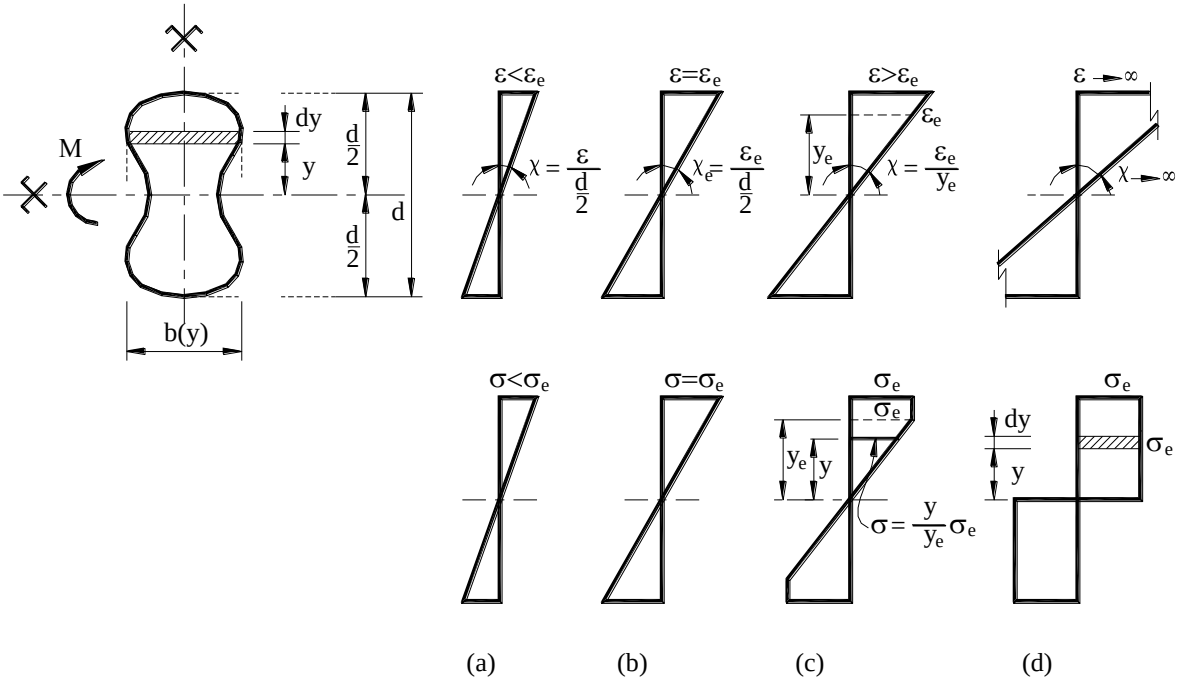
Eğilme momentinin daha büyük değerleri için, birim boy değişmesinin de artarak

$$\varepsilon > \varepsilon_e$$

olduğu kenar liflerde doğrusal olmayan (plastik) şekildeğiştirmeler oluşur, Şekil 2.14c. Bu durum için, eğilme momenti ile eğrilik arasında

$$M = 2\sigma_e \int_0^{y_e} \frac{y}{y_e} b(y) y.dy + 2\sigma_e \int_{y_e}^{d/2} b(y) y.dy = M(y_e) = M\left(\frac{\varepsilon_e}{\chi}\right) \tag{2.13}$$

bağıntısı yazılabilir.



Şekil 2.14 Artan Eğilme Momentinden Oluşan Şekildeğiştirme ve Gerilme Durumları

Eğilme momenti daha da artarak

$$M_p = 2\sigma_e \int_0^{d/2} b(y)y.dy \tag{2.14}$$

sınır değerine erişince şekildeğiştirmeler sonsuza gider ve kesitin taşıma gücü sona erer, Şekil 2.14d. Burada M_p, kesitin taşıyabileceği en büyük eğilme momentidir ve *plastik moment* adını alır.

M_p plastik momenti

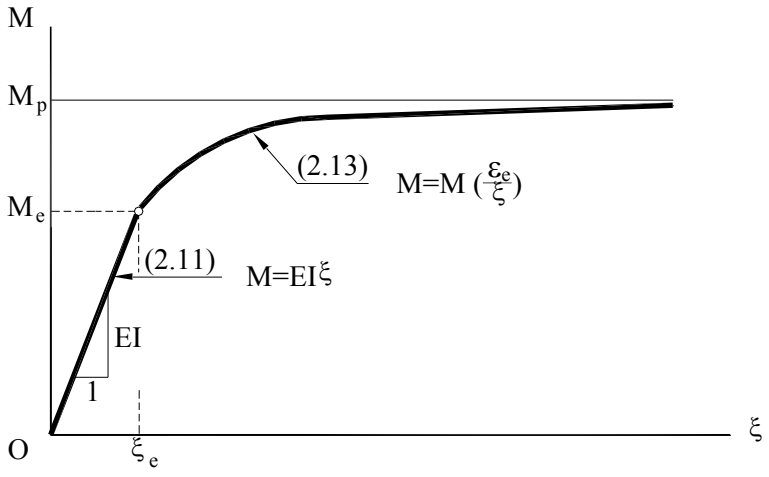
$$W_p = 2\int_0^{d/2} b(y)y.dy \tag{2.15}$$

kesitin plastik mukavemet momentini göstermek üzere

$$M_p = \sigma_e W_p \tag{2.16}$$

şeklinde ifade edilir.

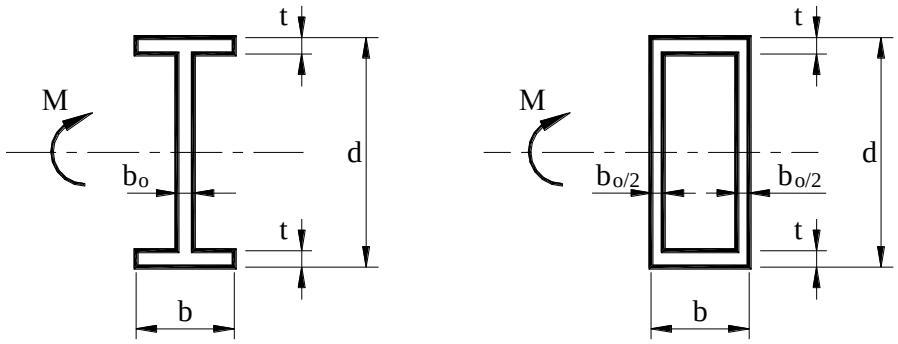
(2.11) ve (2.13) bağıntıları ile tanımlanan eğilme momenti-eğrilik *(M-χ)* diyagramı Şekil 2.15 te şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.15 Eğilme Momenti – Eğrilik $(M-\chi)$ Diyagramı

a1) I kesitleri ve dikdörtgen kutu kesitler (Şekil 2.16)

Kuvvetli ekseni doğrultusunda etkiyen eğilme momenti ile zorlanan **I** kesitleri ve dikdörtgen kutu kesitlerde elastik ve plastik momentler, enkesit geometrisine bağlı olarak



Şekil 2.16 **I** Kesiti ve Dikdörtgen kutu kesit

$$M_e = \sigma_e W \qquad W = \frac{1}{6}\left[bd^2 - \frac{(b-b_0)(d-2t)^3}{d} \right] \tag{2.17}$$

$$M_p = \sigma_e W_p \qquad W_p = \frac{1}{4}\left[bd^2 - (b-b_0)(d-2t)^2 \right] \tag{2.18}$$

şeklinde hesaplanırlar.

Kesitin plastik ve elastik mukavemet momentlerinin oranını veren

$$f = \frac{W_p}{W} \tag{2.19}$$

şekil katsayısı, çelik yapılarda kullanılan

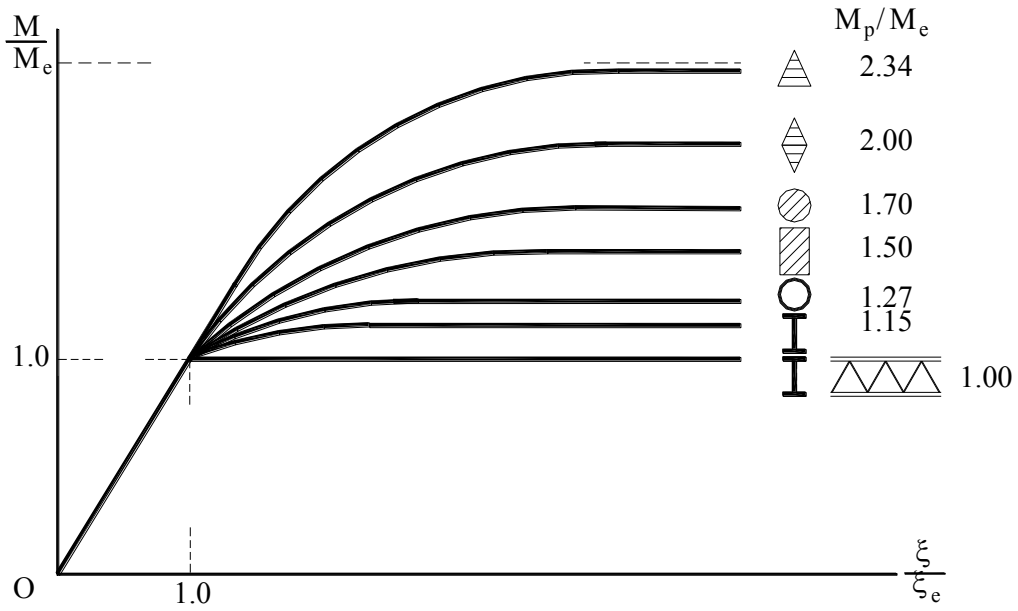
NPI profillerinde: $f \approx 1.16 - 1.18$

IPE profillerinde: $f \approx 1.13 - 1.14$

değerleri arasında değişmektedir.

a2) Diğer Kesitler

Uygulamada kullanılmakta olan bazı kesit şekilleri için elde edilen $(M-\chi)$ diyagramları Şekil 2.17 de boyutsuz olarak verilmişlerdir.



Şekil 2.17 Çeşitli Kesitlerde $M-\chi$ Diyagramları

b) Eğilme Momenti ve Normal Kuvvet Etkisindeki Çubuklar

Eğilme momenti ve normal kuvvet (bileşik eğilme) ile zorlanan çeşitli enkesit şekilleri için elde edilen

$$\chi = \frac{d\varphi}{ds} = F_1(M,N) \tag{2.1b}$$

$$\varepsilon = \frac{du}{ds} = F_2(M,N) \tag{2.2b}$$

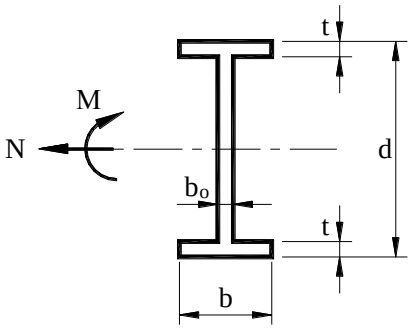
bünye denklemleri ve

$$K_1(M,N) = 0 \tag{2.4a}$$

akma koşulları Kaynak [8] de ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

b1) I Kesitleri

Kuvvetli eksen etrafında eğilen **I** kesitlerinde (Şekil 2.18), bileşik eğilme hali için elde edilen kesin akma koşulunun yanında, uygulamada genellikle yaklaşık akma koşulundan yararlanılmaktadır.



Şekil 2.18 Kuvvetli Eksen Etrafında Eğilen **I** Kesiti

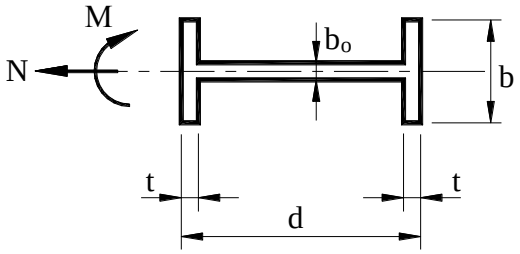
Yaklaşık akma koşulu

$$\frac{N}{N_p} \le 0.15 \qquad \text{için} \qquad \frac{M}{M_p} - 1 = 0 \tag{2.20}$$

$$\frac{N}{N_p} > 0.15 \qquad \text{için} \qquad \frac{M}{M_p} + 1.18\frac{N}{N_p} - 1.18 = 0 \tag{2.20a}$$

bağıntıları ile verilmiştir.

Zayıf eksen etrafında eğilen **I** kesitlerindeki (Şekil 2.19) yaklaşık akma bağıntıları ise



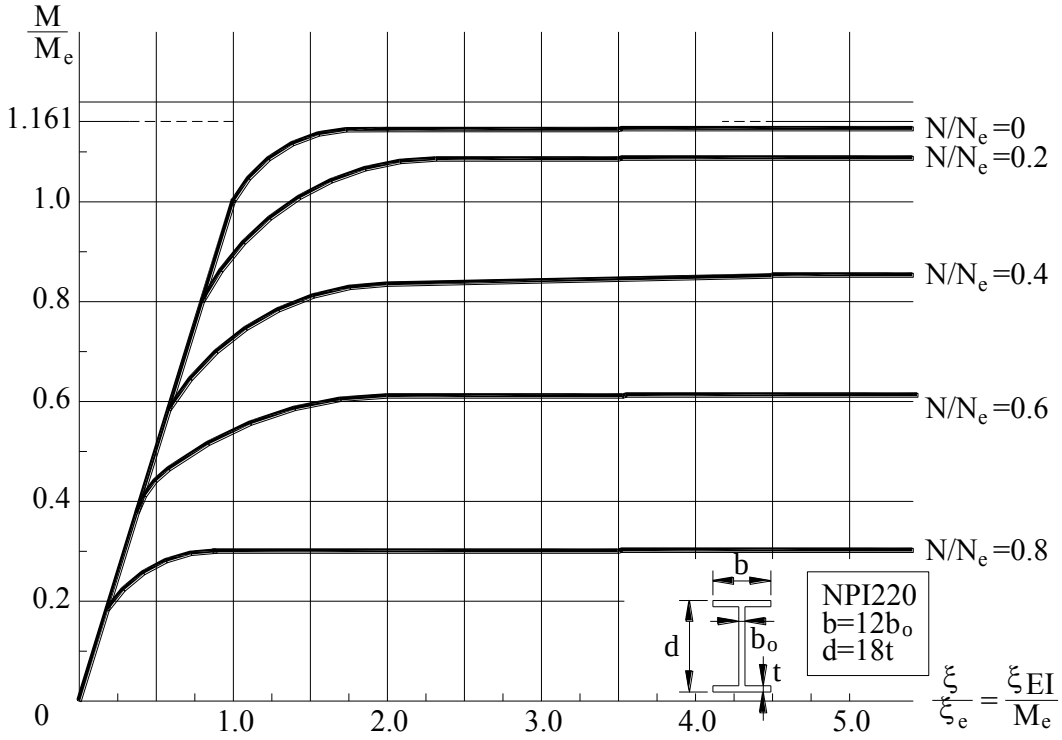
Şekil 2.19 Zayıf Eksen Etrafında Eğilen **I** Kesiti

$$\frac{N}{N_p} \le 0.40 \qquad \text{için} \qquad \frac{M}{M_p} - 1 = 0 \tag{2.21}$$

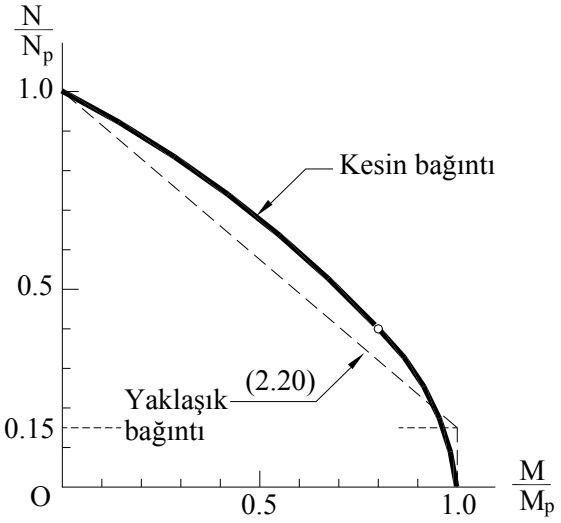
$$\frac{N}{N_p} > 0.40 \qquad \text{için} \qquad \frac{M}{M_p} + 1.19\left(\frac{N}{N_p}\right)^2 - 1.19 = 0 \tag{2.21a}$$

şeklindedir.

Kuvvetli eksen etrafında eğilen **I** kesitlerine ait $\chi = F_1(M, N)$ bünye bağıntıları Şekil 2.20 de, kesin ve yaklaşık akma eğrileri ise Şekil 2.21 de verilmişlerdir.



Şekil 2.20 Kuvvetli Eksen Etrafında Eğilen **I** Kesitlerinde $\chi = F_1(M, N)$ Bünye Bağıntıları

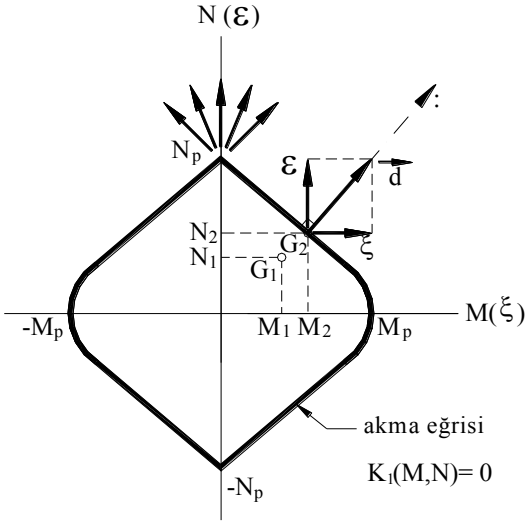


Şekil 2.21 Kuvvetli Eksen Etrafında Eğilen **I** Kesitlerinde Akma Eğrileri

c) Akma Olayından Sonraki Şekildeğiştirmeler

Eğilme momenti ve normal kuvvet etkisindeki çubuklarda, iç kuvvet ve şekildeğiştirme durumlarının geometrik olarak gösterilimi için $M - N\,(\chi - \varepsilon)$ dik koordinat sisteminden yararlanılır, Şekil 2.22. Bu koordinat sisteminde, verilen bir iç kuvvet durumu koordinatları *M* ve *N* olan bir *G* noktası ile temsil edilebilir.

G noktasının $K_1(M,N)=0$ akma koşulunun belirlediği akma eğrisinin içinde bulunması, kesitin doğrusal-elastik davrandığını veya kesitte meydana gelen doğrusal olmayan (plastik) şekildeğiştirmelerin sınırlı olduğunu ifade eder.



Şekil 2.22 Akma Eğrisi ve Akma Vektörü

G noktasının akma eğrisi üzerinde bulunması halinde kesitin taşıma kapasitesi sona erer ve iç kuvvetler doğrultularında sonsuz plastik şekildeğiştirmeler meydana gelebilir. Değişen dış etkiler altında, kesitteki iç kuvvet durumunu ifade eden *G* noktası akma eğrisi üzerinde hareket eder veya bu eğrinin içine doğru yönelir; fakat akma eğrisinin dışına çıkamaz.

Kesitteki plastik şekildeğiştirmeler $\vec{d}(\chi,\varepsilon)$ plastik şekildeğiştirme (akma) vektörü ile tanımlanır.

İdeal elastoplastik malzemeden yapılmış kesitlerde, akma vektörü akma yüzeyine diktir, [8]. Diklik özelliği nedeniyle, akma vektörünün χ ve ε bileşenleri

$$\chi = \mu \frac{\partial K_1}{\partial M} \tag{2.22}$$

$$\varepsilon = \mu \frac{\partial K_1}{\partial N} \tag{2.23}$$

şeklinde, $K_1(M,N)$ fonksiyonuna bağlı olarak ifade edilebilirler. Burada μ, $\vec{d}$ akma vektörünün şiddetini belirleyen bir katsayıyı göstermektedir. Akma eğrisinin dış normalinin süreksizlik gösterdiği köşe noktalarında, akma vektörü iki dış normalin arasında herhangi bir doğrultuda olabilir.

2.3 Malzeme Bakımından Doğrusal Olmayan Sistemlerin Hesabı

Malzeme bakımından doğrusal olmayan sistemlerin hesabı, doğrusal olmayan şekildeğiştirmelerin sistem üzerinde yayılı olması ve plastik mafsal adı verilen belirli kesitlerde toplandığının varsayılması halleri için ayrı ayrı incelenecektir. Doğrusal olmayan şekildeğiştirmelerin sistem üzerinde yayılı olması hali hakkında ön bilgi verildikten sonra, bu çalışmanın kapsamı içinde olan plastik mafsal hipotezi ve bu hipoteze dayanan hesap yöntemi ayrıntılı olarak incelenecektir.

2.3.1 Doğrusal Olmayan Şekildeğiştirmelerin Sürekli Olması Hali

Malzeme bakımından doğrusal olmayan yapı sistemlerinde, doğrusal olmayan şekildeğiştirmelerin sistem üzerinde sürekli olarak yayıldığının göz önüne alınması halinde, yük parametresi-yerdeğiştirme bağıntılarının (kapasite eğrilerinin) belirlenmesi ve göçme yüklerinin hesabı için, ardışık yaklaşım yöntemlerinden veya yük artımı yöntemlerinden yararlanılabilir [7] [9] [10].

2.3.2 Doğrusal Olmayan Şekildeğiştirmelerin Belirli Kesitlerde Toplandığının Varsayılması Hali

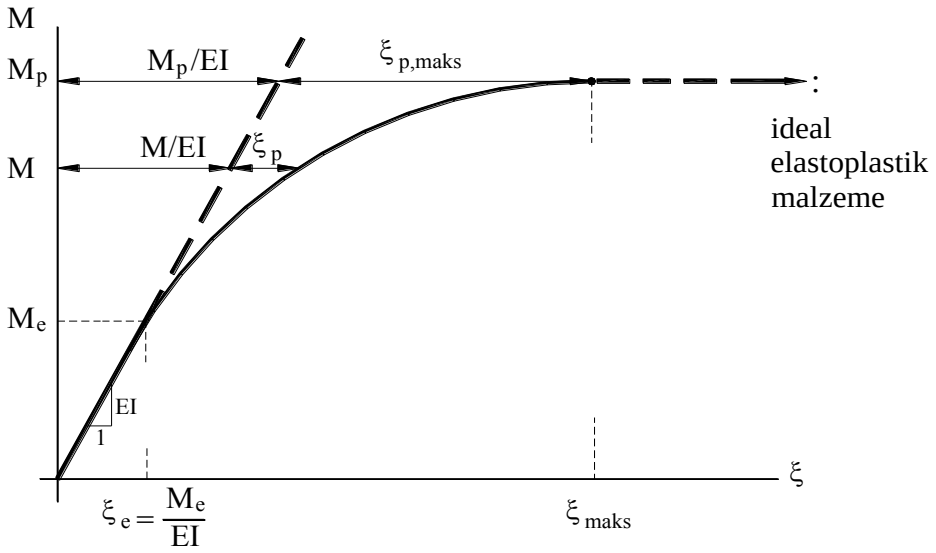
Malzeme bakımından doğrusal olmayan sünek yapı sistemlerinde, doğrusal olmayan şekildeğiştirmelerin plastik mafsal (plastik kesit) adı verilen belirli kesitlerde toplandığı, diğer bölgelerde doğrusal-elastik davrandığı varsayımı yapılabilir, [7].

2.3.2.1 Plastik Mafsal Hipotezi

Toplam şekildeğiştirmelerin doğrusal şekildeğiştirmelere oranı olarak tanımlanan μ süneklik oranının büyük olduğu ve doğrusal olmayan şekildeğiştirmelerin küçük bir bölgeye yayıldığı sistemlerde, doğrusal olmayan eğilme şekildeğiştirmelerinin plastik mafsal adı verilen belirli kesitlerde toplandığı, bunun dışındaki bölgelerde ise sistemin doğrusal-elastik davrandığı kabul edilebilir. Bu hipoteze, *plastik mafsal* (plastik kesit) hipotezi adı verilir.

Yeterli düzeyde sünek davranış gösteren sistemlerde (çelik yapılar ve bazı koşullar altında betonarme yapılar), plastik mafsal hipotezi yapılarak sistem hesapları önemli ölçüde kısaltılabilmektedir. Gerçek eğilme momenti-eğrilik bağıntısı Şekil 2.23'de verilen bir düzlem çubuk elemanın bir bölgesine ait eğilme momenti diyagramı,

toplam eğilme şekildeğiştirmeleri ve doğrusal olmayan şekildeğiştirmeler Şekil 2.24 de gösterilmiştir.

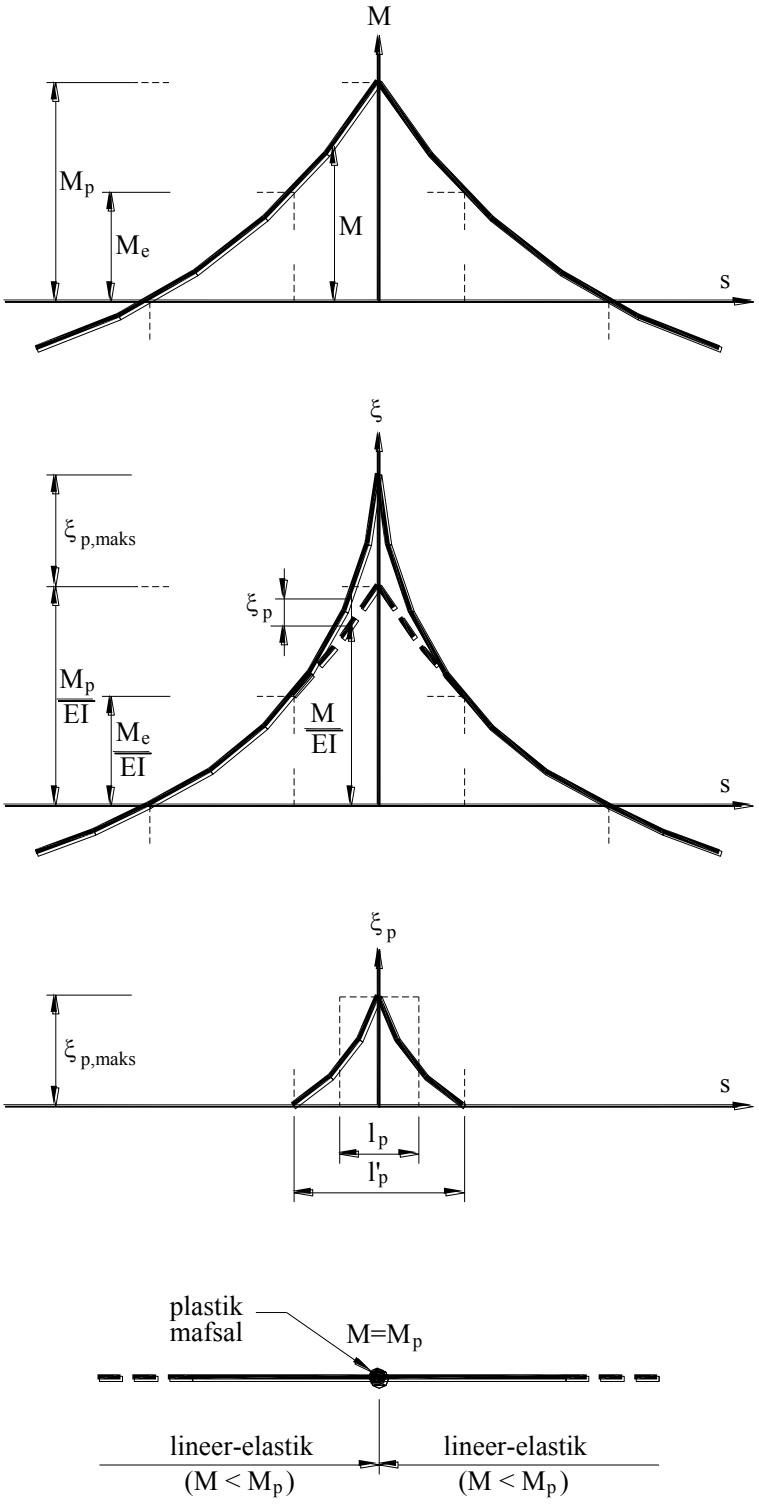


Şekil 2.23 Eğilme Momenti - Eğrilik Diyagramı

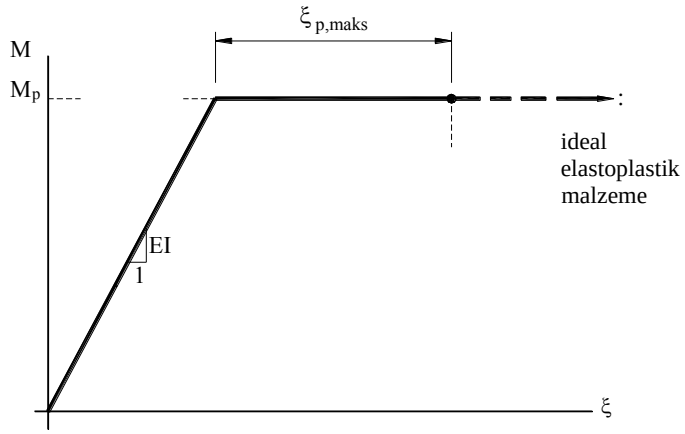
Plastik mafsal hipotezinin uygulanması, gerçek eğilme momenti-eğrilik bağıntısının iki doğru parçasından oluşacak şekilde idealleştirilmesine karşı gelmektedir, Şekil 2.25. Bu idealleştirme, Denklem (2.24) ve (2.25) te verilen bağıntılarla temsil edilmektedir.

$$M < M_p \text{ için } \chi = \frac{M}{EI} \tag{2.24}$$

$$M = M_p \text{ için } \chi \rightarrow \chi_{p,maks} \tag{2.25}$$



Şekil 2.24 Doğrusal Olmayan Şekildeğiştirmeler



Şekil 2.25 İdealleştirilmiş Bünye Bağıntısı

Şekil 2.26 dan görüldüğü gibi, doğrusal olmayan şekildeğiştirmeler çubuk üzerindeki l_p uzunluğundaki bir bölgede yoğunlaşmakta ve en büyük eğrilik $\chi_{p,maks}$ değerine eşit olmaktadır. Bu hipotezde doğrusal olmayan (plastik) şekildeğiştirmelerin çubuk elemanı üzerinde l_p' uzunluğunda bir bölgede sürekli olarak düzgün yayıldığı varsayılmaktadır. Buna göre plastikleşen bölgedeki toplam plastik dönme

$$\varphi_p = \int_{l_p'} \chi_p ds \tag{2.26}$$

şeklinde hesaplanabilir ve plastik mafsal dönmesi olarak isimlendirilir.

Artan dış yükler altında, plastik mafsalın dönmesi artarak *dönme kapasitesi* adı verilen bir sınır değere ulaşınca, meydana gelen büyük plastik şekildeğiştirmeler nedeniyle kesit kullanılamaz hale gelir. Yapı sisteminin bir veya daha çok kesitindeki plastik mafsal dönmelerinin kendilerine ait dönme kapasitelerine ulaşması halinde ise, yapı sisteminin kullanım dışı kaldığı varsayılır.

Plastik mafsalın *dönme kapasitesi* ise

$$maks\varphi_p = \int_{l_p'} \chi_p ds \qquad (\chi \rightarrow \chi_{p,maks}) \tag{2.27}$$

şeklinde, eğilme momenti diyagramının şekline ve *(M-χ)* bağıntısına bağlı olarak belirlenir.

Plastik mafsalın *dönme kapasitesi*

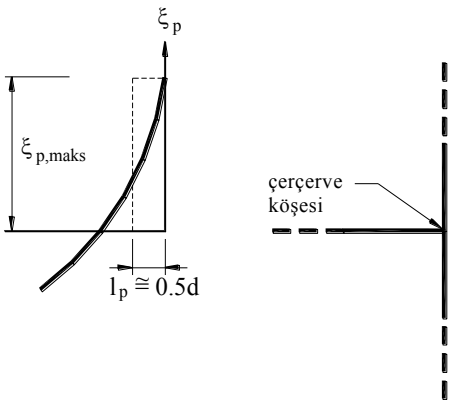
$$maks\varphi_p = l_p \chi_{p,maks} \tag{2.28}$$

$$l_p \cong 0.5d \tag{2.29}$$

şeklinde hesaplanabilir. Burada

d : enkesit yüksekliği

l_p : plastik mafsal boyu olarak tanımlanmaktadır, Şekil 2.26.



Şekil 2.26 Plastik Mafsal Boyu

Yukarıda ayrıntılı olarak açıklanan plastik mafsal hipotezinin esasları aşağıda sıralanmıştır.

1. Bir kesitteki eğilme momenti artarak M_p plastik moment değerine eşit olunca, o kesitte bir plastik mafsal oluşur. Daha sonra, kesitteki eğilme momenti $(M=M_p)$ sabit olarak kalır ve kesit serbestçe döner. Böylece kesitteki eğilme momentinin $M=M_p$ değerinde sabit kalması sağlanır. Plastik mafsaldaki φ_p plastik dönmesi artarak dönme kapasitesine $(maks\varphi_p)$ erişince sistem kullanılamaz duruma gelir; yani göçer.

2. Plastik mafsallar arasında sistem doğrusal-elastik olarak davranır.

3. Kesite eğilme momenti ile birlikte normal kuvvetin de etkimesi halinde, M_p plastik momenti yerine, kesitteki N normal kuvvetine bağlı olarak akma koşulundan bulunan indirgenmiş plastik moment (M_p') değeri kullanılır

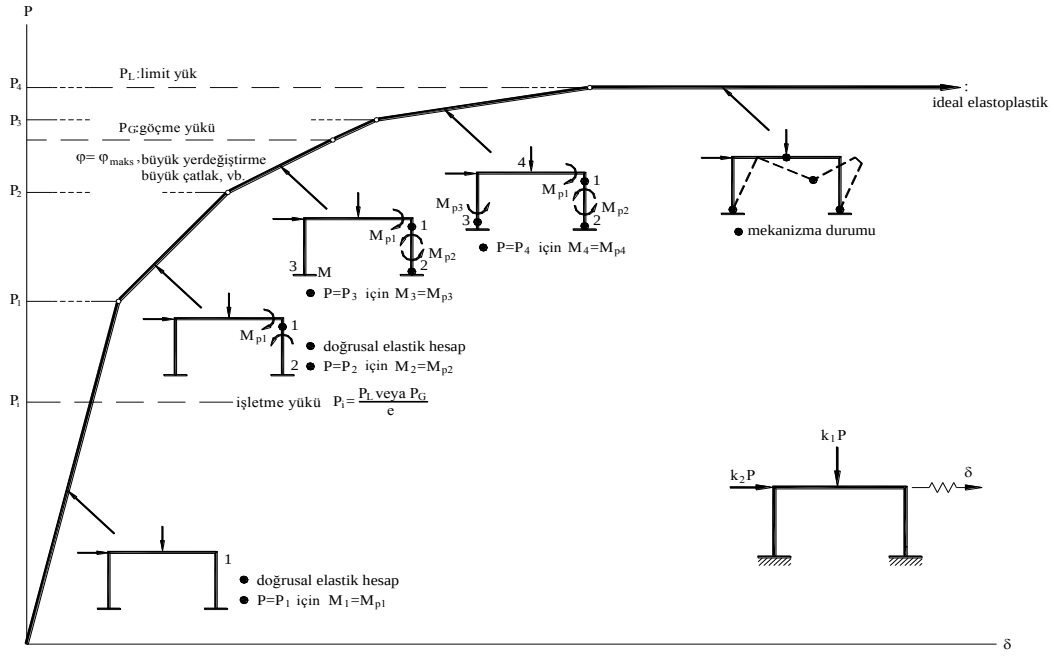
2.3.2.2 Yük Artımı Yöntemi

Plastik mafsal hipotezinin geçerli olduğu bir yapı sisteminin artan dış yükler altındaki davranışı Şekil 2.27 de şematik olarak gösterilmiştir.

Artan yükler altında, her plastik mafsalın oluşumundan sonra, o noktaya bir adi mafsal koymak ve M_p plastik momentini dış yük olarak etkitmek suretiyle elde edilen sistem doğrusal-elastik teoriye göre hesaplanır.

Sistem belirli sayıda plastik mafsalın oluşumundan sonra, kısmen veya tamamen mekanizma durumuna ulaşır; diğer bir deyişle stabilitesini yitirerek yük taşıyamaz hale gelir, Şekil 2.28. Bu duruma karşı gelen P_L yük parametresi limit yük (birinci mertebe limit yük) olarak tanımlanır. Bu tanıma göre, birinci mertebe limit yük sistemin tümünü veya bir bölümünü mekanizma durumuna getiren yüktür.

Bazı hallerde limit yükten önce, plastik mafsallardaki dönmelerin dönme kapasitesini aşması, büyük yerdeğiştirmelerin oluşması veya betonarme sistemlerde büyük çatlaklar meydana gelmesi nedeniyle sistem göçebilir. Bu duruma karşı gelen P_G yük parametresi *göçme yükü* olarak tanımlanır.



Şekil 2.27 Plastik Mafsal Hipotezinin Geçerli Olduğu Bir Yapı Sisteminin Artan Yükler Altındaki Davranışı



tümsel mekanizma bölgesel mekanizma

Şekil 2.28 Tümsel ve Bölgesel Mekanizma Durumları

Limit yük (veya göçme yükü) bulunduktan sonra, yapının yeter güvenlikle taşıyabileceği yük, yani işletme yükü

$$Pi = \frac{P_G veya P_L}{e} \qquad (e\text{: güvenlik katsayısı}) \qquad (2.30)$$

şeklinde hesaplanır. Ayrıca işletme yükleri altında doğrusal-elastik sınırın pek aşılmaması, zararlı yerdeğiştirme ve çatlakların oluşmaması istenir.

Bir yapı sisteminin artan yükler altındaki hesabı iki şekilde yapılabilir.

1- Sistem, aralarındaki oran sabit kalacak şekilde artan düşey ve yatay yükler altında hesaplanarak bu yükler için ortak bir göçme güvenliği belirlenir.

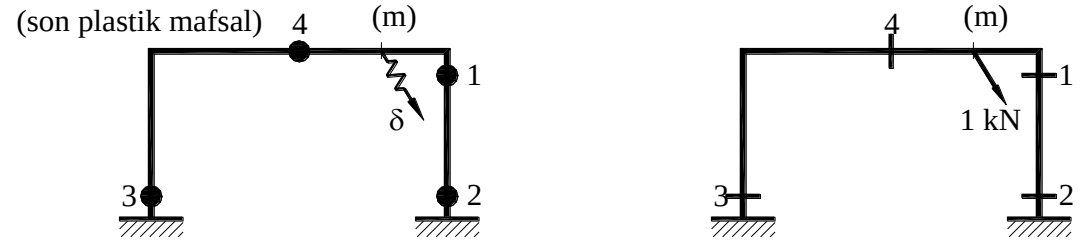
2- Düşey yükler, bu yükler için öngörülen bir güvenlik katsayısı ile çarpılarak sisteme etkitildikten sonra, artan yatay yükler için hesap yapılır ve yatay yüklere ait limit yük (veya göçme yükü) parametresi bulunur. Böylece, düşey yükler için öngörülen bir güvenlik altında, sistemin yatay yük taşıma kapasitesi belirlenir.

Büyük oranda yapı ağırlığından oluşan düşey yüklerin daha belirgin olduğu, buna karşılık rüzgar ve deprem etkilerini temsil eden yatay yüklerin değişme olasılığının daha fazla olduğu göz önünde tutulduğunda, yapı sisteminin gerçek göçme güvenliğinin belirlenmesi açısından, ikinci yolun daha gerçekçi sonuç vereceği söylenebilir.

Plastik mafsallarda eğilme momentinin yanında normal kuvvetin de bulunması halinde, akma koşulunu sağlayacak şekilde belirlenen indirgenmiş eğilme momenti *(M_P')* esas alınarak hesap yapılması gerekmektedir. Plastik mafsallardaki normal kuvvetler başlangıçta bilinmediğinden, bir ardışık yaklaşım yolu uygulanması gerekebilir. Bileşik iç kuvvetler etkisindeki sistemlerin, ardışık yaklaşıma gerek kalmaksızın, yük artımı yöntemi ile doğrudan doğruya hesabı için geliştirilen bir yöntem [11],[12],[13] te verilmiştir

Yerdeğiştirmelerin ve Plastik Mafsal Dönmelerinin Hesabı

Üzerinde plastik mafsallar bulunan bir sistemde, limit yüke karşı gelen son plastik mafsalın oluştuğu fakat dönmenin başlamadığı andaki yerdeğiştirmeler virtüel iş teoremi ile hesaplanabilir, Şekil 2.29.



yerdeğiştirmesi aranan sistem (virtüel şekildeğiştirme durumu)

birim yükleme (yükleme durumu)

Şekil 2.29 Yerdeğiştirmelerin Hesabı

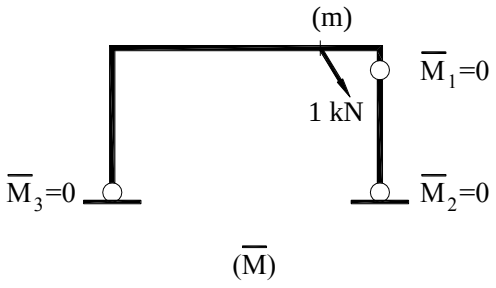
Kesit Zorları : *M, N, T*

Plastik Mafsal Dönmeleri : $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_4 = 0$

Yerdeğiştirmesi aranan sistem virtüel şekildeğiştirme durumu, yerdeğiştirmesi aranan noktaya aranan yerdeğiştirme doğrultusunda yapılan birim yükleme durumu olarak alınır ve virtüel iş teoremi uygulanırsa

$$\sum 1.\delta = \int \overline{M}\frac{M}{EI}ds + \int \overline{N}\frac{N}{EF}ds + \int \overline{T}\frac{T}{GF'} + \sum M_i\varphi_i \qquad (2.31)$$

elde edilir. Kısaltma teoremi uyarınca, son plastik mafsalın dışındaki plastik mafsalların bulunduğu noktalara adi mafsallar konularak elde edilen sisteme birim yükleme yapılırsa, (Şekil 2.30)



Şekil 2.30 Birim Yüklemede Kısaltma Teoreminin Uygulanması

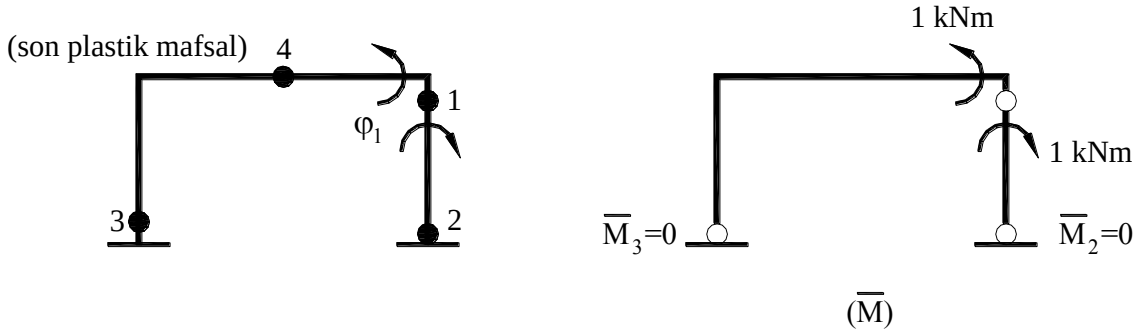
$$M_1\varphi_1=\overline{M}_2\varphi_2=\overline{M}_3\varphi_3=\ldots=0 \tag{2.32}$$

olacağından, δ yerdeğiştirmesi

$$\delta=\int(\overline{M})\frac{M}{EI}ds+\int(\overline{N})\frac{N}{EF}ds+\int(\overline{T})\frac{T}{GF'}ds \tag{2.33}$$

şeklinde, plastik mafsalların dönmelerinden bağımsız olarak hesaplanabilir.

Plastik mafsalların dönmeleri de benzer şekilde hesaplanabilir. Bunun için, plastik mafsallara birim moment çifti uygulanır, Şekil 2.31.



Şekil 2.31 Plastik Mafsalların Dönmelerinin Bulunması

Limit yükten önceki aşamalara ait yerdeğiştirmeler de benzer şekilde hesaplanabilir. Ancak bu durumda, plastik mafsallar konulmak suretiyle elde edilen sistem hiperstatik olacağından, ayrıca kesimler yapılarak izostatik hale getirilir.

2.3.2.3 Limit Yükün Doğrudan Doğruya Hesabı

Büyük yerdeğiştirmelere ve plastik şekildeğiştirmelere izin verilen süneklik düzeyi yüksek sistemler (örneğin yumuşak çelikten yapılan sistemler ile beton basınç bölgesi derinliği $a/d \leq 0.25$ koşulunu sağlayan betonarme sistemler), kendilerine etkiyen dış yükleri limit yüke kadar göçmeden taşıyabilirler; yani bu sistemlerde $P_G=P_L$ olur. Bu nedenle, söz konusu sistemlerin dayanıma bağlı olarak boyutlandırılmaları doğrudan doğruya limit yük esas alınarak yapılabilir, [14],[15].

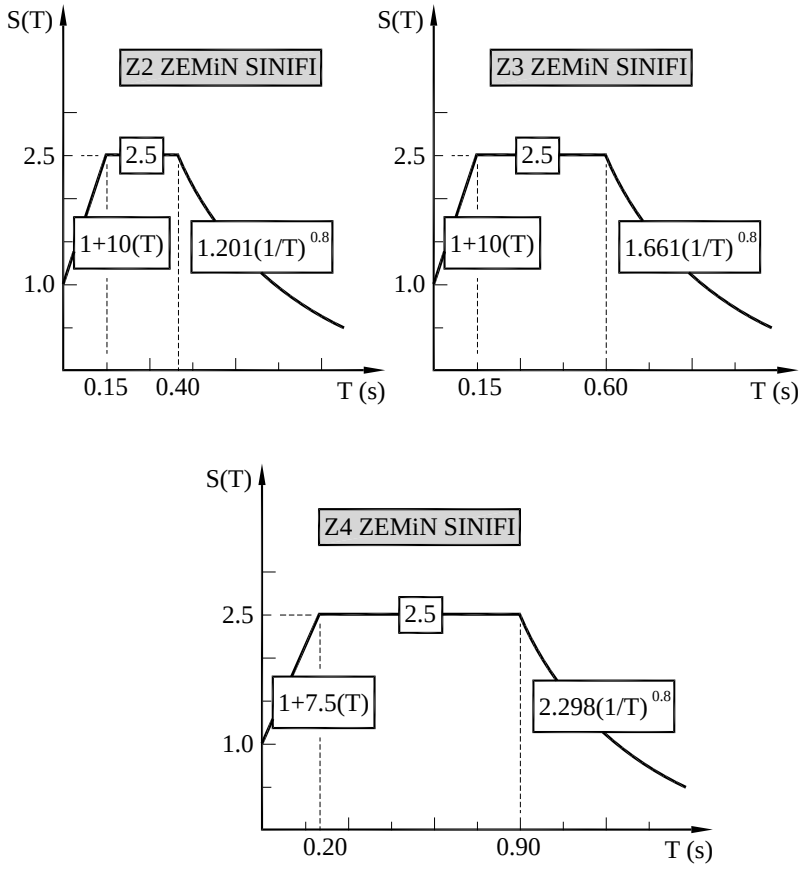
4. ÇOK KATLI ÇELİK ÇERÇEVE SİSTEMDE DEPREM PERFORMANSININ BELİRLENMESİ ÜZERİNDE SAYISAL BİR İNCELEME

Bu bölümde, çok katlı çelik yapı sistemlerini oluşturan düzlem çerçevelerin deprem etkileri altındaki doğrusal olmayan davranışı ve performans değerlendirmesi üzerinde sayısal bir inceleme yapılacaktır.

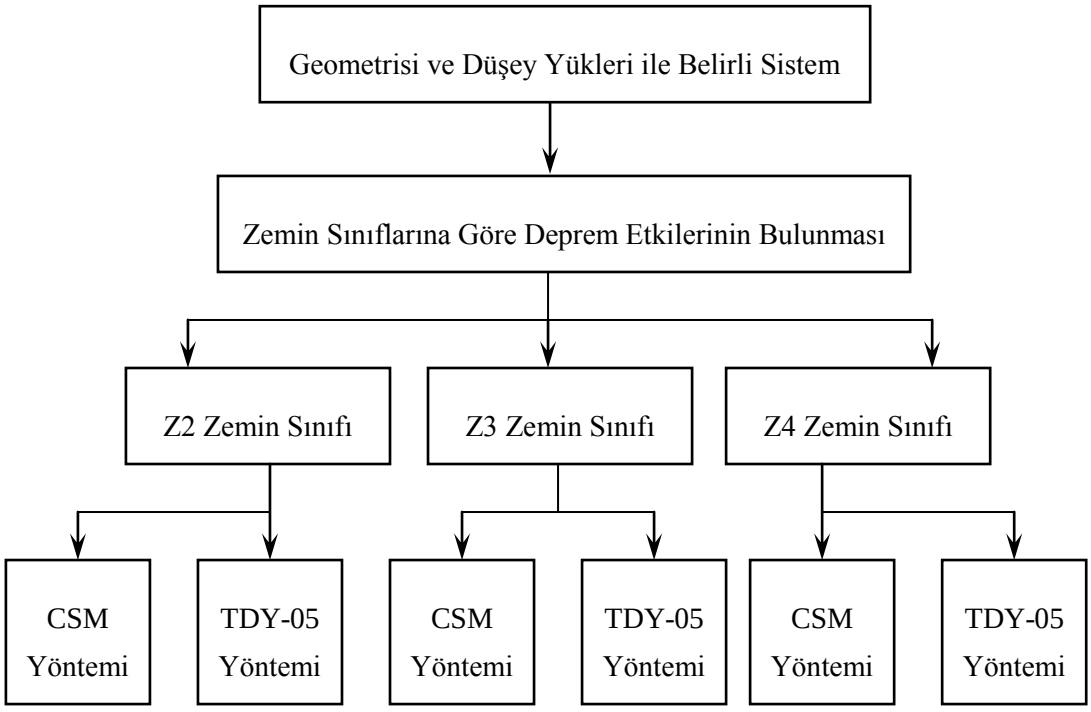
Bu amaçla, geometrisi ve düşey yükleri belirlenen bir örnek taşıyıcı sistem üzerinde, 1998 Türk Deprem Yönetmeliğinde (TDY 98)[16] tanımlanan Z2, Z3 ve Z4 zemin sınıflarına karşı gelen spektrum eğrileri için ayrı ayrı deprem etkileri hesaplanmıştır, Şekil 4.1. Yapı sisteminin, deprem etkilerini bir doğrultuda moment aktaran çerçeveler ile, diğer doğrultuda ise düşey çapraz sistemi ile zemine aktardığı gözönünde tutulmaktadır. Çerçeve doğrultusunda yapı yükleri, hareketli yükler ve hesaplanan deprem etkileri için, TS-648 çelik yapılar standardına [17] göre boyutlandırma yapılarak enkesit profilleri belirlenmiştir. Boyutlandırma, güçlü kolon tasarımı dikkate alınarak ve alınmayarak her iki durum için tekrarlanmıştır.

Yukarıda açıklandığı şekilde boyutlandırılan sistemlerin herbiri için, sabit düşey yükler ve orantılı olarak artan yatay yükler etkisinde, SAP 2000 analiz programından yararlanarak taban kesme kuvveti-tepe yerdeğiştirmesi grafiği (kapasite eğrisi) elde edilmiştir. Elastik istem spektrum eğrisinde dönüşüm ve ardışık yaklaşım işlemleri yapılarak, kapasite spektrumu metodu (CSM) [1] ve TDY-05 [5] yöntemlerine göre performans noktaları bulunmuştur. Şekil 4.2 de yapılan işlemlerin akış şeması görülmektedir.

Performans noktasındaki yerdeğiştirmeler ve elemanların performans seviyeleri, bu noktaya karşı gelen, SAP 2000 analizindeki hesap adımına ait değerlerdir. Belirlenen göreli kat ötelemelerine göre, ATC 40'da verilen kriterler esas alınarak performans değerlendirmesi yapılmıştır.



Şekil 4.1 TDY 98 Deprem Yönetmeliği Spektrum Eğrileri



Şekil 4.2 Yapılan İşlemlerin Akış Şeması

4.1 Seçilen Taşıyıcı Sistemin Ortak Özellikleri

Seçilen taşıyıcı sistemin başlıca özellikleri aşağıda sıralanmıştır.

a- Dört kattan oluşan yapının kat yükseklikleri 3 m, toplam yüksekliği 12 m dir.

b- Sistem çerçeve doğrultusunda ve çaprazlar doğrultusunda iki açıklıklıdır. Çerçeve doğrultusunda açıklıklar 6 m, çaprazlar doğrultusunda ise 5 m dir.

c- Çerçeve doğrultusunda ortadaki aks çerçevesi için hesap yapılacağından, çerçeveye yük aktarılan genişlik 5 m olmaktadır.

d- Yapıdaki bütün kolonlar temelde ankastredir.

e- Yapı yükleri ve ilave yükler

Yapı yükleri,	çatıda	: 4	kN/m^2.
	normal katlarda	: 4.5	kN/m^2.
İlave yükler,	çatıda	: 1	kN/m^2.
	normal katlarda	: 2	kN/m^2.

f- Yapının depremselliğine ilişkin özellikler

Etkin yer ivmesi katsayısı : $A_0 = 0.40$

Bina önem katsayısı : $I = 1$

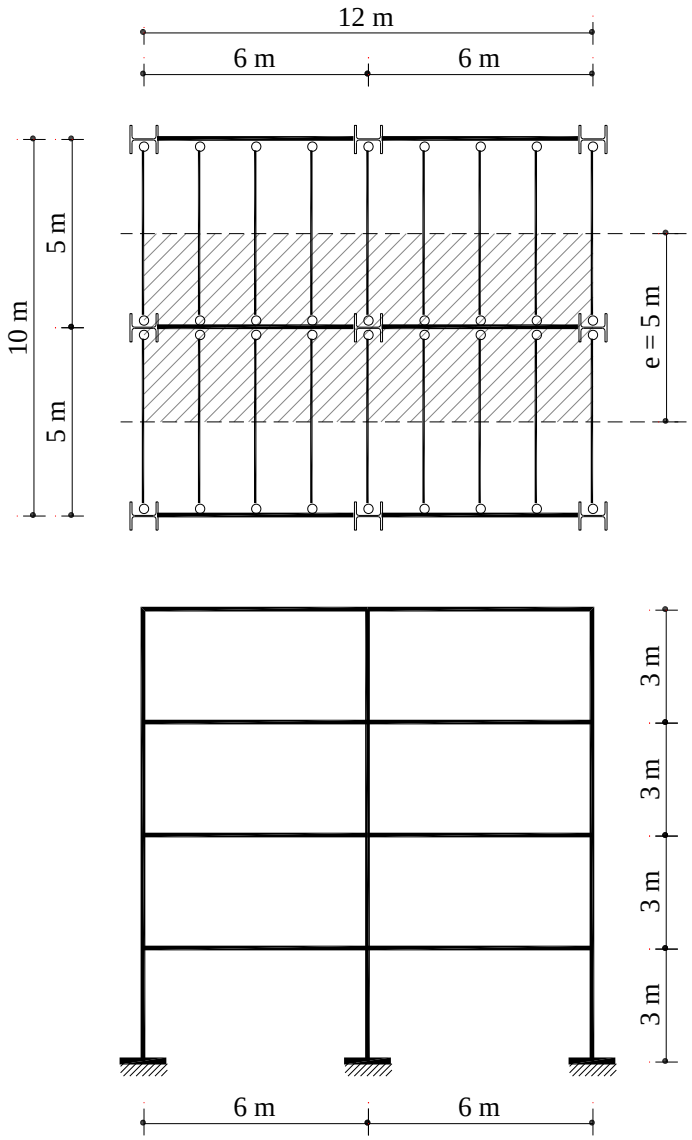
Hareketli yük katılım katsayısı : $n = 0.30$

Deprem yükü azaltma katsayısı : $R = 8$

g- Kullanılan yapı çeliğinin sınıfı ve akma dayanımı

Fe 37 yapı çeliği, akma dayanımı $\sigma_a = 235\ N/mm^2$.

Seçilen örnek yapı sisteminin geometrik özellikleri Şekil 4.3 de gösterilmektedir. Yukarıda açıklanan özelliklere ilave olarak, Z2, Z3 ve Z4 zemin sınıfları için, güçlü kolon tasarımı dikkate alınarak ve alınmayarak altı adet sistem boyutlandırılacaktır. Z4 zemin sınıfını için, yerdeğiştirme etkin ve gerilme etkin tasarıma göre ayrı ayrı hesap yapılarak dört adet sistem boyutlandırılmıştır. Ayrıca hesaplanan bu sistemler içinden Z2 zemin sınıfı için ve güçlü kolon tasarımı dikkate alınan sistem seçilerek, kompakt olmayan (yerel burkulma koşullarını sağlamayan) yapma enkesit profillerine göre boyutlandırılmıştır. Performans noktasının bulunmasında CSM ve TDY-05 yöntemleri kullanılacaktır. Toplam olarak, 9 adet sistem boyutlandırması ve 18 adet sistemin performans değerlendirmesi yapılacaktır.



Şekil 4.3 Taşıyıcı Sistemin Geometrik Özellikleri

4.2 Taşıyıcı Sistem Modellerinin Boyutlandırılması

Bölüm 4.1 de açıklandığı şekilde seçilen taşıyıcı sistem modelleri ülkemizde yürürlükte olan 1998 Türk Deprem Yönetmeliği (TDY-98) ve Çelik Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları Standardına (TS-648) göre boyutlandırılmıştır. Ancak yerdeğiştirmelerin sınırlandırılmasında UBC' 97 yönetmeliği [18] esas alınmıştır.

Aşağıda, boyutlandırmada göz önünde tutulan varsayımlar ve esas alınan yönetmelikler kısaca açıklanacaktır.

4.2.1 Boyutlandırmada Göz Önünde Tutulan Varsayımlar

a- Malzemenin doğrusal-elastik olduğu varsayılmakta, ikinci mertebe etkileri ise TS-648 yönetmeliğinin öngördüğü şekilde burkulma ve moment büyütme katsayıları ile hesaba katılmaktadır.

b- Tüm kirişler ve kolonlar **I** kesitli, kirişler Avrupa **IPE** enkesitli, kolonlar ise Avrupa **HEA** ve **HEB** enkesitli olarak boyutlandırılmıştır.

c- Çerçevelerin düğüm noktalarının rijit, mesnetlerinin ise temelde ankastre oldukları varsayılmaktadır.

d- Döşeme yüklerinin, çerçeve düzlemine dik doğrultudaki ikincil döşeme kirişleri vasıtasıyla çerçeve kirişlerine yayılı yük olarak, deprem yüklerinin ise kat döşemelerine tekil kuvvetler olarak etkidiği idealleştirmesi yapılmıştır.

e- Düzlem çerçevenin çerçeve düzlemine dik doğrultudaki hareketi çapraz sistemi tarafından önlenmektedir. Bu nedenle, kolonların çerçeve düzlemi dışındaki burkulma boyu kolon boyuna eşit olmaktadır. Kolonların yanal burkulmasına karşı gerekli önlemlerin alındığı, kirişlerin yanal burkulmasının ise döşeme sistemi tarafından önlendiği varsayılmıştır.

f- Çerçeve kirişlerinin boyutlandırılmasında kompozit davranış hesaba katılmamıştır.

4.2.2 Boyutlandırmada Esas Alınan Yönetmelikler

a- 1998 Türk Deprem Yönetmeliği

Binaların deprem hesabında *Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi* kullanılmıştır.

Buna göre, binanın tümüne etkiyen toplam eşdeğer deprem yükü (taban kesme kuvveti),

$$V_t = \frac{WA(T_1)}{R_a(T_1)} \geq 0.10 A_0 IW \tag{4.1}$$

bağıntısı ile hesaplanmaktadır. Bu bağıntıda,

W : Binanın deprem sırasındaki toplam ağırlığını

$A(T_1)$: T_1 periyot değerindeki spektral ivme katsayısını

$R_a(T_1)$: T_1 periyot değerindeki deprem yükü azaltma katsayısını

T_1 : Binanın birinci doğal titreşim periyodunu

göstermektedir.

Binanın deprem esnasındaki toplam ağırlığı ise,

$$W = \sum_{i=1}^{N} w_i = \sum_{i=1}^{N} (g_i + nq_i) \tag{4.2}$$

şeklinde hesaplanır. Burada,

w_i : Binanın i'inci katının toplam ağırlığını

g_i : Binanın i'inci katındaki sabit yükleri

q_i : Binanın i'inci katındaki hareketli yükleri

n : Hareketli yük katılım katsayısını

N : Binanın kat adedini

göstermektedir. Deprem yönetmeliği Tablo 6.7 ye göre $n = 0.30$ olarak seçilmiştir.

Spektral ivme katsayısı,

$$A(T_1) = A_0 IS(T_1) \tag{4.3}$$

şeklinde hesaplanır. Burada,

A_0 : Etkin yer ivmesi katsayısını

I : Bina önem katsayısını

$S(T_1)$: T_1 periyot değerindeki elastik tasarım ivme spektrum değerini

göstermektedir. Deprem yönetmeliği Tablo 6.2 ye göre, birinci derece deprem bölgesi için $A_0 = 0.40$ ve Tablo 6.3 e göre, bina önem katsayısı $I = 1.0$ olarak seçilmiştir. $S(T_1)$ değeri ise zemin sınıfına ve T_1 periyot değerine bağlı olarak aşağıdaki gibi hesaplanacaktır.

$$S(T) = 1 + 1.5\frac{T}{T_A} \qquad (0 \le T \le T_A) \qquad (4.4a)$$

$$S(T) = 2.5 \qquad (T_A < T \le T_B) \qquad (4.4b)$$

$$S(T) = 2.5\left(\frac{T_B}{T}\right)^{0.8} \qquad (T > T_B) \qquad (4.4c)$$

T_A ve T_B zeminin karakteristik periyotları olup yerel zemin sınıfına bağlı olarak değişmektedir. Karakteristik periyotların Z2, Z3 ve Z4 zemin sınıfları için aldığı değerler Şekil 4.1 üzerinde gösterilmişlerdir.

Deprem yükü azaltma katsayısı,

$$R_a(T) = 1.5 + (R - 1.5)\frac{T}{T_A} \qquad (0 \le T \le T_A) \qquad (4.5a)$$

$$R_a(T) = R \qquad (T > T_A) \qquad (4.5b)$$

bağıntılarına göre hesaplanacaktır. Burada,

R : Taşıyıcı sistem davranış katsayısını

göstermektedir. Boyutlandırılan bütün binalarda binanın birinci doğal titreşim periyodu T_A değerinden büyük olmaktadır. Bu nedenle deprem yükü azaltma katsayısı taşıyıcı sistem davranış katsayısına eşit ve deprem yönetmeliği Tablo 6.5 e göre $R = 8$ olmaktadır.

Taban kesme kuvveti belirlendikten sonra, katlara etkiyen eşdeğer deprem yükleri,

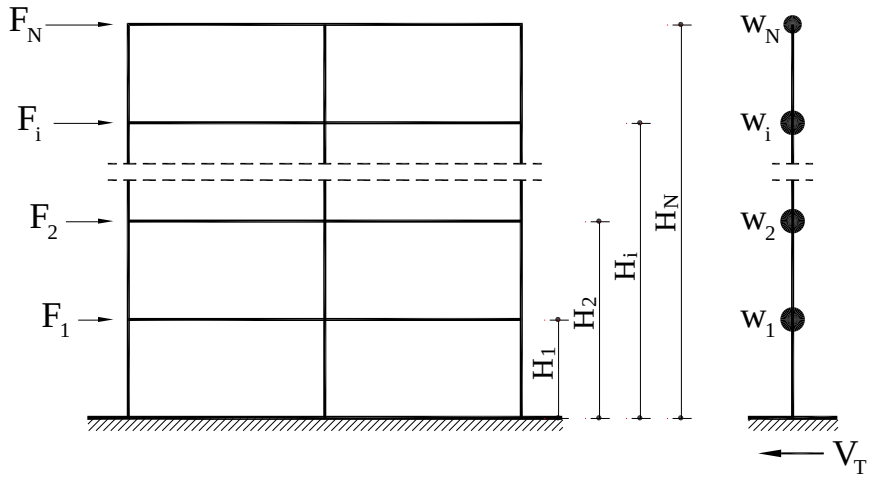
$$F_i = (V_t - \Delta F_N)\frac{w_i H_i}{\sum_{j=1}^{N}(w_j H_j)} \tag{4.6}$$

bağıntısı ile hesaplanacaktır. Burada,

H_i : Binanın i'inci katının yüksekliğini

ΔF_N : Ek eşdeğer deprem yükünü

göstermektedir, Şekil 4.4. İncelenen binalarda bina yüksekliği 25 m den küçük olduğundan deprem yönetmeliğinin 6.7.2.2 maddesine göre $\Delta F_N = 0$ olmaktadır.



Şekil 4.4 Katlara Etkiyen Eşdeğer Deprem Yüklerinin Bulunması

b- TS-648 Çelik Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları Standardı

Eksenel basınç ve eğilmeye maruz çubukların TS-648 Madde 3.4'e göre gerilme kontrolu aşağıdaki formüllerle yapılır.

$$\frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{bem}} + \frac{C_{mx}\sigma_{bx}}{\left(1 - \frac{\sigma_{eb}}{\sigma'_{ex}}\right)\sigma_{Bx}} + \frac{C_{my}\sigma_{by}}{\left(1 - \frac{\sigma_{eb}}{\sigma'_{ey}}\right)\sigma_{By}} \le 1 \tag{4.7}$$

$$\frac{\sigma_{eb}}{0.60\sigma_a} + \frac{\sigma_{bx}}{\sigma_{Bx}} + \frac{\sigma_{by}}{\sigma_{By}} \le 1 \tag{4.8}$$

$\frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{bem}} \leq 0.15$ ise, yukarıdaki bağıntılar yerine,

$$\frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{bem}} + \frac{\sigma_{bx}}{\sigma_{Bx}} + \frac{\sigma_{by}}{\sigma_{By}} \leq 1 \qquad (4.9)$$

bağıntısı kullanılır. Bu bağıntılardaki *x* ve *y* indisleri, eğilmenin meydana geldiği asal eksenleri göstermektedir. *y* doğrultusundaki (çapraz doğrultusu) deprem etkileri düşey çaprazlar vasıtası ile zemine aktarılmaktadır. Bu nedenle, sadece *x* doğrultusundaki etkiler hesaba katılmış ve (4.7), (4.8) ve (4.9) bağıntıları aşağıdaki şekli almıştır.

$$\frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{bem}} + \frac{C_{mx}\sigma_{bx}}{\left(1 - \frac{\sigma_{eb}}{\sigma'_{ex}}\right)\sigma_{Bx}} \leq 1 \qquad (4.7a)$$

$$\frac{\sigma_{eb}}{0.60\sigma_a} + \frac{\sigma_{bx}}{\sigma_{Bx}} \leq 1 \qquad (4.8a)$$

$\frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{bem}} \leq 0.15$ için

$$\frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{bem}} + \frac{\sigma_{bx}}{\sigma_{Bx}} \leq 1 \qquad (4.9a)$$

Bu bağıntılarda,

σ_{bem} : sadece basınç kuvveti altında burkulma emniyet gerilmesini

σ_B : sadece eğilme momenti altında eğilme emniyet gerilmesini

$$\sigma'_e = \frac{1}{2.5} \cdot \frac{\pi^2 E}{\left(Ks_b / i_b\right)^2} = \frac{8290000}{\left(Ks_b / i_b\right)^2} \qquad (4.10)$$

s_b : Eğilme düzlemindeki serbest boyu

i_b : Eğilmenin meydana geldiği düzleme dik eksene göre atalet yarıçapını

K : Eğilme düzlemindeki etkin burkulma boyu katsayısını

σ_{eb} : Eksenel basınç kuvvetine göre hesaplanan gerilmeyi

σ_b : Eğilme momentine göre hesaplanan eğilme gerilmesini

C_m : Yanal harekete karşı serbest olan çerçeve kolonlarında değeri 0.85' e eşit olan bir katsayıyı

göstermektedir.

Gerilme oranlarının (kesitteki gerilmenin emniyet gerilmesine oranı) belirlenmesinde SAP 2000 bilgisayar programının AISC-89 tasarım modülü kullanılmıştır. Yukarıda açıklanan, TS-648 standardındaki hesap yöntemi, AISC-89 [19] Bölüm 1.6.1' deki hesap yönteminin aynı olup sadece (4.10) bağıntısı farklıdır. Yapılan incelemeler sonucunda bu bağıntıdaki farklılığın sonuca etkisinin terkedilebilecek düzeyde olduğu görülmektedir. Ayrıca AISC-89 yönetmeliğinde basınç ve eğilme emniyet gerilmeleri, enkesit profillerinin kompakt olması durumunda $0.66\sigma_a$, kompakt olmaması durumunda ise $0.60\sigma_a$ olmaktadır. TS-648' e göre bu değer daima $0.60\sigma_a$ olarak verilmiştir. Hesaplarda kullanılan Avrupa **IPE**, **HEA** ve **HEB** profiller kompakt kesit sınıfına girdiğinden, kesit hesabı programı emniyet gerilmelerini $0.66\sigma_a$ olarak almaktadır. Her iki yönetmeliğin birbiriyle uyumlu olması amacıyla, gerilme oranları hesaplanırken akma gerilmesi yüzde on azaltılarak aradaki fark ortadan kaldırılmıştır.

c- UBC' 97 Yönetmeliği

Yerdeğiştirme sınır durumlarının belirlenmesinde, UBC' 97 yönetmeliğinin 1630.10.2 maddesi kullanılmıştır. Bu yönetmelikteki, birinci doğal titreşim periyoduna ve taşıyıcı sistem davranış katsayısına göre belirlenen göreli kat ötelemesi sınır değerleri aşağıda verilmiştir.

$$T > 0.7\,\text{s} \qquad 0.7R\frac{\delta}{H} \le 0.020 \tag{4.11}$$

$$T \le 0.7\,\text{s} \qquad 0.7R\frac{\delta}{H} \le 0.025 \tag{4.12}$$

Taşıyıcı sistem davranış katsayısının $R = 8$ değeri için, yukarıdaki bağıntılar aşağıdaki şekli almaktadır.

$T > 0.7\,\text{s}$ $\qquad \frac{\delta}{H} \le 0.00357$ (4.11a)

$T \le 0.7\,\text{s}$ $\qquad \frac{\delta}{H} \le 0.00446$ (4.12a)

4.2.3 Analiz ve Boyutlandırma

4.2.3.1 Tasarım Deprem Yüklerinin Bulunması

Yukarıda esasları açıklanan 1998 Türk Deprem Yönetmeliğine göre, taşıyıcı sistem modellerinin tasarımında esas alınan deprem yükleri Tablo 4.1 de verilmiştir.

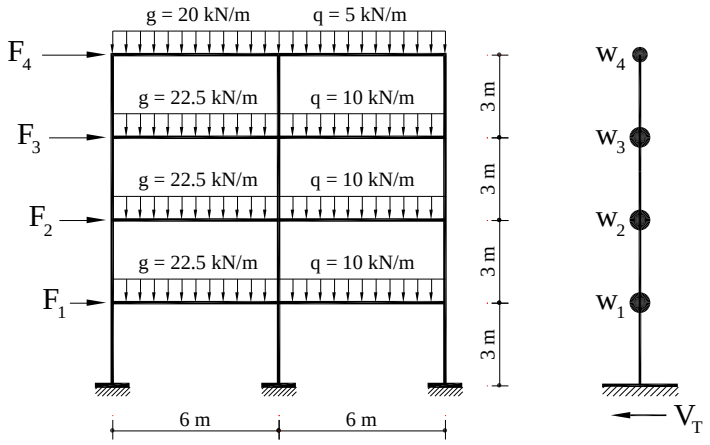
Tablo 4.1 Taşıyıcı Sistem Modellerinde Deprem Yükleri

		A_0	I	T (sn)	$S(T)$	R	n	W (kN)	V_t (kN)
Z2 Zemin Grubu	Güçlü Kolon Tasarımı Var	0.40	1.0	0.994	1.207	8	0.30	1221.35	73.73
	Güçlü Kolon Tas.Yok R=8	0.40	1.0	1.183	1.050	8	0.30	1215.51	63.84
	Güçlü Kolon Tas.Yok R=5	0.40	1.0	1.042	1.162	5	0.30	1220.53	113.45
Z3 Zemin Grubu	Güçlü Kolon Tasarımı Var	0.40	1.0	0.994	1.670	8	0.30	1221.35	101.98
	Güçlü Kolon Tas.Yok R=8	0.40	1.0	1.079	1.563	8	0.30	1217.19	95.14
	Güçlü Kolon Tas.Yok R=5	0.40	1.0	0.895	1.815	5	0.30	1223.79	177.70
Z4 Zemin Grubu (Yerd. Etkin)	Güçlü Kolon Tasarımı Var	0.40	1.0	0.847	2.500	8	0.30	1226.55	153.32
	Güçlü Kolon TasarımıYok	0.40	1.0	0.848	2.500	8	0.30	1226.71	153.34
Z4 Zemin Grubu (Gerilme Etkin)	Güçlü Kolon Tasarımı Var	0.40	1.0	0.884	2.465	8	0.30	1225.31	151.04
	Güçlü Kolon TasarımıYok	0.40	1.0	0.921	2.454	8	0.30	1223.46	150.14
Z2 Güçlü Kolon Kompakt Olmayan Kesit Tas. R=8		0.40	1.0	0.978	1.223	8	0.30	1221.35	74.67
Z2 Güçlü Kolon Kompakt Olmayan Kesit Tas. R=5		0.40	1.0	1.042	1.162	5	0.30	1252.79	116.47

V_t taban kesme kuvvetinin katlara ($w_i \times H_i$ / $\Sigma w_i \times H_i$) değerleri ile orantılı olarak dağıtılması sonucunda kat eşdeğer deprem kuvvetleri elde edilmiştir. Bu değerler Tablo 4.2 de verilmiştir. Yapı yükleri ve ilave yükler bütün taşıyıcı sistem modellerinde aynı değerleri almaktadır, Şekil 4.5.

Tablo 4.2 Eşdeğer Kat Kesme Kuvvetlerinin Bulunması

		Kat No	w_i (kN)	H_i (m)	$w_i \times H_i$ (kNm)	$\Sigma w_i \times H_i$ (kNm)	W (kN)	F_i (kN)
Z2 Zemin Grubu	Güçlü Kolon Tasarımı Var	1	318.43	3.0	955.29	8926.19	1221.35	7.89
		2	318.29	6.0	1909.72			15.77
		3	318.14	9.0	2863.29			23.65
		4	266.49	12.0	3197.89			26.41
	Güçlü Kolon TasarımıYok (R=8)	1	317.31	3.0	951.95	8881.94	1215.51	6.84
		2	316.69	6.0	1900.12			13.66
		3	316.06	9.0	2844.51			20.44
		4	265.45	12.0	3185.37			22.89
	Güçlü Kolon TasarımıYok (R=5)	1	319.19	3.0	957.57	8910.57	1220.53	12.19
		2	318.47	6.0	1910.81			24.33
		3	317.42	9.0	2856.82			36.37
		4	265.45	12.0	3185.37			40.56
Z3 Zemin Grubu	Güçlü Kolon Tasarımı Var	1	318.43	3.0	955.29	8926.19	1221.35	10.91
		2	318.29	6.0	1909.72			21.82
		3	318.14	9.0	2863.29			32.71
		4	266.49	12.0	3197.89			36.53
	Güçlü Kolon TasarımıYok (R=8)	1	318.14	3.0	954.43	8889.61	1217.19	10.21
		2	317.42	6.0	1904.52			20.38
		3	316.28	9.0	2846.49			30.46
		4	265.35	12.0	3184.17			34.08
	Güçlü Kolon TasarımıYok (R=5)	1	320.38	3.0	961.16	8930.68	1223.79	19.12
		2	319.47	6.0	1916.81			38.14
		3	318.17	9.0	2863.50			56.98
		4	265.77	12.0	3189.22			63.46
Z4 Zemin Grubu Yerdeğiştirme Etkin	Güçlü Kolon Tasarımı Var	1	321.73	3.0	965.20	8943.59	1226.55	16.55
		2	320.91	6.0	1925.47			33.01
		3	318.00	9.0	2861.97			49.06
		4	265.91	12.0	3190.95			54.70
	Güçlü Kolon TasarımıYok	1	322.02	3.0	966.05	8943.30	1226.71	16.56
		2	320.92	6.0	1925.53			33.01
		3	317.86	9.0	2860.78			49.05
		4	265.91	12.0	3190.95			54.71
Z4 Zemin Grubu Gerilme Etkin	Güçlü Kolon Tasarımı Var	1	320.38	3.0	961.15	8945.28	1225.31	16.23
		2	319.98	6.0	1919.85			32.42
		3	318.40	9.0	2865.59			48.38
		4	266.55	12.0	3198.70			54.01
	Güçlü Kolon TasarımıYok	1	320.52	3.0	961.56	8925.18	1223.46	16.18
		2	319.92	6.0	1919.54			32.29
		3	317.37	9.0	2856.31			48.05
		4	265.65	12.0	3187.77			53.62
Z2 Güçlü Kolon Kompakt Olmayan Kesit Tasarımı (R=8)		1	318.43	3.0	955.29	8926.19	1221.35	7.99
		2	318.29	6.0	1909.72			15.98
		3	318.14	9.0	2863.29			23.95
		4	266.49	12.0	3197.89			26.75
Z2 Güçsüz Kolon Kompakt Olmayan Kesit Tasarımı (R=5)		1	329.55	3.0	988.65	9107.54	1252.79	12.64
		2	329.14	6.0	1974.82			25.25
		3	328.37	9.0	2955.35			37.79
		4	265.73	12.0	3188.72			40.78



Şekil 4.5 Yapı Yükleri ve Deprem Yüklerinin Bulunması

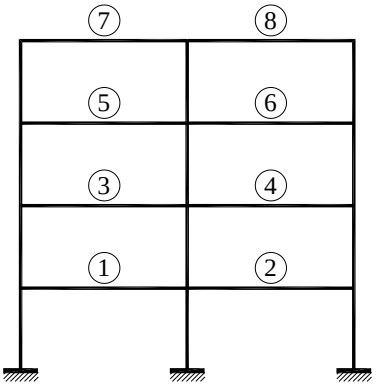
4.2.3.2 Enkesit Profilleri, Gerilme Oranları ve Yanal Yerdeğiştirme Değerlerinin Bulunması

Bir önceki bölümde elde edilen düşey yükler ve deprem kuvvetler altında taşıyıcı sistem modelleri hesaplanarak enkesit profilleri elde edilmiştir. Tablo 4.3 te kiriş enkesit profilleri ve gerilme oranları, Tablo 4.4 de kolon enkesit profilleri ve gerilme oranları görülmektedir.

SAP 2000 programının çıkış bilgileri içinde yer alan enkesit profilleri ve gerilme oranı değerleri Ek-A' da gösterilmiştir. Ayrıca Z2 zemin sınıfı için ve kompakt olmayan tasarıma göre boyutlandırılan yapma profil kesitleri Ek-A Şekil A.10' da görülmektedir.

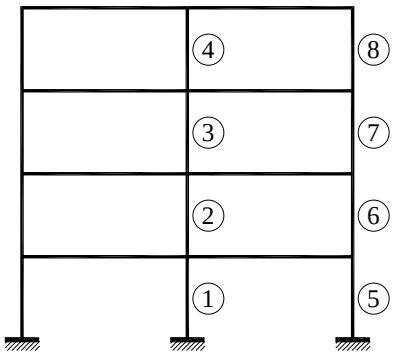
Tablo 4.3 Kiriş Enkesit Profilleri ve Gerilme Oranları

		(1)	*(2)*	*(3)*	*(4)*	*(5)*	*(6)*	*(7)*	*(8)*
Z2	Güçlü Kolon Tasarımı Var	Ipe-360	Ipe-360	Ipe-360	Ipe-360	Ipe-360	Ipe-360	Ipe-330	Ipe-330
		0.965	0.919	0.925	0.895	0.884	0.884	0.914	0.914
	Güçlü Kolon Tas. Yok R=8	Ipe-360	Ipe-360	Ipe-360	Ipe-360	Ipe-360	Ipe-360	Ipe-330	Ipe-330
		0.956	0.944	0.932	0.932	0.932	0.932	0.953	0.953
	Güçlü Kolon Tas. Yok R=5	Ipe-360o	Ipe-360o	Ipe-360o	Ipe-360o	Ipe-360o	Ipe-360o	Ipe-330	Ipe-330
		0.970	0.801	0.920	0.788	0.812	0.802	0.962	0.962
Z3	Güçlü Kolon Tasarımı Var	Ipe-360	Ipe-360	Ipe-360	Ipe-360	Ipe-360	Ipe-360	Ipe-330	Ipe-330
		1.072	0.931	1.039	0.897	0.915	0.890	0.952	0.952
	Güçlü Kolon Tas. Yok R=8	Ipe-360	Ipe-360	Ipe-360	Ipe-360	Ipe-360	Ipe-360	Ipe-330	Ipe-330
		1.038	0.913	0.995	0.899	0.920	0.920	0.959	0.959
	Güçlü Kolon Tas. Yok R=5	Ipe-400	Ipe-400	Ipe-400	Ipe-400	Ipe-400	Ipe-400	Ipe-330	Ipe-330
		1.054	0.779	0.999	0.772	0.833	0.712	0.940	0.940
Z4 Yer. Etkin	Güçlü Kolon Tasarımı Var	Ipe-400	Ipe-400	Ipe-400	Ipe-400	Ipe-360	Ipe-360	Ipe-330	Ipe-330
		0.932	0.764	0.906	0.761	0.996	0.874	0.940	0.940
	Güçlü Kolon TasarımıYok	Ipe-400	Ipe-400	Ipe-400	Ipe-400	Ipe-360	Ipe-360	Ipe-330	Ipe-330
		0.889	0.804	0.861	0.815	0.958	0.844	0.931	0.931
Z4 Geril. Etkin	Güçlü Kolon Tasarımı Var	Ipe-360o	Ipe-360o	Ipe-360o	Ipe-360o	Ipe-360	Ipe-360	Ipe-330	Ipe-330
		1.015	0.835	0.987	0.830	0.963	0.842	0.867	0.867
	Güçlü Kolon TasarımıYok	Ipe-360o	Ipe-360o	Ipe-360o	Ipe-360o	Ipe-360	Ipe-360	Ipe-330	Ipe-330
		1.011	0.843	0.977	0.843	0.972	0.868	0.932	0.932
Z2 Güçlü Kolon Kompakt Olmayan Kesit Tas. R=8		Kr-360	Kr-360	Kr-360	Kr-360	Kr-360	Kr-360	Kr-330	Kr-330
		0.960	0.911	0.920	0.886	0.871	0.871	0.887	0.887
Z2 Güçsüz Kolon Kompakt Olmayan Kesit Tas. R=5		Kro-360	Kro-360	Kro-360	Kro-360	Kro-360	Kro-360	Kr-330	Kr-330
		0.912	0.745	0.866	0.734	0.760	0.748	0.855	0.855



Tablo 4.4 Kolon Enkesit Profilleri ve Gerilme Oranları

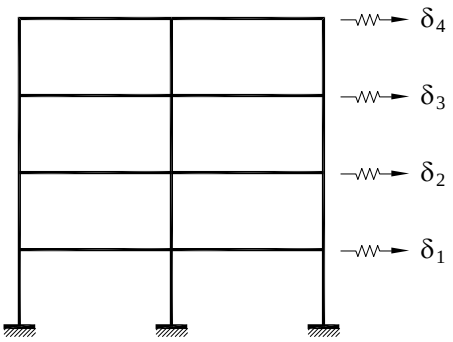
		(1)	*(2)*	*(3)*	*(4)*	*(5)*	*(6)*	*(7)*	*(8)*
Z2	Güçlü Kolon Tasarımı Var	Heb-260	Heb-260	Heb-240	Heb-240	Hea-220	Hea-220	Hea-220	Hea-220
		0.771	0.554	0.442	0.234	0.836	0.864	0.699	0.670
	Güçlü Kolon Tas. Yok R=8	Heb-220	Heb-220	Hea-200	Hea-200	Hea-200	Hea-200	Hea-180	Hea-180
		0.995	0.745	0.874	0.424	1.002	1.003	0.978	0.847
	Güçlü Kolon Tas. Yok R=5	Heb-240	Heb-240	Hea-220	Hea-200	Hea-220	Hea-220	Hea-200	Hea-180
		1.041	0.795	0.929	0.597	0.993	0.999	1.019	0.933
Z3	Güçlü Kolon Tasarımı Var	Heb-260	Heb-260	Heb-240	Heb-240	Hea-220	Hea-220	Hea-220	Hea-220
		0.894	0.639	0.530	0.284	0.932	0.963	0.787	0.666
	Güçlü Kolon Tas. Yok R=8	Heb-240	Heb-240	Hea-220	Hea-180	Hea-220	Hea-220	Hea-200	Hea-180
		0.965	0.720	0.854	0.625	0.924	0.953	0.962	0.921
	Güçlü Kolon Tas. Yok R=5	Heb-280	Heb-280	Hea-240	Hea-220	Hea-240	Hea-240	Hea-220	Hea-200
		1.045	0.774	0.975	0.641	1.028	0.974	1.013	0.926
Z4 Yer. Etkin	Güçlü Kolon Tasarımı Var	Heb-280	Heb-280	Heb-260	Hea-240	Heb-240	Heb-240	Hea-240	Hea-200
		0.883	0.655	0.557	0.491	0.760	0.707	0.776	0.877
	Güçlü Kolon TasarımıYok	Heb-260	Heb-260	Hea-260	Hea-240	Heb-260	Heb-260	Hea-260	Hea-200
		0.899	0.744	0.697	0.499	0.724	0.615	0.715	0.873
Z4 Geril. Etkin	Güçlü Kolon Tasarımı Var	Hea-300	Hea-300	Hea-280	Hea-260	Hea-260	Hea-260	Hea-240	Hea-240
		0.991	0.728	0.649	0.395	0.879	0.812	0.748	0.655
	Güçlü Kolon TasarımıYok	Heb-260	Heb-260	Hea-260	Hea-200	Hea-260	Hea-260	Hea-240	Hea-200
		0.976	0.753	0.753	0.688	0.897	0.803	0.792	0.918
Z2 Güçlü Kolon Kompakt Olmayan Kesit Tas. R=8		Klb-260	Klb-260	Klb-240	Klb-260	Kla-220	Kla-220	Kla-220	Kla-220
		0.791	0.562	0.478	0.237	0.844	0.880	0.706	0.704
Z2 Güçsüz Kolon Kompakt Olmayan Kesit Tas. R=5		Klb-240	Klb-240	Kla-220	Kla-200	Kla-220	Kla-220	Kla-200	Kla-180
		0.995	0.756	0.879	0.594	0.935	0.943	1.021	0.908



Deprem yüklemesindeki yerdeğiştirme (δ) değerleri Tablo 4.5 te görülmektedir. Bu tabloda ayrıca göreli kat ötelemelerinin değerleri de yer almaktadır . Bu değerler UBC' 97 yönetmeliğindeki sınır değerler ile karşılaştırılmıştır.

Tablo 4.5 Deprem Etkilerinden Oluşan Kat Yatay Yerdeğiştirmeleri

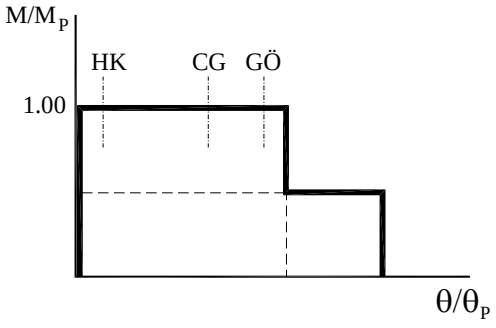
		Kat No	δ_i *(cm)*	H_i *(cm)*	δ/H_i	$(\delta/H_i)_{sınır}$
Z2 Zemin Grubu	Güçlü Kolon Tasarımı Var	1	0.57	300	0.00190	0.00357
		2	1.31	300	0.00247	
		3	1.92	300	0.00203	
		4	2.28	300	0.00120	
	Güçlü Kolon TasarımıYok (R=8)	1	0.69	300	0.00230	0.00357
		2	1.50	300	0.00270	
		3	2.38	300	0.00293	
		4	2.88	300	0.00167	
	Güçlü Kolon TasarımıYok (R=5)	1	0.92	300	0.00307	0.00571
		2	2.04	300	0.00373	
		3	3.21	300	0.00390	
		4	4.06	300	0.00283	
Z3 Zemin Grubu	Güçlü Kolon Tasarımı Var	1	0.79	300	0.00263	0.00357
		2	1.80	300	0.00337	
		3	2.65	300	0.00283	
		4	3.14	300	0.00163	
	Güçlü Kolon TasarımıYok (R=8)	1	0.81	300	0.00270	0.00357
		2	1.82	300	0.00337	
		3	2.87	300	0.00350	
		4	3.70	300	0.00277	
	Güçlü Kolon TasarımıYok (R=5)	1	1.02	300	0.00340	0.00571
		2	2.32	300	0.00433	
		3	3.70	300	0.00460	
		4	4.71	300	0.00337	
Z4 Zemin Grubu Yerdeğiştirme Etkin	Güçlü Kolon Tasarımı Var	1	0.78	300	0.00260	0.00357
		2	1.80	300	0.00340	
		3	2.81	300	0.00337	
		4	3.67	300	0.00287	
	Güçlü Kolon TasarımıYok	1	0.76	300	0.00253	0.00357
		2	1.79	300	0.00343	
		3	2.82	300	0.00343	
		4	3.68	300	0.00287	
Z4 Zemin Grubu Gerilme Etkin	Güçlü Kolon Tasarımı Var	1	0.86	300	0.00287	0.00357
		2	2.03	300	0.00390	
		3	3.10	300	0.00357	
		4	3.79	300	0.00230	
	Güçlü Kolon TasarımıYok	1	0.90	300	0.00300	0.00357
		2	2.10	300	0.00400	
		3	3.24	300	0.00380	
		4	4.27	300	0.00343	
Z2 Güçlü Kolon Kompakt Olmayan Kesit Tasarımı R=8		1	0.56	300	0.00187	0.00357
		2	1.29	300	0.00243	
		3	1.88	300	0.00197	
		4	2.24	300	0.00120	
Z2 Güçsüz Kolon Kompakt Olmayan Kesit Tasarımı R=5		1	0.94	300	0.00313	0.00571
		2	2.07	300	0.00377	
		3	3.28	300	0.00403	
		4	4.15	300	0.00290	



4.2.4 Taşıyıcı Sistem Modellerinin Performans Değerlendirmesi

Bu çalışmada, Kapasite Spektrum Yöntemi (CSM) ve TDY-05 yöntemlerine göre performans noktaları bulunacak, FEMA 356' ya göre eleman performans seviyeleri belirlenecek ve ATC 40' a göre yatay yerdeğiştirme performans değerlendirmesi yapılacaktır.

Plastik mafsallardaki eğilme momenti-plastik dönme ilişkileri rijit plastik olarak alınmaktadır. Buna göre, her enkesit profili için Bölüm 3 Tablo 3.9' a göre eğilme momenti-dönme grafikleri elde edilmiştir, Şekil 4.6. Bu şekilde hesaplanan değerler Ek-B'de her profil için verilmektedir.



Şekil 4.6 Eğilme Momenti – Dönme Grafiği

Elde edilen eğilme momenti-dönme grafikleri SAP 2000 programındaki ilgili kesitlere atanarak taban kesme kuvveti-tepe yerdeğiştirmesi grafiği (kapasite eğrisi) elde edilmektedir. Bu grafik Bölüm 3' te açıklanan dönüşüm bağıntıları kullanılarak spektral formata dönüştürülmüştür. Daha sonra, istem spektrumu üzerinde ardışık yaklaşım yapılarak performans noktaları bulunmuştur. Bu eğriler Ek-C' de herbir taşıyıcı sistem modeli için ayrıntılı olarak verilmektedir. Bu bölümde belirlenen, performans noktasındaki eleman performans seviyeleri Ek-D' de, yerdeğiştirme performans değerleri ise aşağıdaki tablolarda verilmiştir.

Z2 Zemin sınıfı için elde edilen değerler Tablo 4.6 ve Tablo 4.7 de görülmektedir.

Tablo 4.6 Z2 Zemin Sınıfı İçin ve Güçlü Kolon Tasarımı Dikkate Alınmayan Sistemin Performans Değerlendirmesi (R=8)

Kat no	***Kapasite Spektrumu Yöntemi (CSM)***				***TDY-05 Yöntemi***			
	Yerdeğiş. (cm)	***Göreli Kat Ötelemesi***	***Yapısal Stabilite***	***Performans Değeri***	***Yerdeğiş. (cm)***	***Göreli Kat Ötelemesi***	***Yapısal Stabilite***	***Performans Değeri***
4	15.04	0.00567	0.08621	***HK (IO)***	19.04	0.00567	0.08703	***HK (IO)***
3	13.34	0.01363	0.06593	***CG (LS)***	17.34	0.01370	0.06593	***CG (LS)***
2	9.25	0.01163	0.05536	***CG (LS)***	13.23	0.01167	0.05537	***CG (LS)***
1	5.76	0.01920	0.04530	***CG (LS)***	9.73	0.03243	0.04552	***GÖ (CP)***
HK (IO) : Hemen Kullanım (Immediate Occupancy)					*CG (LS) : Can Güvenliği (Life Safety)*			
GÖ (CP) : Göçmenin Önlenmesi (Collapse Prevention)					*G (C) : Göçme (Collapse)*			

Tablo 4.7 Z2 Zemin Sınıfı İçin ve Güçlü Kolon Tasarımı Dikkate Alınmayan Sistemin Performans Değerlendirmesi (R=5)

Kat no	***Kapasite Spektrumu Yöntemi (CSM)***				
	Yerdeğiş. (cm)	***Göreli Kat Ötelemesi***	***Yapısal Stabilite***	***Performans Değeri***	
4	13.25	0.00717	0.10702	***HK (IO)***	*HK (IO):Hemen Kullanım (Immediate Occupancy)*
3	11.10	0.01217	0.08805	***CG (LS)***	*GÖ(CP):Göçmenin Önlenmesi(Collapse Prevention)*
2	7.45	0.01097	0.07392	***CG (LS)***	*CG (LS) : Can Güvenliği (Life Safety)*
1	4.16	0.01387	0.06077	***CG (LS)***	*G (C) : Göçme (Collapse)*

Tablo 4.8 Z2 Zemin Sınıfı İçin ve Güçlü Kolon Tasarımı Dikkate Alınan Sistemin Performans Değerlendirmesi

Kat no	***Kapasite Spektrumu Yöntemi (CSM)***				***TDY-05 Yöntemi***			
	Yerdeğiş. (cm)	***Göreli Kat Ötelemesi***	***Yapısal Stabilite***	***Performans Değeri***	***Yerdeğiş. (cm)***	***Göreli Kat Ötelemesi***	***Yapısal Stabilite***	***Performans Değeri***
4	12.36	0.00510	0.11194	***HK (IO)***	15.36	0.00577	0.12365	***HK (IO)***
3	10.83	0.00917	0.09210	***HK (IO)***	13.63	0.01080	0.10174	***CG (LS)***
2	8.08	0.01327	0.07733	***CG (LS)***	10.39	0.01613	0.08543	***CG (LS)***
1	4.10	0.01367	0.06360	***CG (LS)***	5.55	0.01850	0.07026	***CG (LS)***
HK (IO) : Hemen Kullanım (Immediate Occupancy)					*CG (LS) : Can Güvenliği (Life Safety)*			
GÖ (CP) : Göçmenin Önlenmesi (Collapse Prevention)					*G (C) : Göçme (Collapse)*			

Z3 Zemin sınıfı için elde edilen değerler Tablo 4.8 ve Tablo 4.9 de görülmektedir.

Tablo 4.9 Z3 Zemin Sınıfı İçin ve Güçlü Kolon Tasarımı Dikkate Alınmayan Sistemin Performans Değerlendirmesi (R=8)

Kat no	***Kapasite Spektrumu Yöntemi (CSM)***				***TDY-05 Yöntemi***			
	Yerdeğiş. (cm)	***Göreli Kat Ötelemesi***	***Yapısal Stabilite***	***Performans Değeri***	***Yerdeğiş. (cm)***	***Göreli Kat Ötelemesi***	***Yapısal Stabilite***	***Performans Değeri***
4	19.49	0.00917	0.11018	***HK (IO)***	24.10	0.00953	0.11051	***HK (IO)***
3	16.74	0.01567	0.09063	***HK (IO)***	21.24	0.01630	0.09090	***HK (IO)***
2	12.04	0.01533	0.07609	***CG (LS)***	16.35	0.01590	0.07631	***CG (LS)***
1	7.44	0.02480	0.06255	***GÖ (CP)***	11.58	0.03860	0.06274	***GÖ (CP)***
HK (IO) : Hemen Kullanım (Immediate Occupancy)					*CG (LS) : Can Güvenliği (Life Safety)*			
GÖ (CP) : Göçmenin Önlenmesi (Collapse Prevention)					*G (C) : Göçme (Collapse)*			

Tablo 4.10 Z3 Zemin Sınıfı İçin ve Güçlü Kolon Tasarımı Dikkate Alınmayan Sistemin Performans Değerlendirmesi (R=5)

Kat no	***Kapasite Spektrumu Yöntemi (CSM)***				
	Yerdeğiş. (cm)	***Göreli Kat Ötelemesi***	***Yapısal Stabilite***	***Performans Değeri***	
4	15.25	0.00793	0.15448	***HK (IO)***	*HK(IO):Hemen Kullanım (Immediate Occupancy)*
3	12.87	0.01437	0.12710	***CG (LS)***	*GÖ(CP):Göçmenin Önlenmesi (Collapse Prevention)*
2	8.56	0.01350	0.10670	***CG (LS)***	*CG (LS) : Can Güvenliği (Life Safety)*
1	4.51	0.01503	0.08771	***CG (LS)***	*G (C) : Göçme (Collapse)*

Tablo 4.11 Z3 Zemin Sınıfı İçin ve Güçlü Kolon Tasarımı Dikkate Alınan Sistemin Performans Değerlendirmesi

Kat no	***Kapasite Spektrumu Yöntemi (CSM)***				***TDY-05 Yöntemi***			
	Yerdeğiş. (cm)	***Göreli Kat Ötelemesi***	***Yapısal Stabilite***	***Performans Değeri***	***Yerdeğiş. (cm)***	***Göreli Kat Ötelemesi***	***Yapısal Stabilite***	***Performans Değeri***
4	17.55	0.00600	0.12371	***HK (IO)***	21.17	0.00620	0.12490	***HK (IO)***
3	15.75	0.01140	0.10180	***CG (LS)***	19.31	0.01173	0.10202	***CG (LS)***
2	12.33	0.01710	0.08549	***CG (LS)***	15.79	0.01750	0.08567	***CG (LS)***
1	7.20	0.02400	0.07031	***GÖ (CP)***	10.54	0.03513	0.07046	***GÖ (CP)***
HK (IO) : Hemen Kullanım (Immediate Occupancy)					*CG (LS) : Can Güvenliği (Life Safety)*			
GÖ (CP) : Göçmenin Önlenmesi (Collapse Prevention)					*G (C) : Göçme (Collapse)*			

Z4 Zemin sınıfı için elde edilen değerler Tablo 4.10, Tablo 4.11, Tablo 4.12 ve Tablo 4.13 te görülmektedir.

Tablo 4.12 Z4 Zemin Sınıfı İçin, Yerdeğiştirme Etkin ve Güçlü Kolon Tasarımı Dikkate Alınmayan Sistemin Performans Değerlendirmesi

Kat no	***Kapasite Spektrumu Yöntemi (CSM)***				***TDY-05 Yöntemi***			
	Yerdeğiş. (cm)	***Göreli Kat Ötelemesi***	***Yapısal Stabilite***	***Performans Değeri***	***Yerdeğiş. (cm)***	***Göreli Kat Ötelemesi***	***Yapısal Stabilite***	***Performans Değeri***
4	18.38	0.01073	0.17701	***CG (LS)***	24.50	0.01207	0.18092	***CG (LS)***
3	15.16	0.01553	0.14563	***CG (LS)***	20.88	0.02003	0.14885	***GÖ (CP)***
2	10.50	0.01800	0.12223	***CG (LS)***	14.87	0.02477	0.12493	***GÖ (CP)***
1	5.10	0.01700	0.10044	***CG (LS)***	7.44	0.02480	0.10267	***GÖ (CP)***
HK (IO) : Hemen Kullanım (Immediate Occupancy) *CG (LS) : Can Güvenliği (Life Safety)* *GÖ (CP) : Göçmenin Önlenmesi (Collapse Prevention)* *G (C) : Göçme (Collapse)*								

Tablo 4.13 Z4 Zemin Sınıfı İçin, Yerdeğiştirme Etkin ve Güçlü Kolon Tasarımı Dikkate Alınan Sistemin Performans Değerlendirmesi

Kat no	***Kapasite Spektrumu Yöntemi (CSM)***				***TDY-05 Yöntemi***			
	Yerdeğiş. (cm)	***Göreli Kat Ötelemesi***	***Yapısal Stabilite***	***Performans Değeri***	***Yerdeğiş. (cm)***	***Göreli Kat Ötelemesi***	***Yapısal Stabilite***	***Performans Değeri***
4	18.90	0.01137	0.18347	***CG (LS)***	24.50	0.01253	0.12490	***CG (LS)***
3	15.49	0.01493	0.15095	***CG (LS)***	20.74	0.01720	0.10202	***CG (LS)***
2	11.01	0.01783	0.12670	***CG (LS)***	15.58	0.02413	0.08567	***GÖ (CP)***
1	5.66	0.01887	0.10414	***CG (LS)***	8.34	0.02780	0.07046	***GÖ (CP)***
HK (IO) : Hemen Kullanım (Immediate Occupancy) *CG (LS) : Can Güvenliği (Life Safety)* *GÖ (CP) : Göçmenin Önlenmesi (Collapse Prevention)* *G (C) : Göçme (Collapse)*								

Tablo 4.14 Z4 Zemin Sınıfı İçin, Gerilme Etkin ve Güçlü Kolon Tasarımı Dikkate Alınmayan Sistemin Performans Değerlendirmesi

Kat no	***Kapasite Spektrumu Yöntemi (CSM)***				***TDY-05 Yöntemi***			
	Yerdeğiş. (cm)	***Göreli Kat Ötelemesi***	***Yapısal Stabilite***	***Performans Değeri***	***Yerdeğiş. (cm)***	***Göreli Kat Ötelemesi***	***Yapısal Stabilite***	***Performans Değeri***
4	23.34	0.01277	0.16056	***CG (LS)***	27.88	0.01460	0.16280	***CG (LS)***
3	19.51	0.01670	0.13210	***CG (LS)***	23.50	0.01967	0.13395	***CG (LS)***
2	14.50	0.02230	0.11089	***GÖ (CP)***	17.60	0.02667	0.11243	***GÖ (CP)***
1	7.81	0.02603	0.09115	***GÖ (CP)***	9.60	0.03200	0.09242	***GÖ (CP)***
HK (IO) : Hemen Kullanım (Immediate Occupancy) *CG (LS) : Can Güvenliği (Life Safety)* *GÖ (CP) : Göçmenin Önlenmesi (Collapse Prevention)* *G (C) : Göçme (Collapse)*								

Tablo 4.15 Z4 Zemin Sınıfı İçin, Gerilme Etkin ve Güçlü Kolon Tasarımı Dikkate Alınan Sistemin Performans Değerlendirmesi

Kat no	Kapasite Spektrumu Yöntemi (CSM)				TDY-05 Yöntemi			
	Yerdeğiş. (cm)	Göreli Kat Ötelemesi	Yapısal Stabilite	Performans Değeri	Yerdeğiş. (cm)	Göreli Kat Ötelemesi	Yapısal Stabilite	Performans Değeri
4	21.94	0.00847	0.16580	**HK (IO)**	25.96	0.00880	0.12490	**HK (IO)**
3	19.40	0.01540	0.13643	**CG (LS)**	23.32	0.01613	0.10202	**CG (LS)**
2	14.78	0.02210	0.11454	**GÖ (CP)**	18.48	0.02740	0.08567	**GÖ (CP)**
1	8.15	0.02717	0.09417	**GÖ (CP)**	10.26	0.03420	0.07046	**GÖ (CP)**

HK (IO) : Hemen Kullanım (Immediate Occupancy) *CG (LS) : Can Güvenliği (Life Safety)*

GÖ (CP) : Göçmenin Önlenmesi (Collapse Prevention) *G (C) : Göçme (Collapse)*

Z2 Zemin sınıfı için, Kompakt olmayan kesit ve güçlü kolon tasarımı dikkate dikkate alınan sistemin değerleri Tablo 4.14 te görülmektedir.

Tablo 4.16 Z2 Zemin Sınıfı İçin, Kompakt Olmayan Kesit ve Güçlü Kolon Tasarımı Dikkate Alınan Sistemin Performans Değerlendirmesi (R=8)

Kat no	Kapasite Spektrumu Yöntemi (CSM)				TDY-05 Yöntemi			
	Yerdeğiş. (cm)	Göreli Kat Ötelemesi	Yapısal Stabilite	Performans Değeri	Yerdeğiş. (cm)	Göreli Kat Ötelemesi	Yapısal Stabilite	Performans Değeri
4	12.11	0.00500	0.11209	**HK (IO)**	14.99	0.00567	0.12025	**HK (IO)**
3	10.61	0.00880	0.09201	**HK (IO)**	13.29	0.01040	0.10040	**CG (LS)**
2	7.97	0.01300	0.07727	**CG (LS)**	10.17	0.01577	0.08516	**CG (LS)**
1	4.07	0.01357	0.06355	**CG (LS)**	5.44	0.01813	0.06945	**CG (LS)**

HK (IO) : Hemen Kullanım (Immediate Occupancy) *CG (LS) : Can Güvenliği (Life Safety)*

GÖ (CP) : Göçmenin Önlenmesi (Collapse Prevention) *G (C) : Göçme (Collapse)*

Tablo 4.17 Z2 Zemin Sınıfı İçin, Kompakt Olmayan Kesit ve Güçlü Kolon Tasarımı Dikkate Alınmayan Sistemin Performans Değerlendirmesi (R=5)

Kat no	Kapasite Spektrumu Yöntemi (CSM)			
	Yerdeğiş. (cm)	Göreli Kat Ötelemesi	Yapısal Stabilite	Performans Değeri
4	13.36	0.00710	0.10311	**HK (IO)**
3	11.23	0.01253	0.08623	**CG (LS)**
2	7.47	0.01083	0.07276	**CG (LS)**
1	4.22	0.01407	0.05994	**CG (LS)**

HK(IO):Hemen Kullanım (Immediate Occupancy)

GÖ(CP):Göçmenin Önlenmesi (Collapse Prevention)

CG (LS) : Can Güvenliği (Life Safety)

G (C) : Göçme (Collapse)

5 SONUÇLAR

Çok katlı çelik çerçeve sistemlerde deprem performansının belirlenmesi üzerinde sayısal bir inceleme konulu tez çalışmasında elde edilen sonuçlar aşağıda açıklanmıştır.

1. Çalışmada, malzeme bakımından doğrusal olmayan sistemlerin hesabı için geliştirilen yük artımı yöntemlerinin ve bu yöntemlerin pratik uygulamaları amacıyla hazırlanan, SAP 2000 bilgisayar programının sağladığı olanaklardan yararlanarak, çok katlı çelik çerçeve sistemlerinin düşey yükler ve deprem etkileri altındaki doğrusal olmayan davranışları, göçme güvenlikleri ve süneklik düzeyleri ayrıntılı ve karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

2. İncelemelerde, seçilen taşıyıcı sistem modellerinin 1998 Türk Deprem Yönetmeliği (TDY-98) ve TS 648 Çelik Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları standardına göre analizi ve boyutlandırması yapılmıştır. Boyutlandırma yapılırken TDY-98' de tanımlanan Z2, Z3 ve Z4 zemin sınıfları için, güçlü kolon tasarımı dikkate alınarak ve alınmayarak altı adet sistem incelenmiştir. Ayrıca Z4 zemin sınıfı için, yerdeğiştirme etkin ve gerilme etkin tasarıma göre ayrı ayrı hesap yapılmıştır. Hesaplanan bu sistemler içinden Z2 zemin sınıfı için ve güçlü kolon tasarımı dikkate alınan sistem seçilerek, kompakt olmayan (yerel burkulma koşullarını sağlamayan) yapma enkesit profillerine göre boyutlandırılmıştır.

3. Bu sistemlerin performans noktalarının bulunmasında Kapasite Spektrumu Yöntemi (ATC 40) ve TDY-05 Yöntemi (TDY-05) kullanılmış, FEMA 356' ya göre eleman performans seviyeleri belirlenmiş, ATC 40' a göre ise yerdeğiştirme performans değerlendirmesi yapılmıştır. Ayrıca performans noktası bulunan sistemler üzerinde kapasite spektrumu yöntemi ile TDY-05 yöntemi sonuçları karşılaştırılmıştır.

4. Çalışmanın sayısal incelemelerine dayanarak elde edilen başlıca sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- Ülkemizde yürürlükte olan 1998 Türk Deprem Yönetmeliği ve TS 648 Çelik Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları standardına uygun olarak boyutlandırılan yapı sistemlerinin performans seviyeleri, bazı özel haller dışında, hedeflenen düzeydedir.

- TDY-98'de tanımlı güçlü kolon tasarımı ile boyutlandırılan binaların performans seviyeleri, aynı R deprem yükü azaltma katsayısı kullanılarak boyutlandırılan, güçlü kolon tasarımı dikkate alınmayan yapılarınkine göre daha yüksek olmaktadır. Ancak güçlü kolon tasarımı dikkate alınmayan, buna karşılık süneklik düzeyi normal çerçevelere ait R katsayısı ile boyutlandırılan yapıların performansı ise, zemin sınıfına bağlı olarak belirli oranlarda artmaktadır.

- Yerdeğiştirme kriterlerine bağlı olarak belirlenen yapı performansı, plastik mafsallardaki plastik dönmeler esas alınarak belirlenen performansa oranla daha elverişsiz sonuç vermektedir.

- Zemin sınıfı Z2 den Z4 e doğru gittikçe, zemin sınıfının özelliklerini göz önüne alacak şekilde boyutlandırma yapılmasına karşılık, yapı performansında azalma meydana gelmektedir.

- 2005 Türk Deprem Yönetmeliği taslağındaki yaklaşım ile elde edilen performans noktalarına ait yatay yerdeğiştirmeler, *Kapasite Spektrum Yöntemi* ile bulunan performans noktası yerdeğiştirmelerinden daha büyük değerler almaktadır. Her iki yöntem arasındaki fark, zemin sınıfı Z4 e doğru ilerledikçe daha belirgin olmaktadır.

  Bu nedenle, istemin fazla olduğu Z3 ve Z4 zemin sınıflarına ait tasarımlarda, Kapasite Spektrumu Yöntemi ile performans noktasının bulunmasına karşılık, TDY-05 yöntemine göre performans noktası bulunamamaktadır. Bunun için kapasite eğrisinin uzatılması gerekmektedir. Bu amaçla, birinci kattaki kolonların bazılarının eğilme momenti-dönme grafiğindeki Göçmenin Önlenmesi (GÖ) performans seviyesi sınırı arttırılmıştır.

- Yerdeğiştirme sınırlandırması gözönüne alınmaksızın boyutlandırılan yapı sistemlerinde, özellikle yerdeğiştirmeler cinsinden belirlenen performans değerleri daha elverişsiz sonuçlar vermektedir.

  Z4 zemin sınıfına doğru gittikçe yerdeğiştirmeye göre tasarım daha etkin olmaktadır. Yerdeğiştirme sınırları göz önüne alınmaksızın sadece gerilme sınırlandırmasına göre boyutlandırılan binaların performans seviyeleri azalmaktadır.

- Kapasite eğrisinde göçme noktası esas alınarak hesaplanan R taşıyıcı sistem davranış katsayısı değerleri, güçlü kolon tasarımı dikkate alınan yapılarda, güçlü kolon tasarımı dikkate alınmayan yapılara oranla daha büyük değerler almaktadır.

- Yapı sisteminin yatay yük taşıma kapasitesinin tasarım yatay yüklerine oranı olarak tanımlanan ek dayanım katsayısının değerleri, zemin sınıfına ve güçlü kolon tasarımına bağlı olarak, 3-4 arasında değişmektedir.

- Toplam şekildeğiştirmelerin doğrusal şekildeğiştirmelere oranı olarak tanımlanan süneklik oranı, 1.8-2.7 arasında değişmektedir.

- Güçlü kolon tasarımı dikkate alınan yapılarda süneklik oranı azalmakta, ek dayanım katsayısı artmaktadır. Sonuç olarak, süneklik oranı ile ek dayanım katsayısının çarpımı olarak tanımlanan R taşıyıcı sistem davranış katsayısı artmaktadır.

- Kompakt olmayan kesit tasarımı göz önüne alınmayan binalar için bulunan kapasite eğrisi, kompakt kesit tasarımı göz önüne alınan binalarınki ile yakın olmaktadır. Buna karşılık kapasite eğrisi daha kısa kalmakta, kesitin göçmesi daha erken olmaktadır. Ayrıca kompakt olmayan tasarımda kapasite eğrisi yataylaşmadan önce göçme meydana geldiği için, süneklik oranı ve ek dayanım katsayısı değerleri daha küçük olmaktadır.

5. Bu çalışmada esas alınan inceleme yöntemi benzer şekilde uygulanmak suretiyle, zemin sınıflarından her biri esas alınarak, taşıyıcı sistem davranış katsayısı R nin çeşitli değerleri için performans değerlendirmesi yapılabilir. Ayrıca, bu çalışmada seçilen sistemler için, Kapasite Spektrumu Yönteminde tanımlanan B ve C yapı tipleri için de irdeleme yapılabilir.

6. Bu çalışmada yapılan incelemelerden bir tanesi için, yapı geometrisi (kat yüksekliği ve çerçeve doğrultusundaki açıklıklar gibi) ve/veya yapı yüklerinin çeşitli değerleri gibi parametreler esas alınarak yapı sisteminin performans değerlendirmesi parametrik olarak incelenebilir.

7. Bu çalışmada izlenen yol, çerçevelerden oluşan çok katlı, üç boyutlu çelik yapı sistemlerinin deprem performanslarının değerlendirilmesi amacıyla da uygulanabilir.

KAYNAKLAR

[1] **ATC-40**, 1996. Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings, *Applied Technology Council,* California.

[2] **FEMA-273**, 1997. NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings, *Federal Emergency Management Agency,* Washington.

[3] **FEMA-356**, 2000. Prestandart and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings, *Federal Emergency Management Agency,* Washington.

[4] **FEMA-440**, 2005. Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures, *Federal Emergency Management Agency,* Washington.

[5] **TDY-05 Taslağı**, 2005. Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, *Bayındırlık ve İskan Bakanlığı,* Ankara.

[6] **Çakıroğlu, A., Özden, E., Özmen, G.,** Yapı Sistemlerinin Hesabı İçin Matris Metotları ve Elektronik Hesap Makinası Programları, Cilt 1, 2, *İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası*, 1992

[7] **Özer, E.**, 2004. Yapı Sistemlerinin Lineer Olmayan Analizi Ders Notları, *www.ins.itu.edu.tr/eozer*, İstanbul.

[8] **Çakıroğlu, A. ve Özer, E.**, 1980. Malzeme ve Geometri Değişimleri Bakımından Lineer Olmayan Sistemler, Cilt I, Matbaa Teknisyenleri Basımevi, İstanbul.

[9] **Çavuş, K.**, 2000. Malzeme ve Geometri Değişimi Bakımından Lineer Olmayan Sistemlerin Hesabına Yönelik Bir Yaklaşım ve Sayısal Uygulamaları**,** *Yüksek Lisans Tezi,* İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[10] **Özer, G.**, 2003. Malzeme Bakımından Lineer Olmayan Sistemlerin Hesabı İçin Bir Ardışık Yaklaşım Yöntemi ve Bilgisayar Programı**,** *Yüksek Lisans Tezi,* İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[11] **Özer, E.**, 1987. Determination of Second-Order Limit Load by a Method of Load Increments, *Bulletin of the Technical University of Istanbul,* İstanbul, 40(4), 815-836.

[12] **İrtem, E.**, 1991. Uzay Çubuk Sistemlerde İkinci Mertebe Limit Yükün Hesabı İçin Bir Yük Artımı Yöntemi**,** *Doktora Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[13] **Girgin, K.**, 1996. Betonarme Yapı Sistemlerinde İkinci Mertebe Limit Yükün ve Göçme Güvenliğinin Belirlenmesi İçin Bir Yük Artımı Yöntemi**,** *Doktora Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[14] **Neal, B.G.,** 1956. The Plastic Methods of Structural Analysis, Chapman & Hall, London.

[15] **Hodge, P.G.,** 1959. Plastic Analysis of Structures, McGraw-Hill, New York.

[16] **ABYYHY**, 1998. Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (TDY-98), *Bayındırlık ve İskan Bakanlığı,* Ankara.

[17] **TS-648**, 1980. Çelik Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, *Türk Standartları Enstitüsü,* Ankara.

[18] **UBC97**, 1997. Uniform Building Code, *International Conference of Building Officials, Whittier,* Calfornia

[19] **AISC-ASD**, 1989. Manual of Steel Construction, Allowable Stress Design, 9th Edition, *American Institute of Steel Construction*, Chicago

[20] **TS-498**, 1997. Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri, *Türk Standartları Enstitüsü,* Ankara.

[21] **SAP 2000**, 2000. Structural Analysis User's Manual, Computers and Structures Inc., Berkeley, California.

[22] **Özcihan, B.**, 2001. Merkezi ve Dışmerkez Çaprazlı Çelik Yapı Sistemlerinde Lineer Olmayan Davranışın İncelenmesi ve Süneklik Düzeyinin Belirlenmesi, *Yükseklisans Tezi,* İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[23] **Özer, E., İrtem, E., Orakdöğen, E., Girgin, K., Doğaner, S., Kurtuldu, S.,** Çok Katlı Çelik Yapıların Deprem Kuvvetleri Altında Göçme Güvenliklerinin Belirlenmesi ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı, (TÜBİTAK İNTAG-505), İstanbul, Kasım 1994

EKLER

Sayfa

Ek-A 84

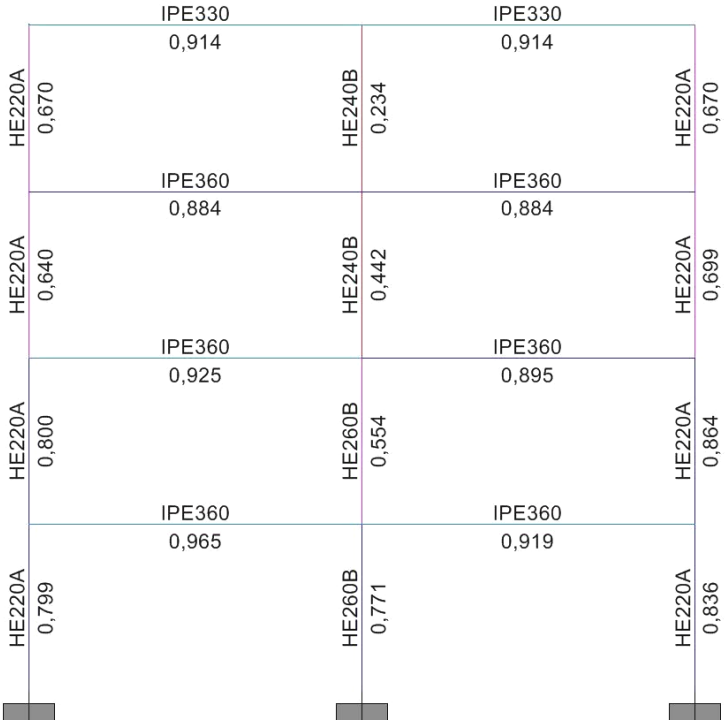
Ek-B 92

Ek-C 95

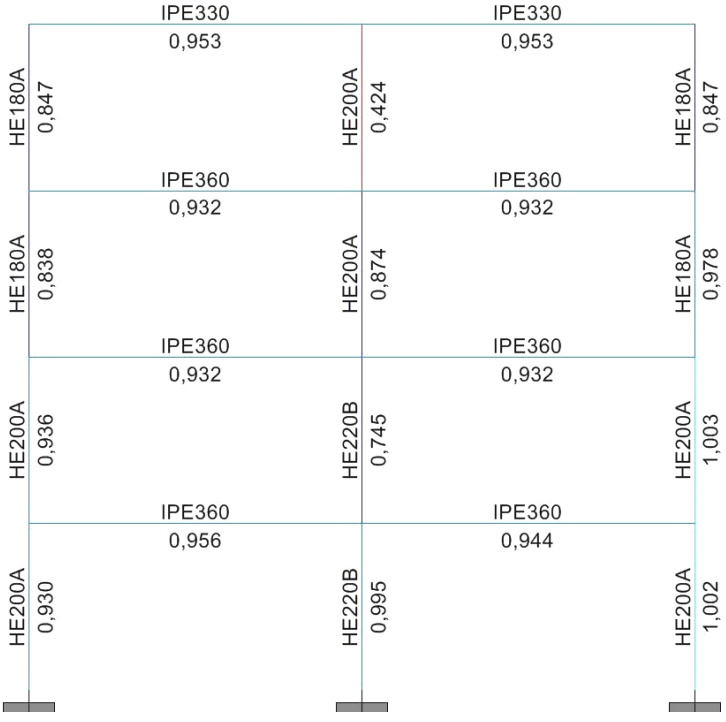
Ek-D 120

EK – A

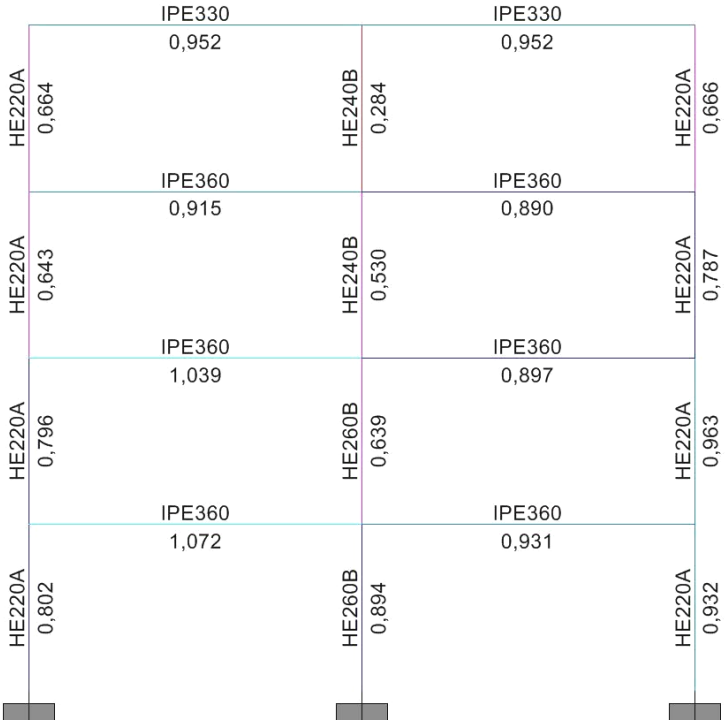
TAŞIYICI SİSTEM MODELLERİNİN ENKESİT PROFİLLERİ VE GERİLME ORANLARI



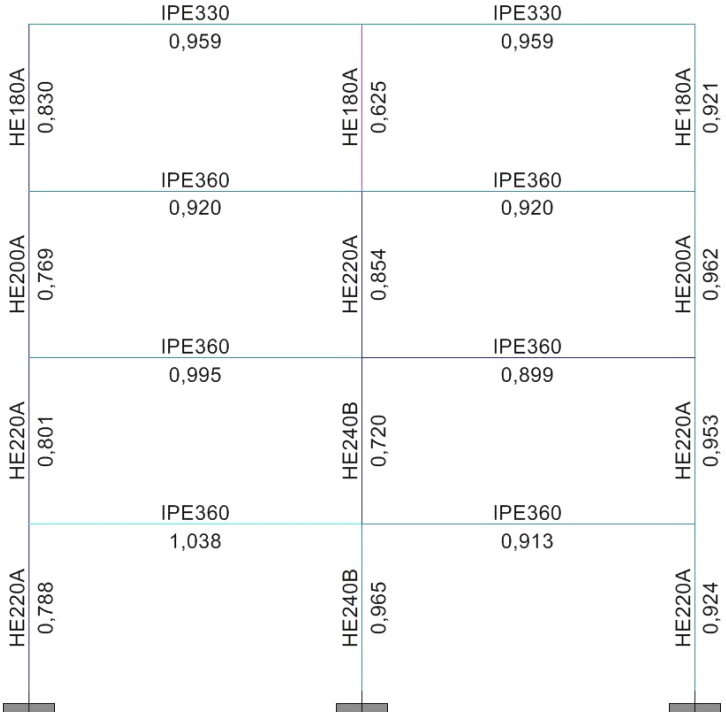
Şekil A.1 Z2 Zemin Sınıfı için ve Güçlü Kolon Tasarımı Dikkate Alındığında Enkesit Profilleri ile Gerilme Oranları



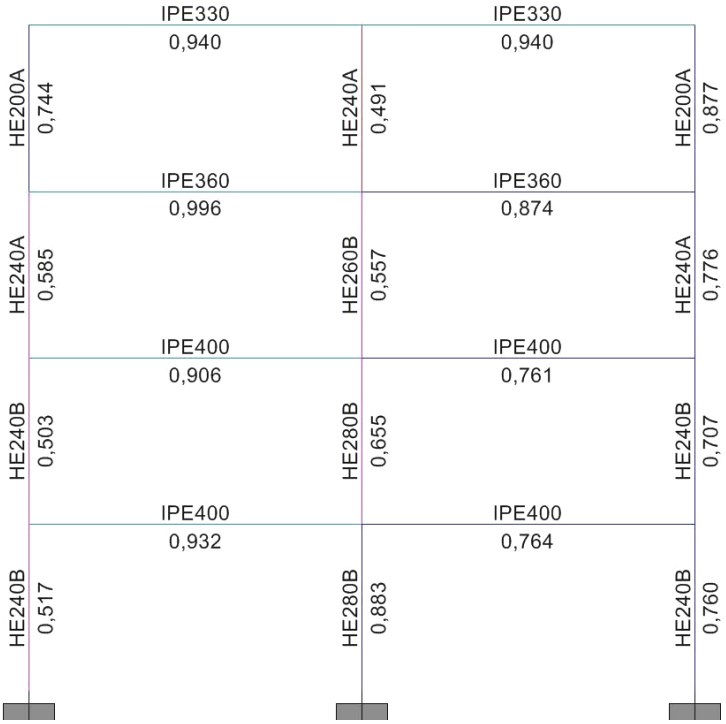
Şekil A.2 Z2 Zemin Sınıfı için ve Güçlü Kolon Tasarımı Dikkate Alınmadığında Enkesit Profilleri ile Gerilme Oranları (R=8)



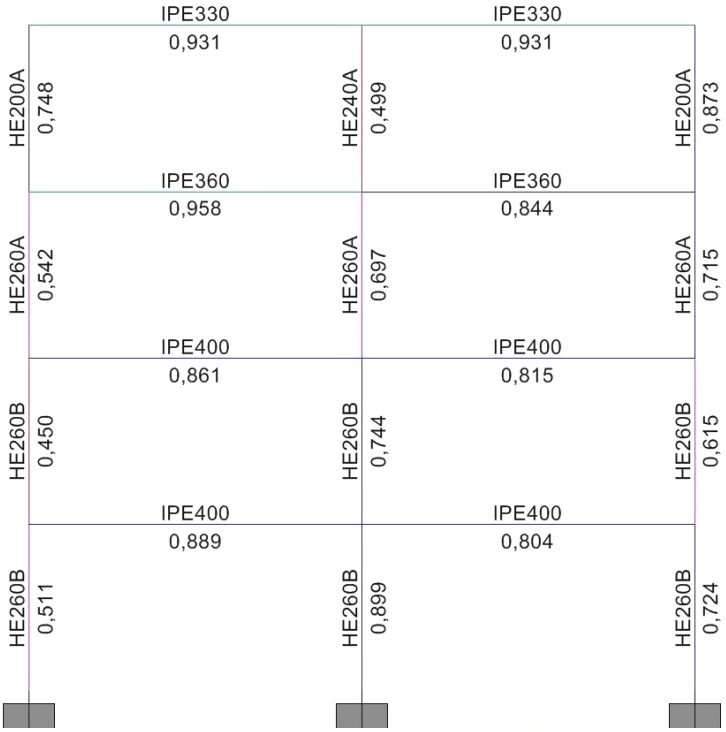
Şekil A.3 Z3 Zemin Sınıfı için ve Güçlü Kolon Tasarımı Dikkate Alındığında Enkesit Profilleri ile Gerilme Oranları



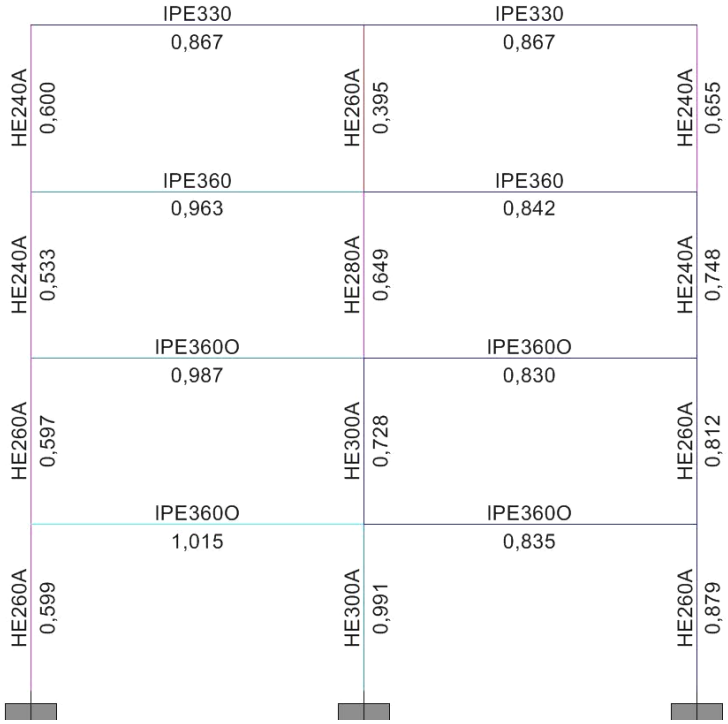
Şekil A.4 Z3 Zemin Sınıfı için ve Güçlü Kolon Tasarımı Dikkate Alınmadığında Enkesit Profilleri ile Gerilme Oranları (R=8)



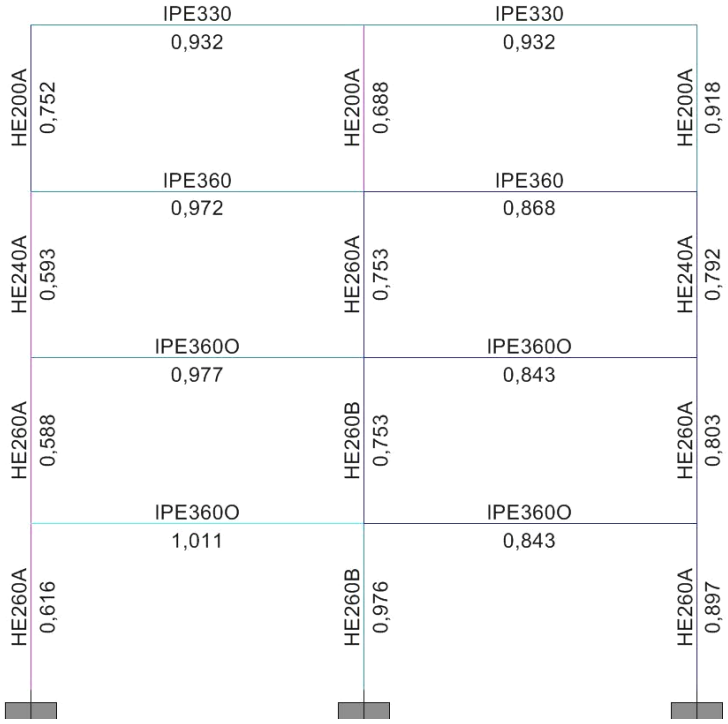
Şekil A.5 Z4 Zemin Sınıfı için, Yerdeğiştirme Etkin ve Güçlü Kolon Tasarımı Dikkate Alınan Sistemin Enkesit Profilleri ile Gerilme Oranları



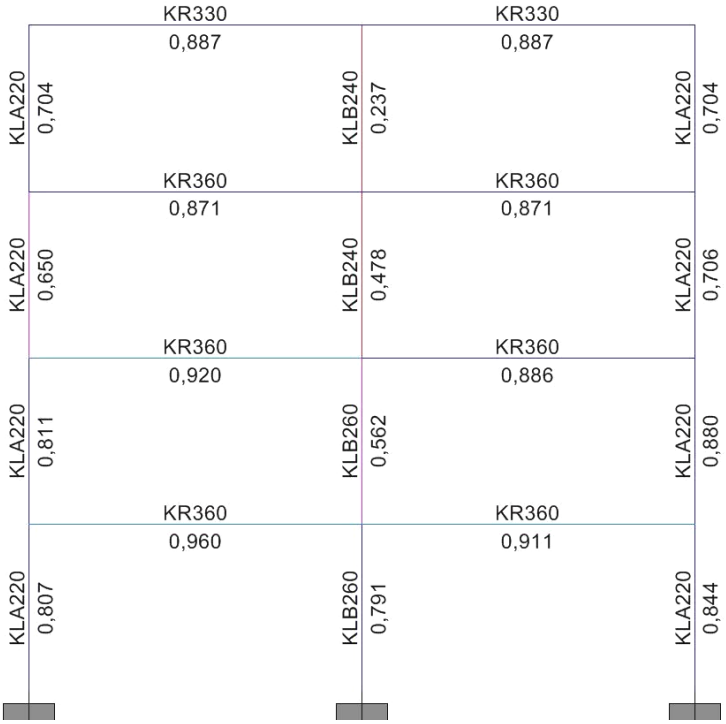
Şekil A.6 Z4 Zemin Sınıfı için, Yerdeğiştirme Etkin ve Güçlü Kolon Tasarımı Dikkate Alımayan Sistemin Enkesit Profilleri ile Gerilme Oranları



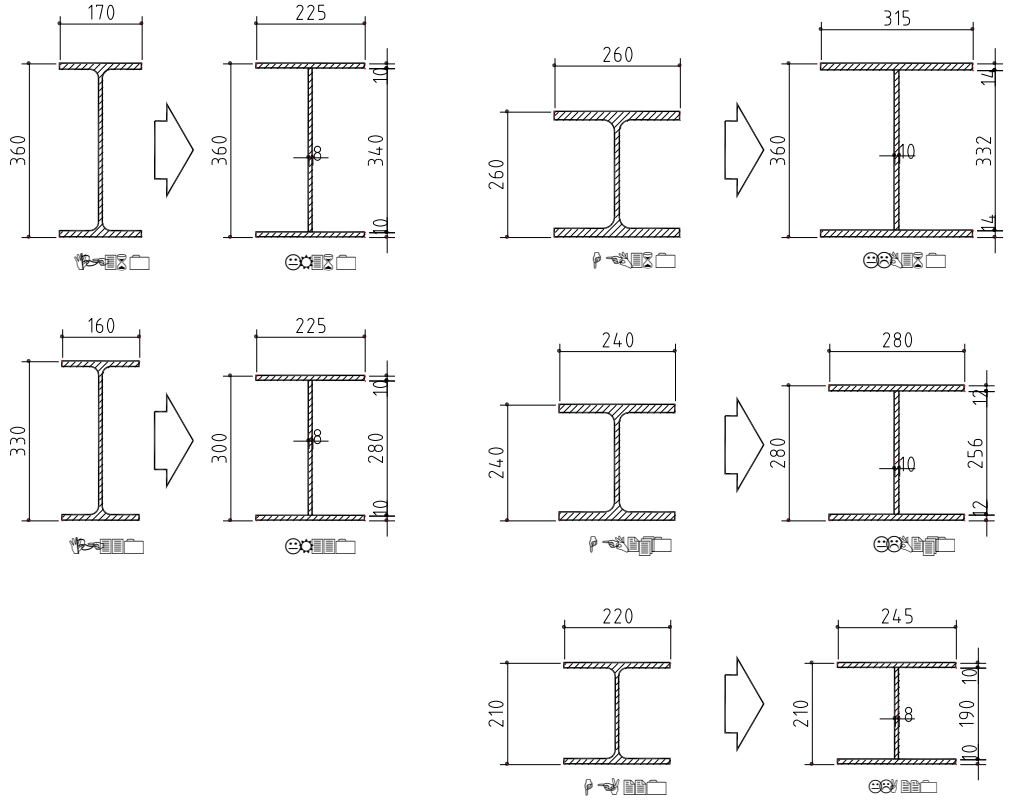
Şekil A.7 Z4 Zemin Sınıfı için, Gerilme Etkin ve Güçlü Kolon Tasarımı Dikkate Alınan Sistemin Enkesit Profilleri ile Gerilme Oranları



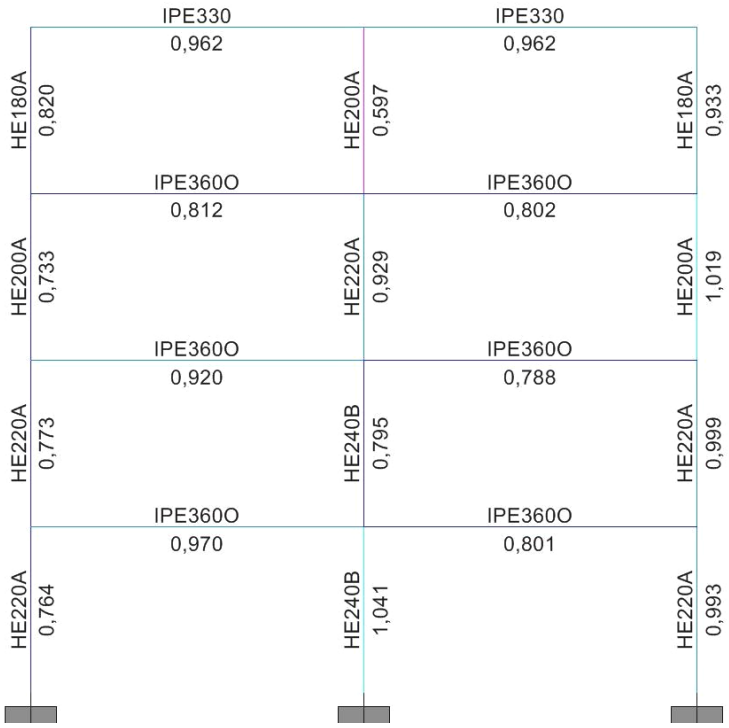
Şekil A.8 Z4 Zemin Sınıfı için, Gerilme Etkin ve Güçlü Kolon Tasarımı Dikkate Alınmayan Sistemin Enkesit Profilleri ile Gerilme Oranları



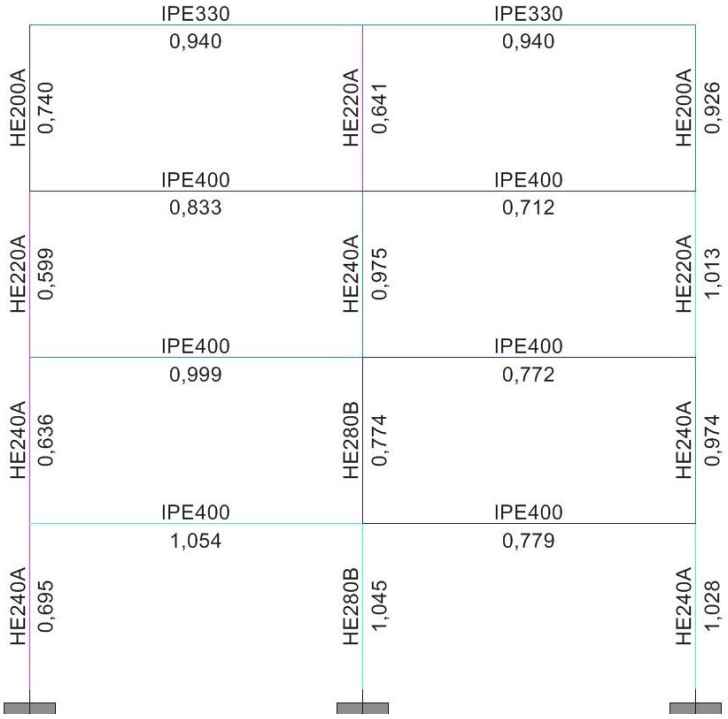
Şekil A.9 Z2 Zemin Sınıfı için, Kompakt Olmayan Kesit ve Güçlü Kolon Tasarımı Dikkate Alınan Sistemin Enkesit Profilleri ile Gerilme Oranları



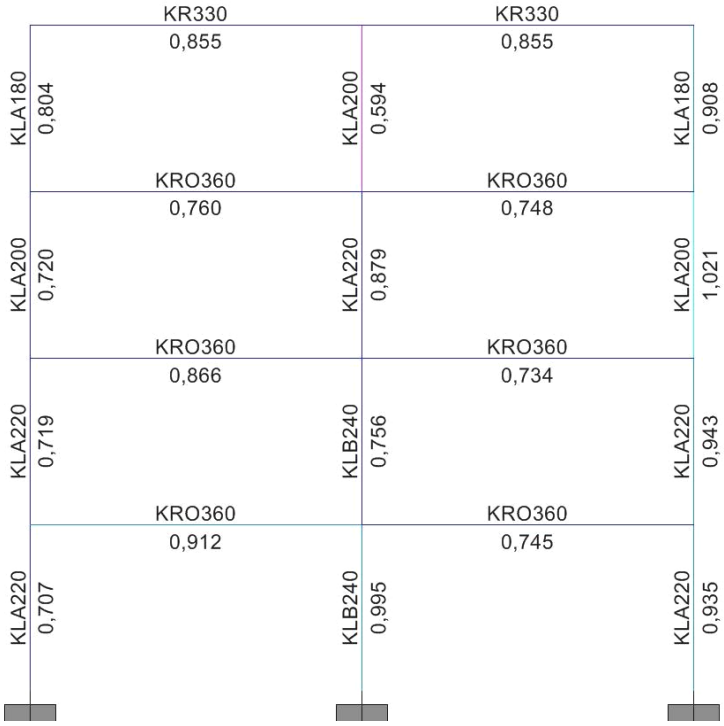
Şekil A.10 Z2 Zemin Sınıfı için, Kompakt Olmayan Kesit ve Güçlü Kolon Tasarımı Dikkate Alınan Sistemin Enkesitleri (R=8)



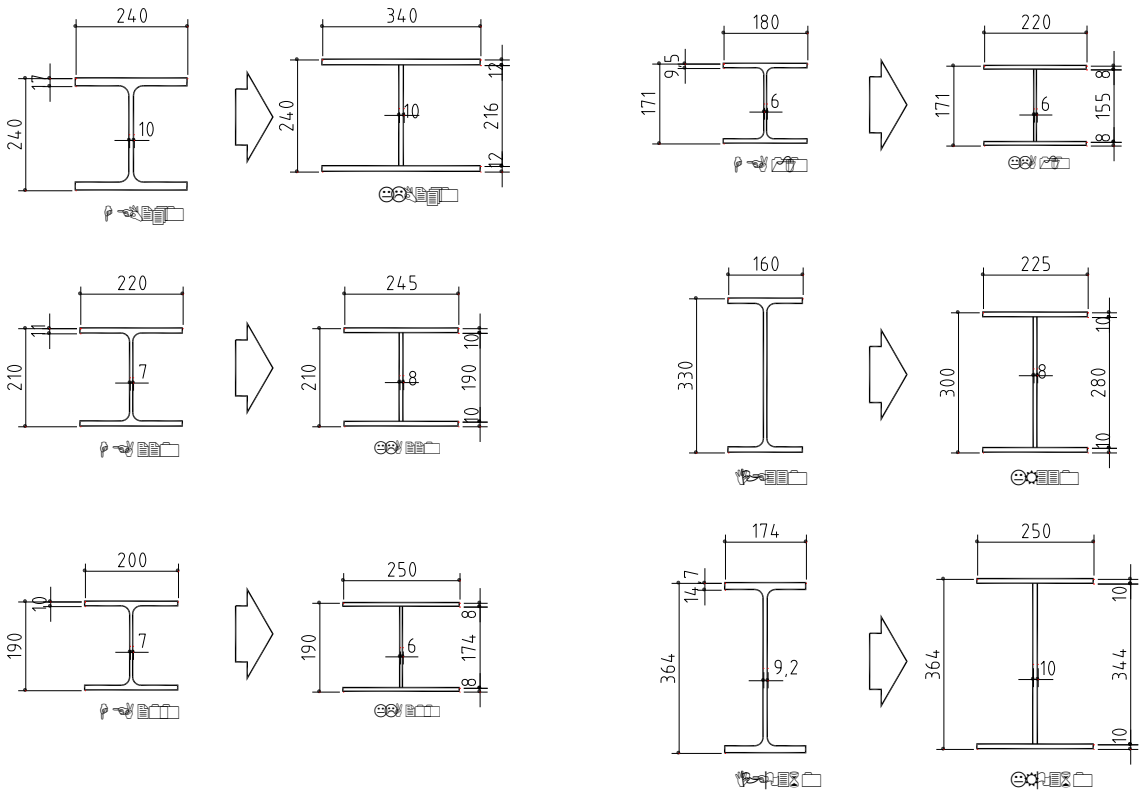
Şekil A.11 Z2 Zemin Sınıfı için ve Güçlü Kolon Tasarımı Dikkate Alınmadığında Enkesit Profilleri ile Gerilme Oranları (R=5)



Şekil A.12 Z3 Zemin Sınıfı için ve Güçlü Kolon Tasarımı Dikkate Alınmadığında Enkesit Profilleri ile Gerilme Oranları (R=5)



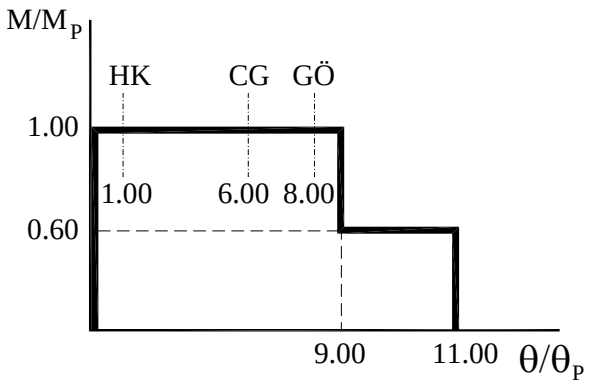
Şekil A.13 Z2 Zemin Sınıfı için, Kompakt Olmayan Kesit ve Güçlü Kolon Tasarımı Dikkate Alınmayan Sistemin Enkesit Profilleri ile Gerilme Oranları (R=5)



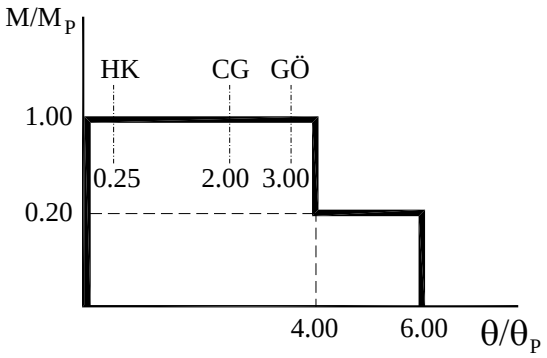
Şekil A.14 Z2 Zemin Sınıfı için, Kompakt Olmayan Kesit ve Güçlü Kolon Tasarımı Dikkate Alınmayan Sistemin Enkesitleri (R=5)

EK – B

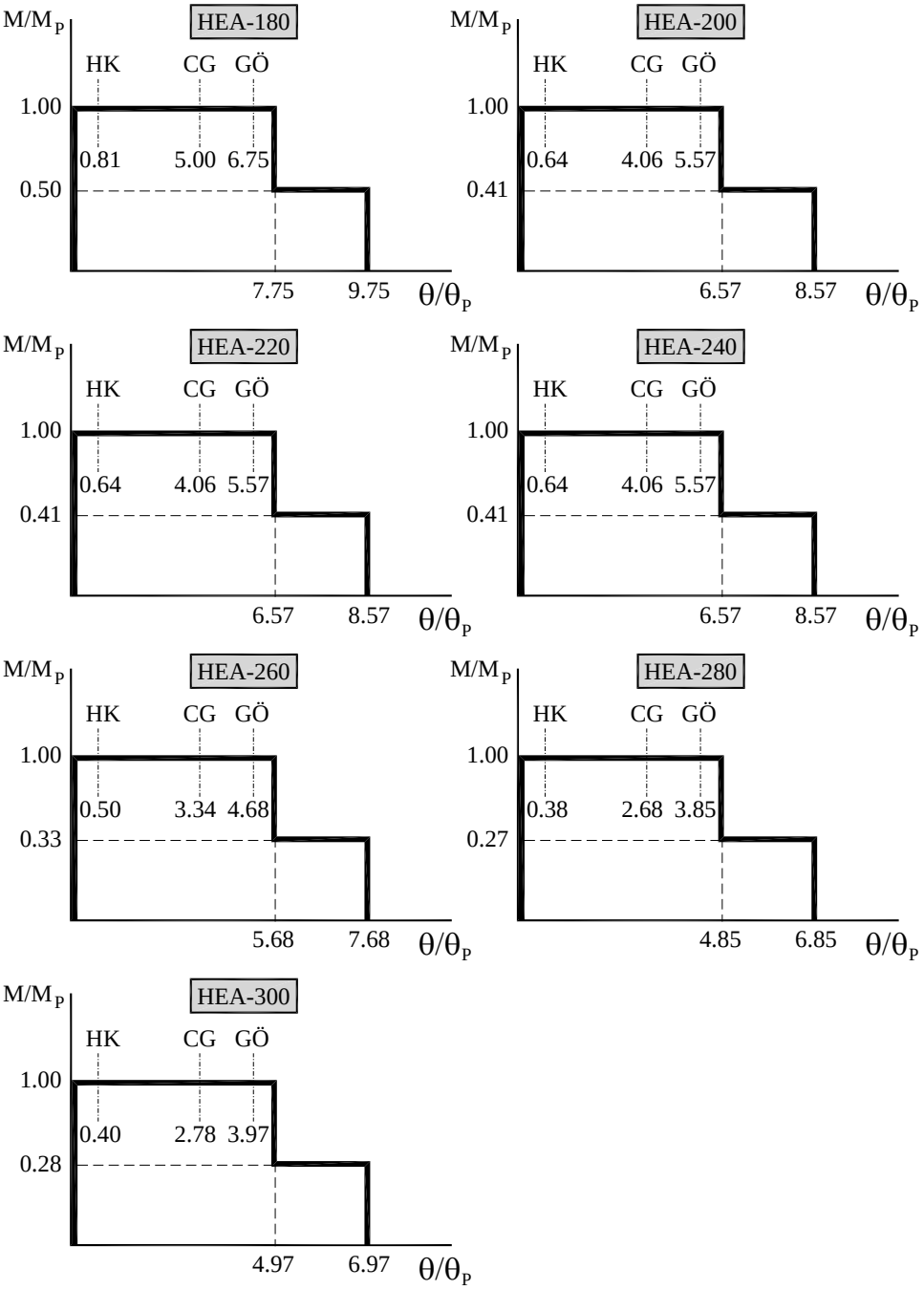
ENKESİT PROFİLLERİNİN
EĞİLME MOMENTİ – DÖNME GRAFİKLERİ



Şekil B.1 **IPE**, **IPEO** ve **HEB** Enkesit Profilleri İçin EğilmeMomenti–Dönme Grafiği



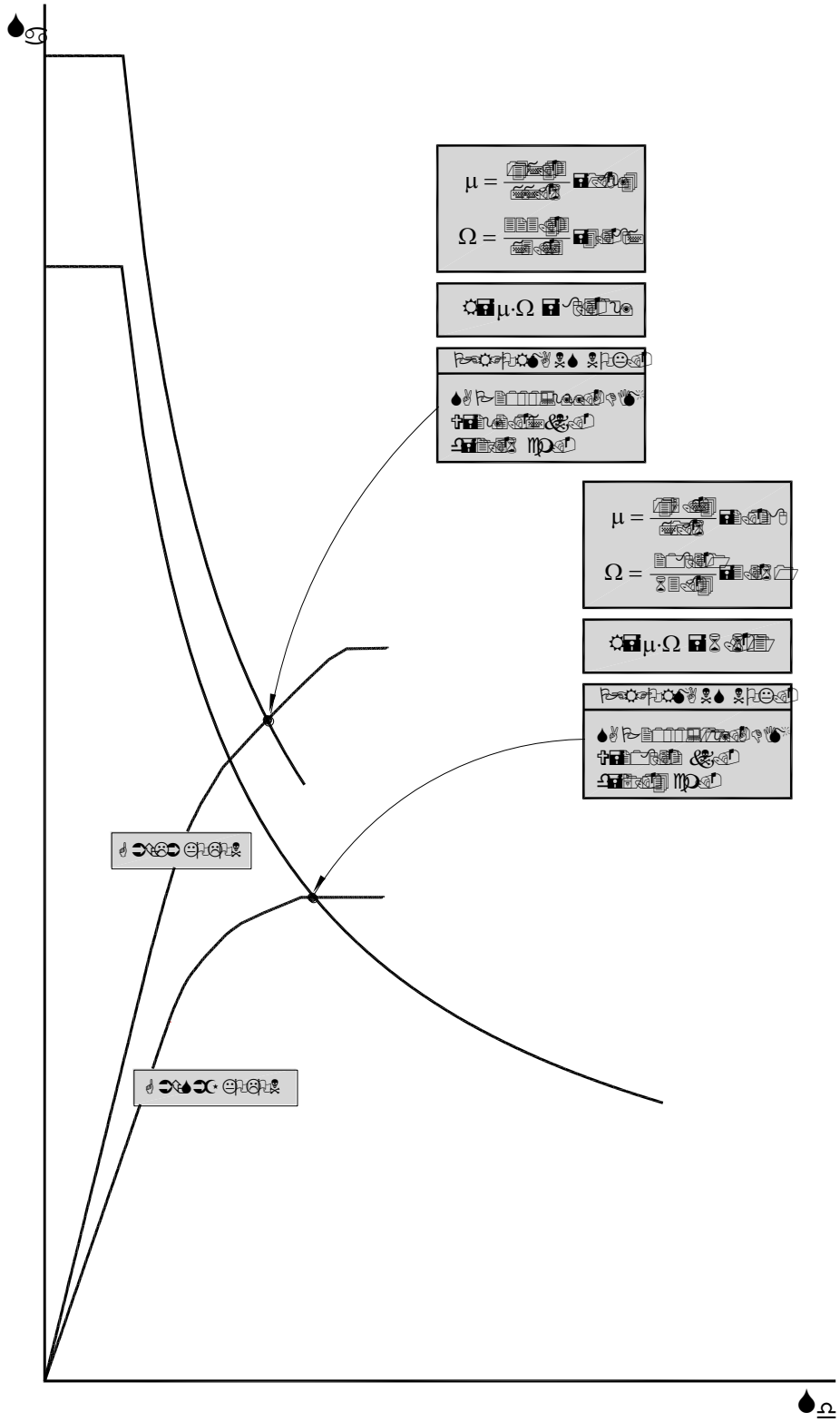
Şekil B.2 **KR**, **KLA** ve **KLB** Enkesit Profilleri İçin Eğilme Momenti–Dönme Grafiği



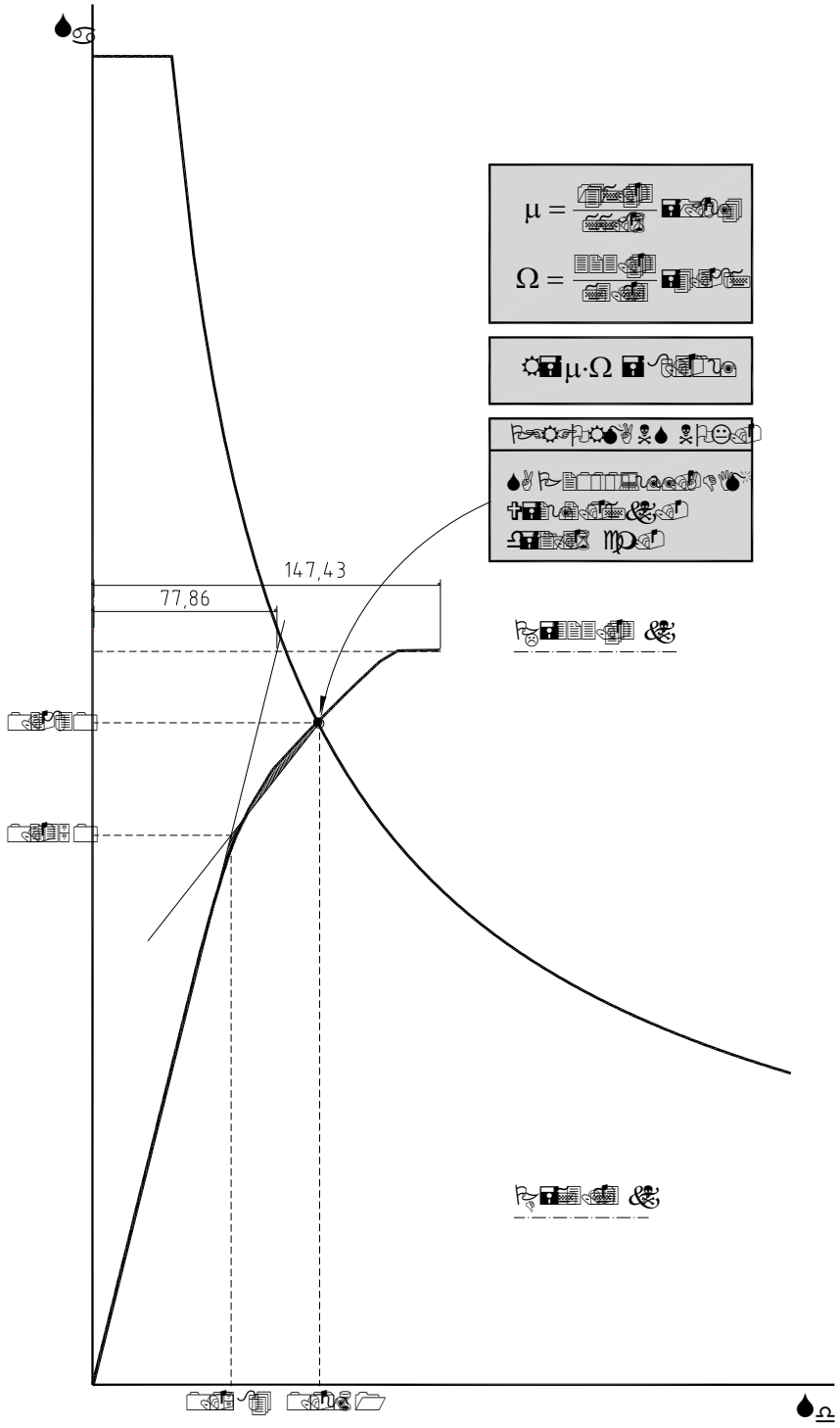
Şekil B.3 **HEA** Enkesit Profilleri İçin Eğilme Momenti–Dönme Grafikleri

EK – C

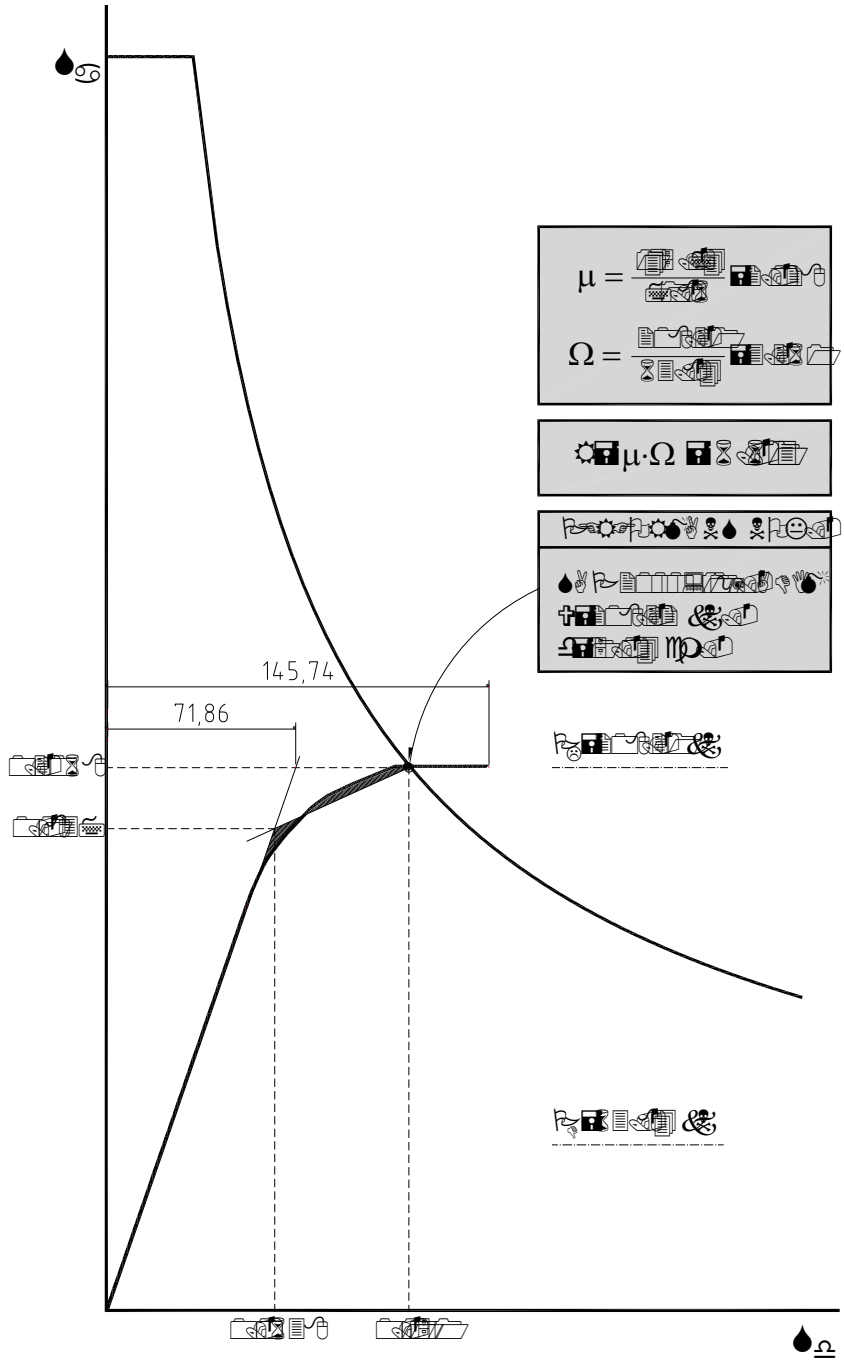
TAŞIYICI SİSTEM MODELLERİNİN KAPASİTE EĞRİLERİ ÜZERİNDE PERFORMANS NOKTALARININ BULUNMASINA İLİŞKİN GRAFİKLER



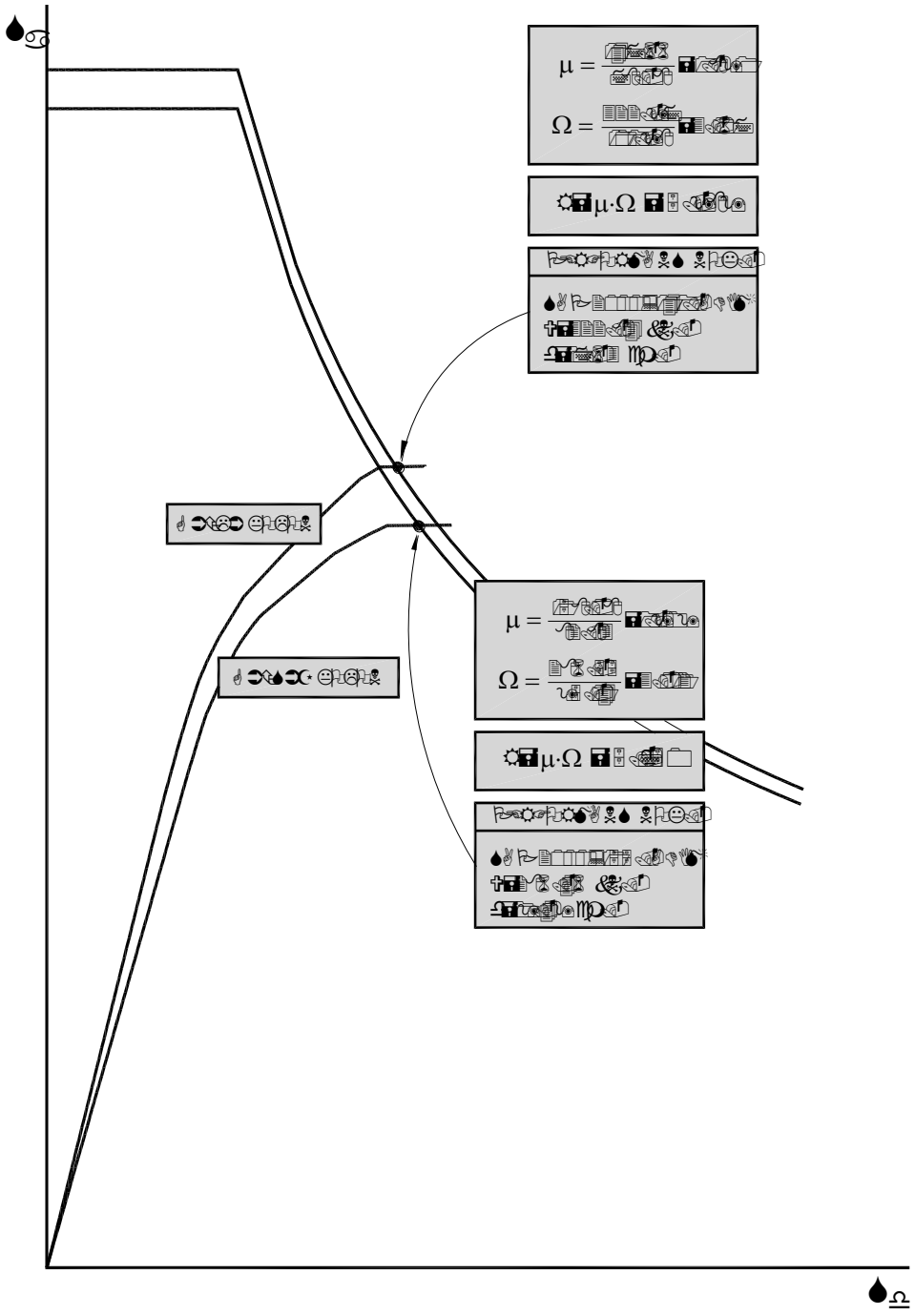
Şekil C.1 Z2 Zemin Sınıfı İçin CSM Yöntemine Göre Performans Noktasının Bulunması



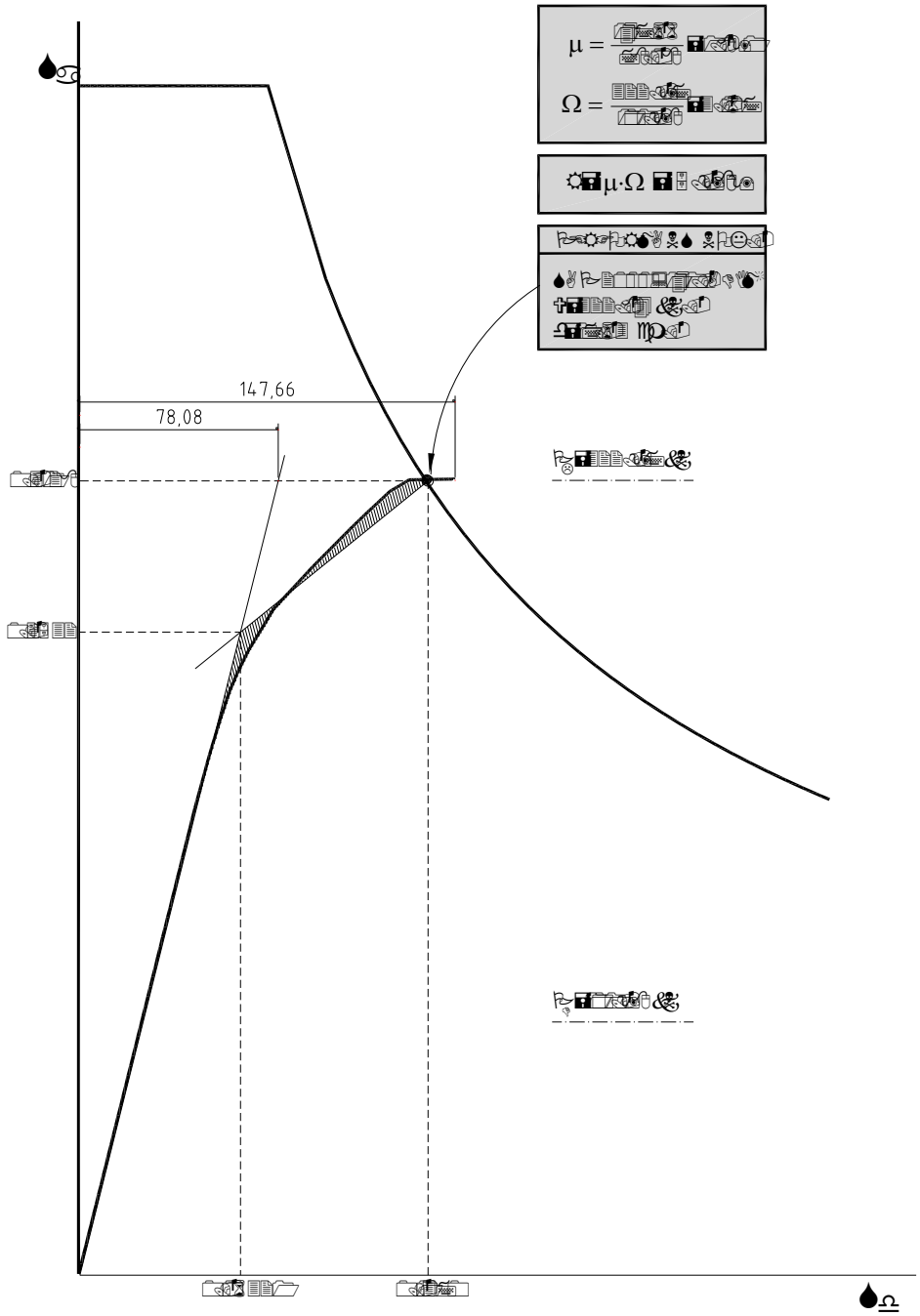
Şekil C.2 Z2 Zemin Sınıfı İçin ve Güçlü Kolon Tasarımı Dikkate Alınan Sistemde CSM Yöntemine Göre Performans Noktasının Bulunması



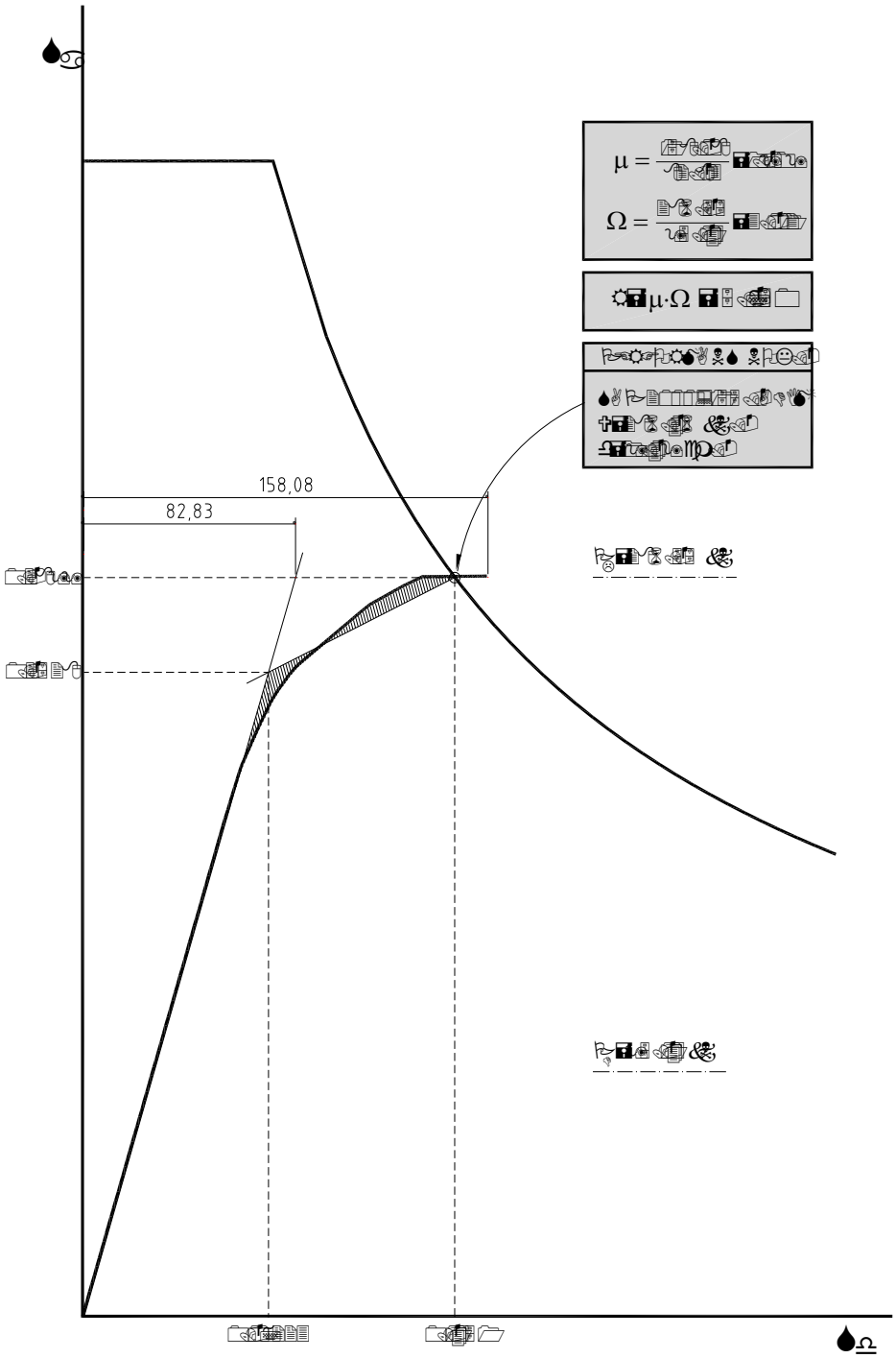
Şekil C.3 Z2 Zemin Sınıfı İçin ve Güçlü Kolon Tasarımı Dikkate Alınmayan Sistemde CSM Yöntemine Göre Performans Noktasının Bulunması (R=8)



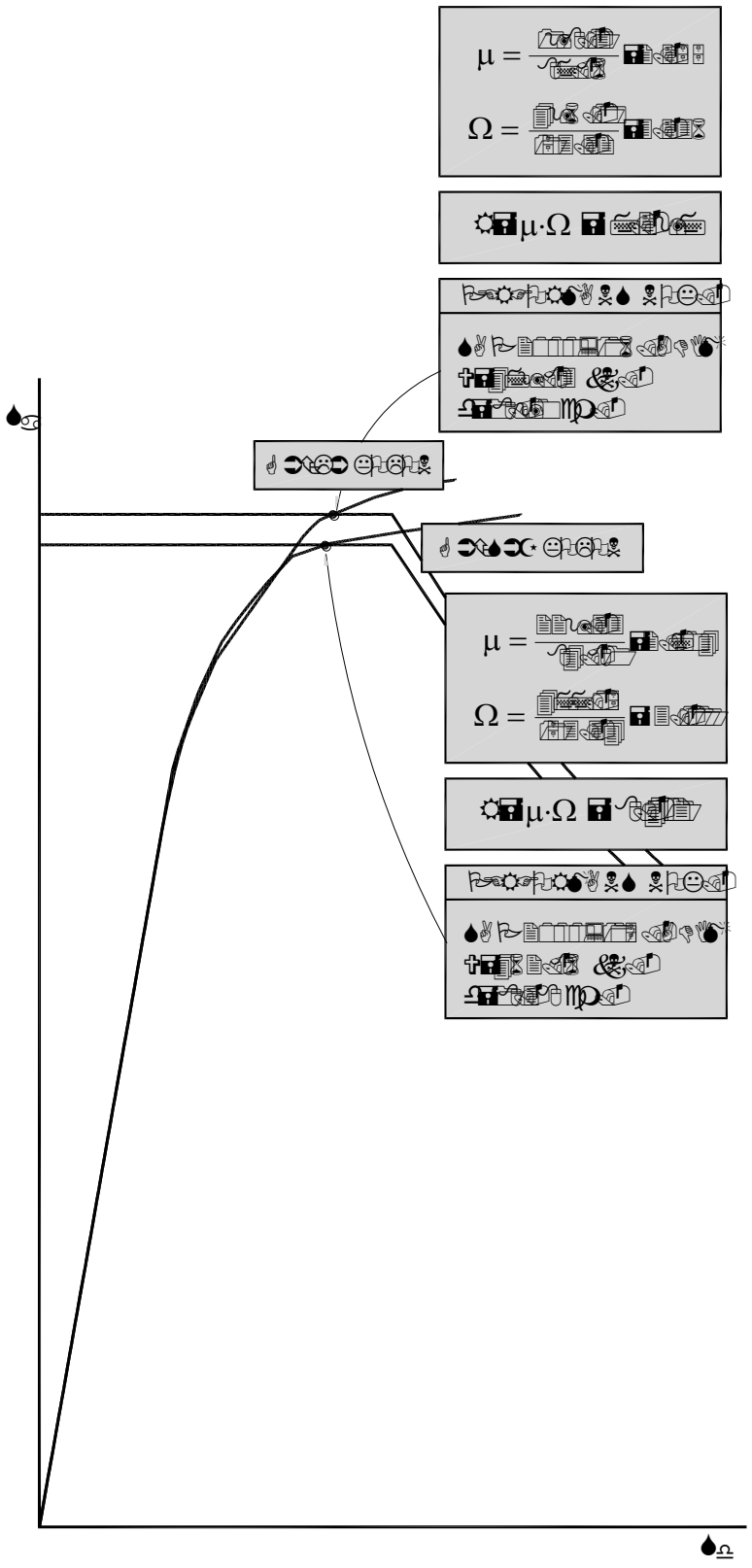
Şekil C.4 Z3 Zemin Sınıfı İçin CSM Yöntemine Göre Performans Noktasının Bulunması



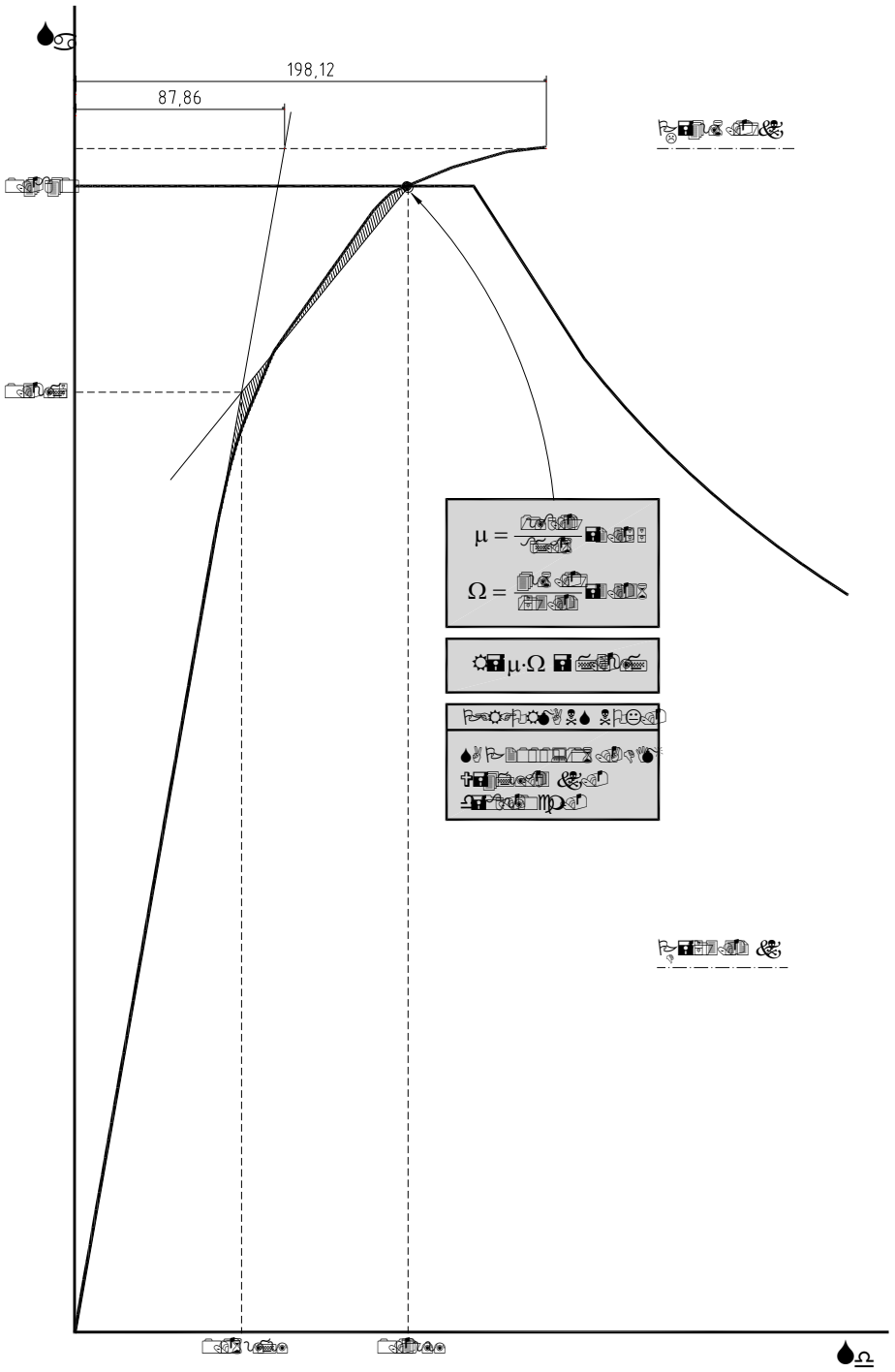
Şekil C.5 Z3 Zemin Sınıfı İçin ve Güçlü Kolon Tasarımı Dikkate Alınan Sistemde CSM Yöntemine Göre Performans Noktasının Bulunması



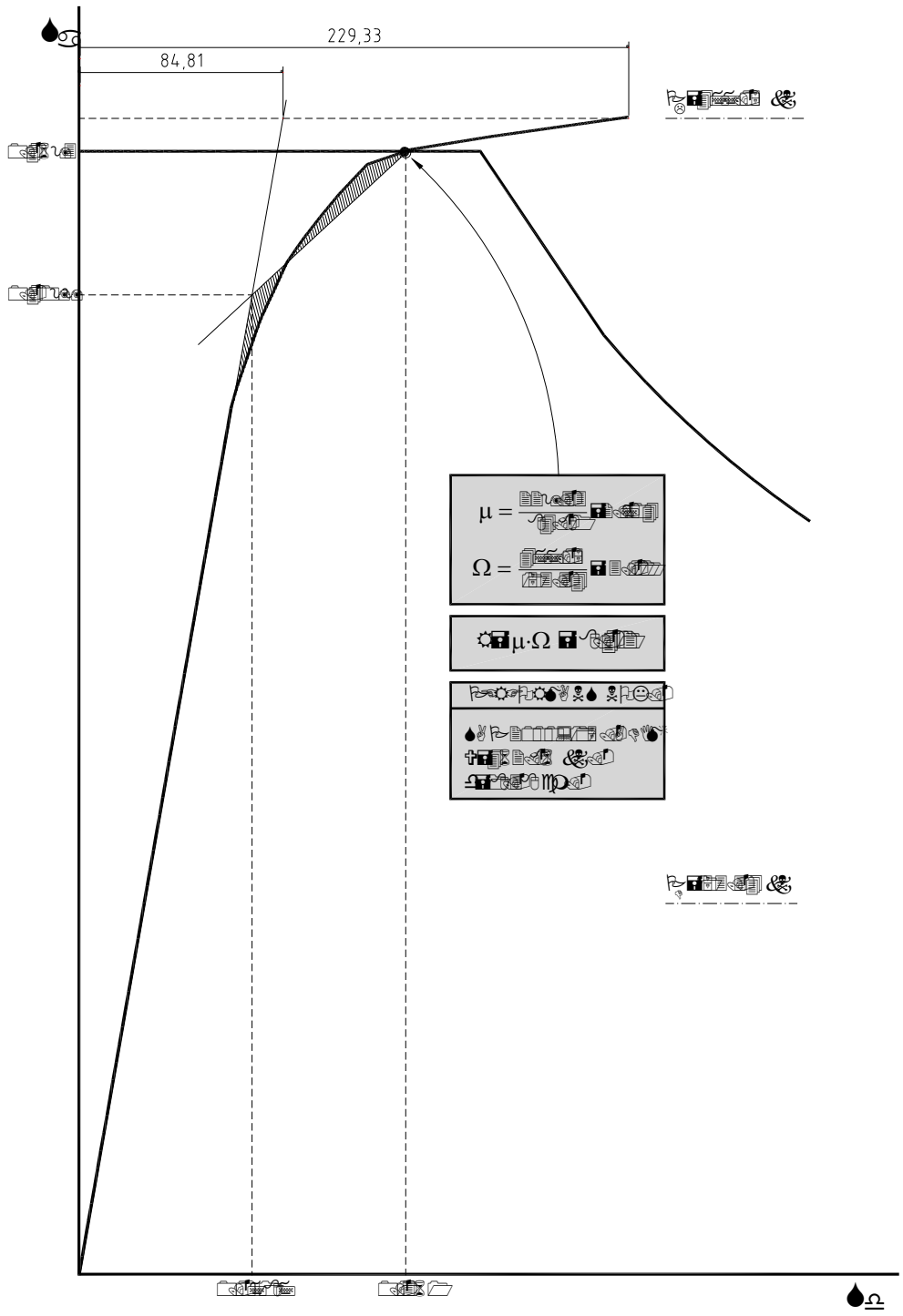
Şekil C.6 Z3 Zemin Sınıfı İçin ve Güçlü Kolon Tasarımı Dikkate Alınmayan Sistemde CSM Yöntemine Göre Performans Noktasının Bulunması (R=8)



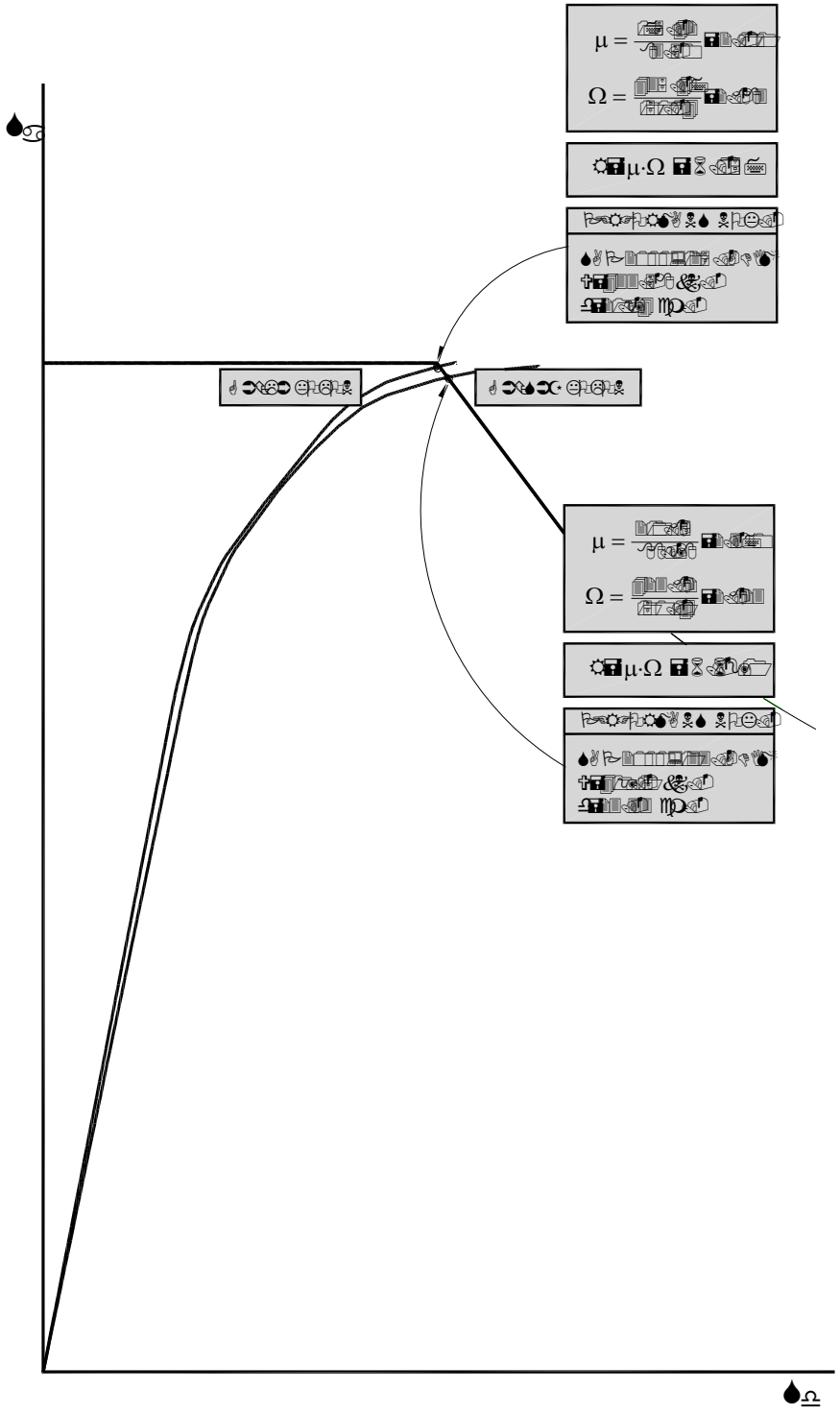
Şekil C.7 Z4 Zemin Sınıfı İçin ve Yerdeğiştirme Etkin Tasarıma Göre CSM Yöntemine Göre Performans Noktasının Bulunması



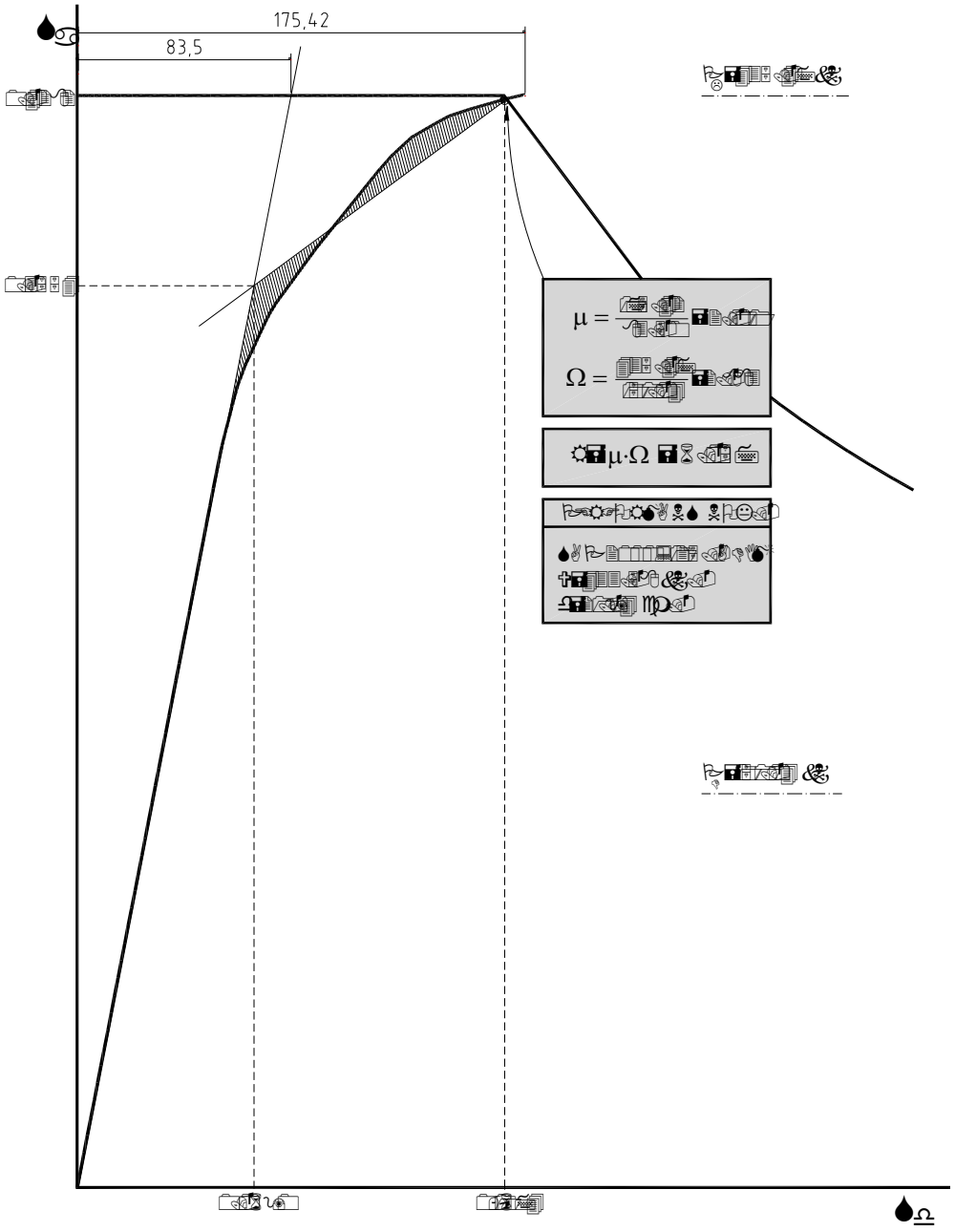
Şekil C.8 Z4 Zemin Sınıfı İçin, Yerdeğiştirme Etkin ve Güçlü Kolon Tasarımı Dikkate Alınan Sistemde CSM Yöntemine Göre Performans Noktasının Bulunması



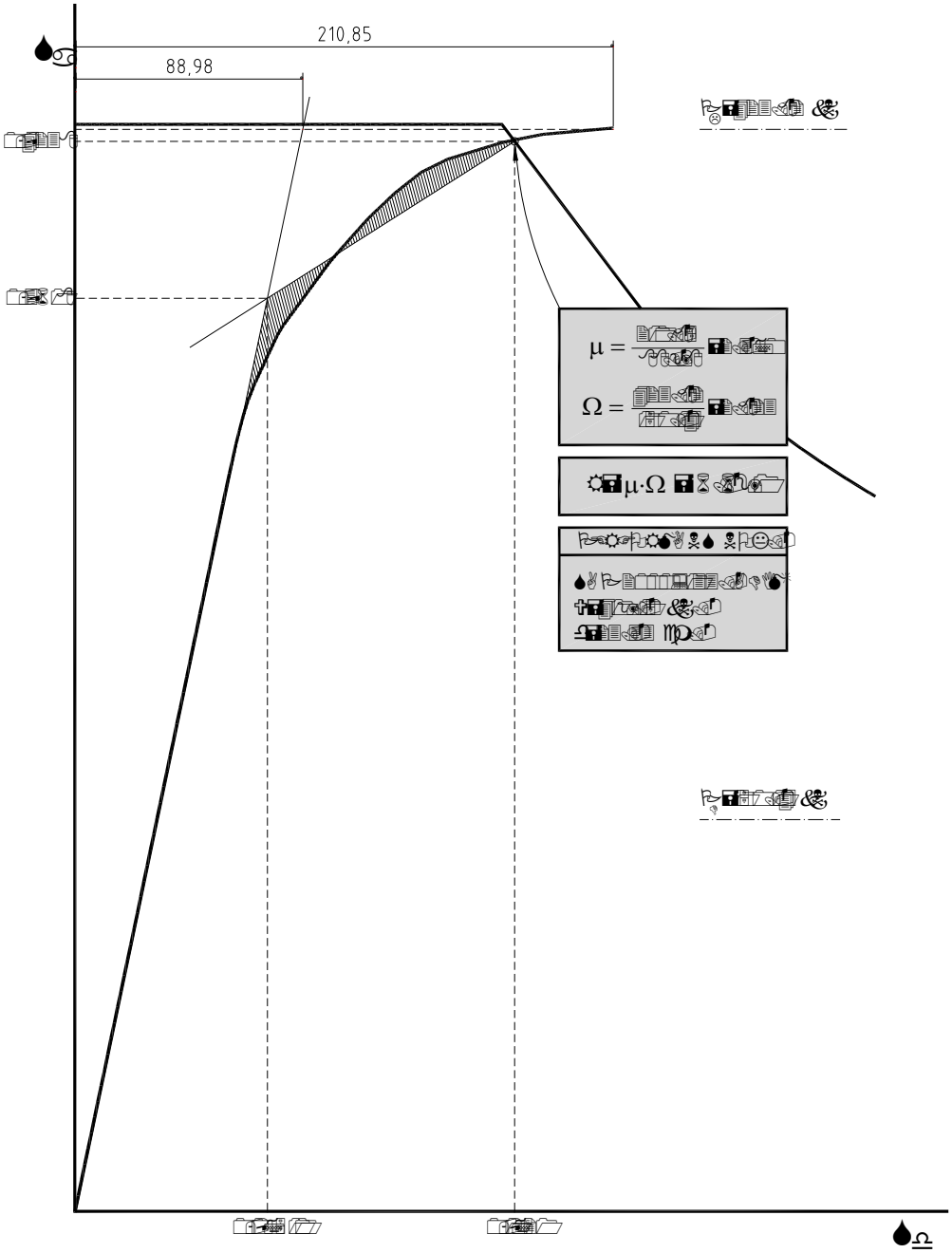
Şekil C.9 Z4 Zemin Sınıfı İçin, Yerdeğiştirme Etkin ve Güçlü Kolon Tasarımı Dikkate Alınmayan Sistemde CSM Yöntemine Göre Performans Noktasının Bulunması



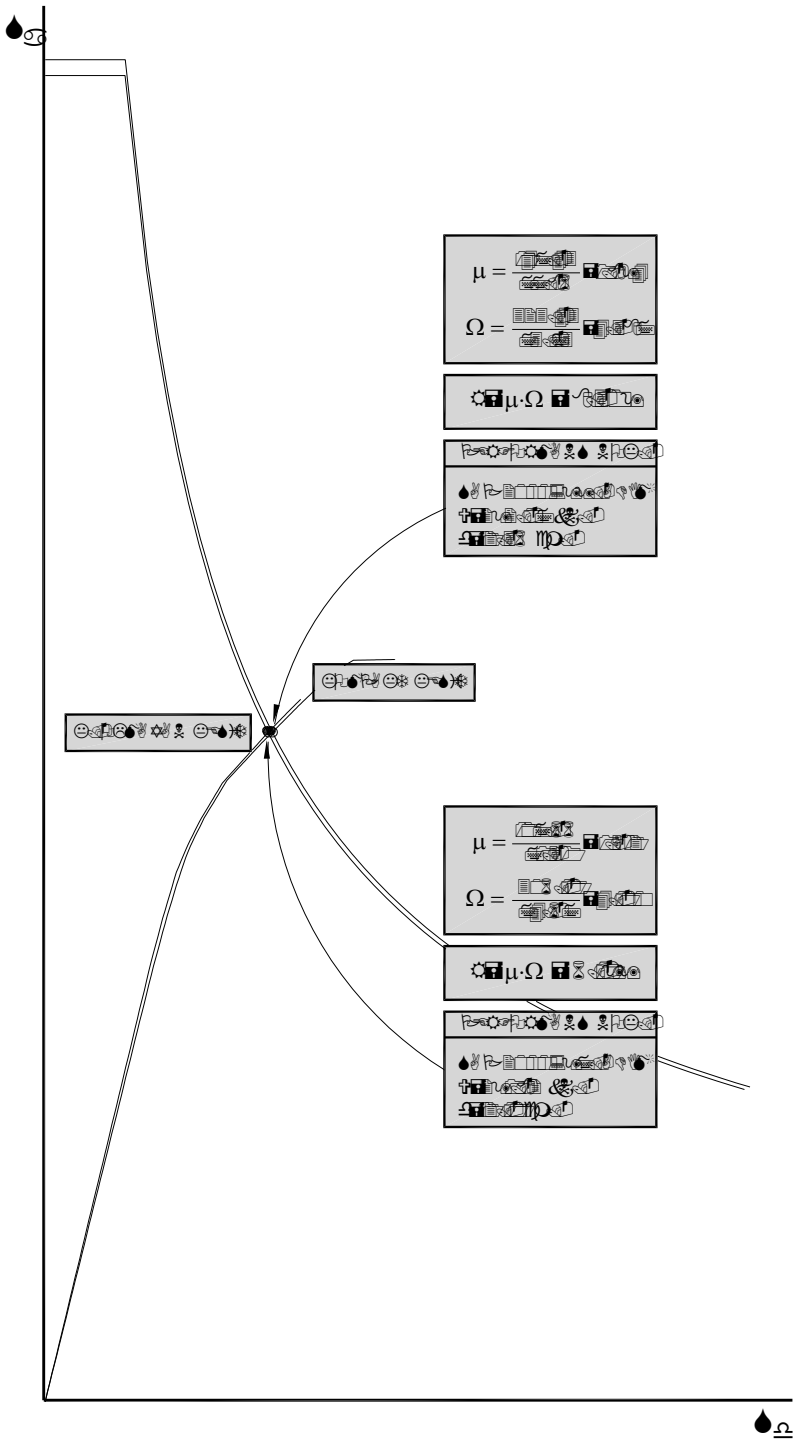
Şekil C.10 Z4 Zemin Sınıfı İçin ve Gerilme Etkin Tasarıma Göre CSM Yöntemine Göre Performans Noktasının Bulunması



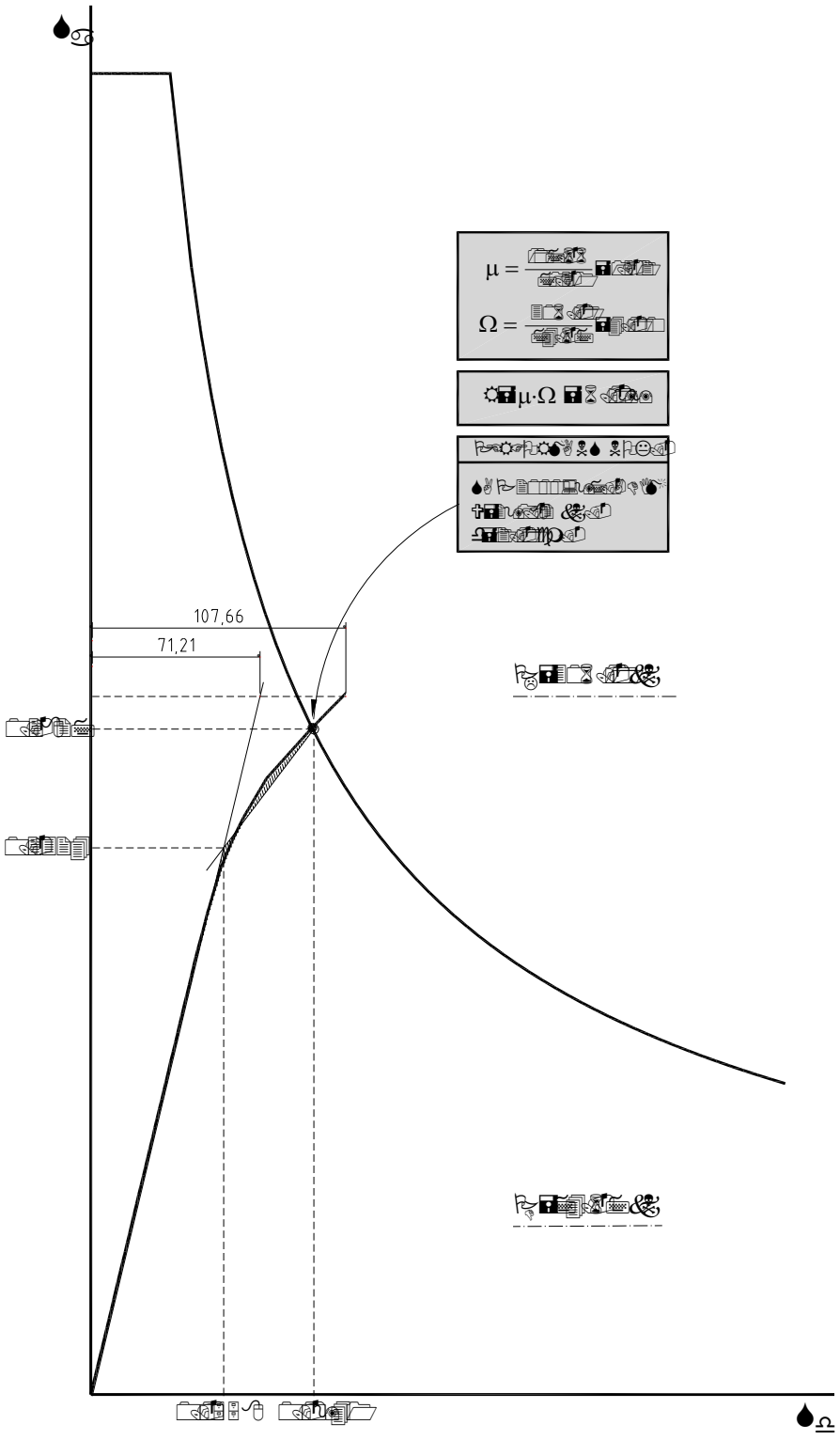
Şekil C.11 Z4 Zemin Sınıfı İçin, Gerilme Etkin ve Güçlü Kolon Tasarımı Dikkate Alınan Sistemde CSM Yöntemine Göre Performans Noktasının Bulunması



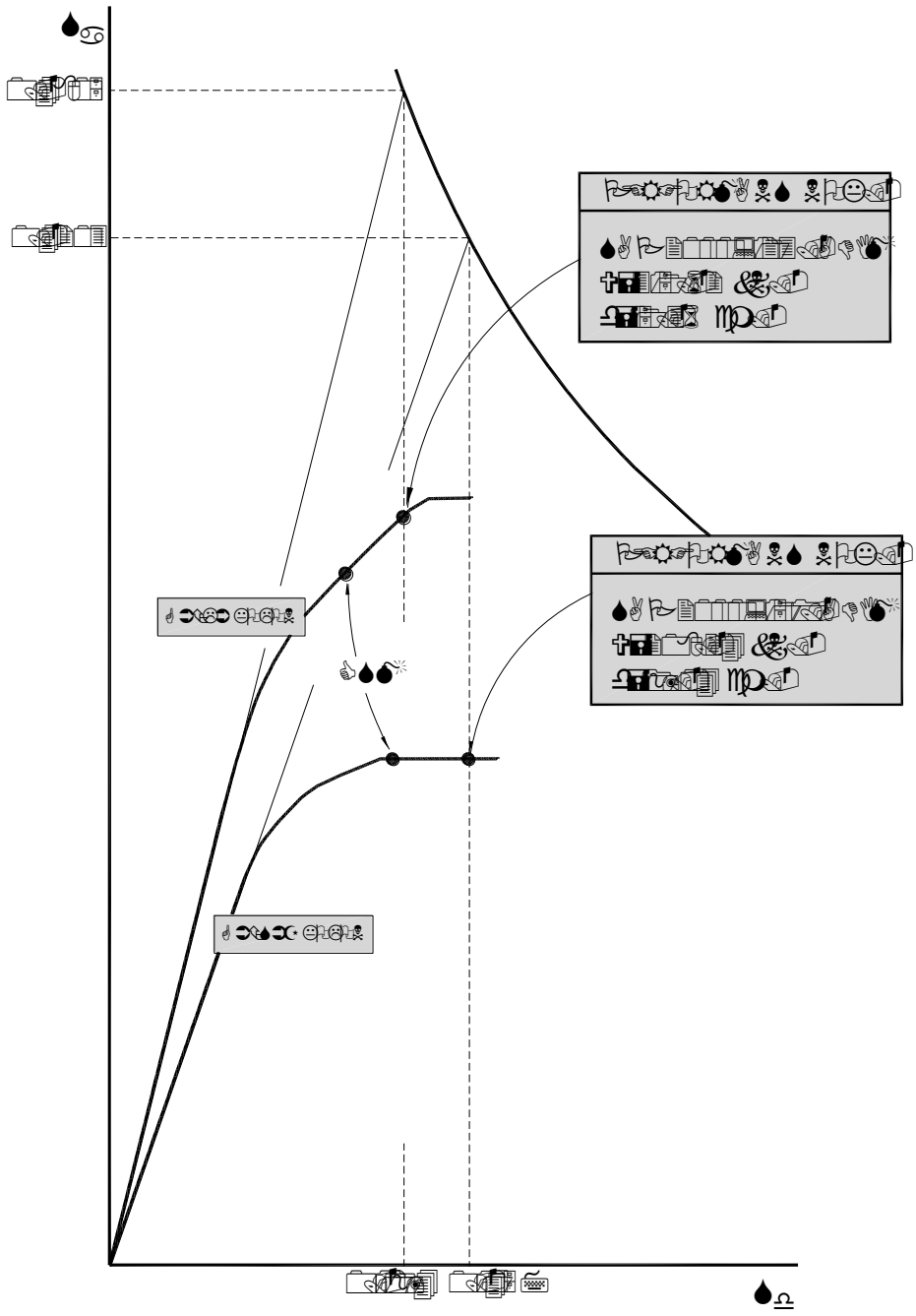
Şekil C.12 Z4 Zemin Sınıfı İçin, Gerilme Etkin ve Güçlü Kolon Tasarımı Dikkate Alınmayan Sistemde CSM Yöntemine Göre Performans Noktasının Bulunması



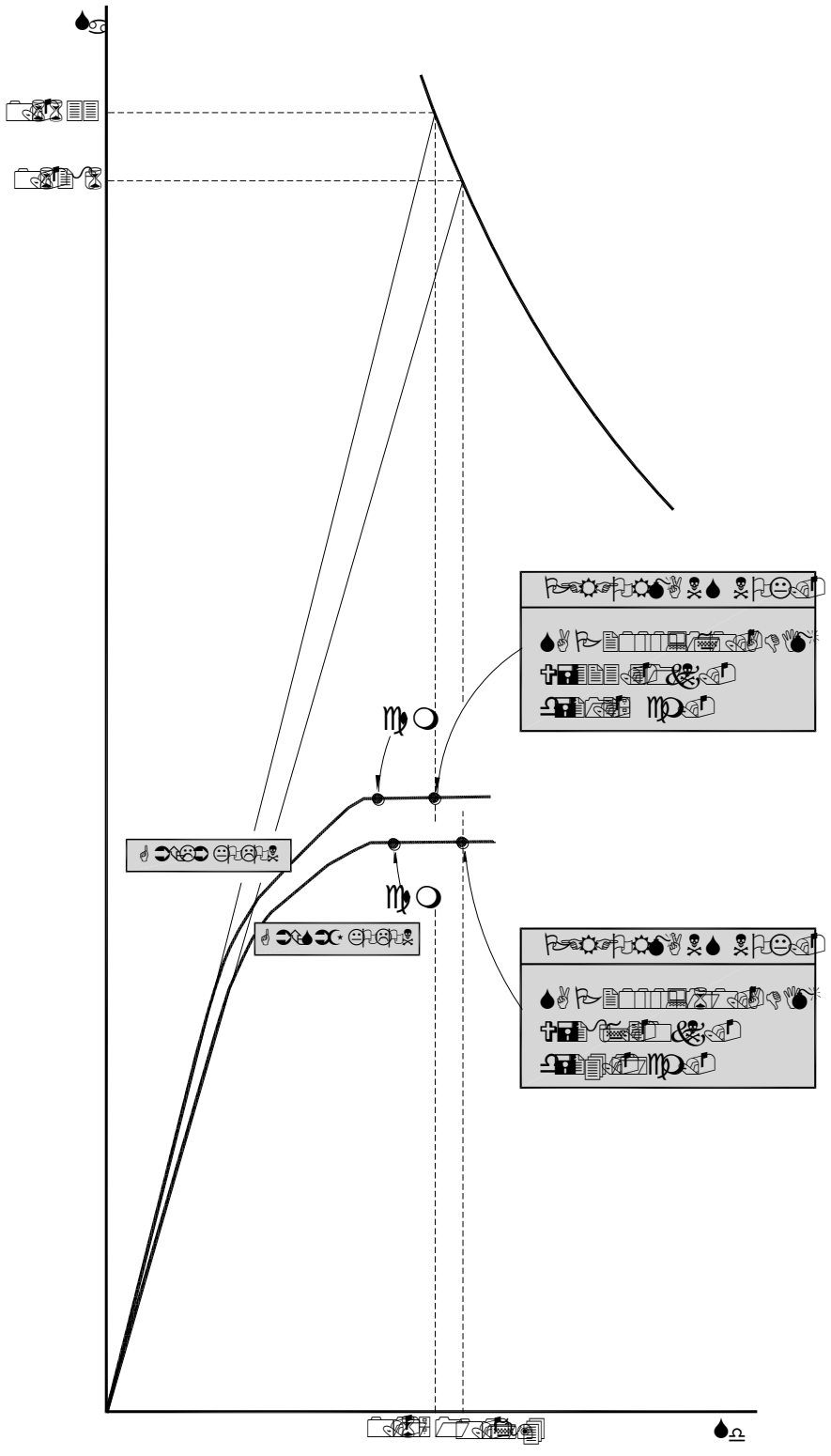
Şekil C.13 Z2 Zemin Sınıfı İçin Kompakt Olan/Olmayan Kesit ve Güçlü Kolon Tasarımı Dikkate Alınan Sistemde CSM Yöntemine Göre Performans Noktasının Bulunması



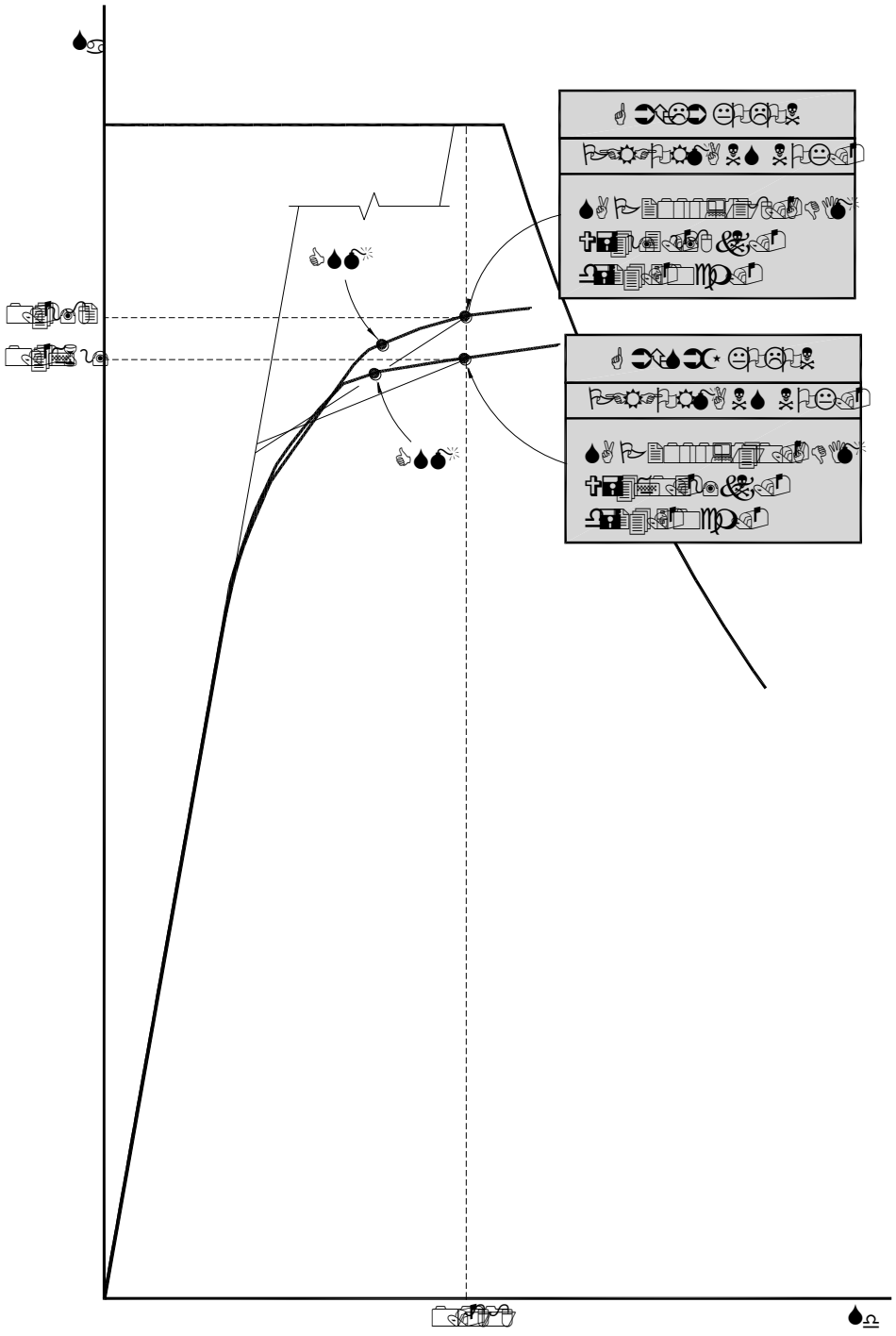
Şekil C.14 Z2 Zemin Sınıfı İçin, Kompakt Olmayan Kesit ve Güçlü Kolon Tasarımı Dikkate Alınan Sistemde CSM Yöntemine Göre Performans Noktasının Bulunması



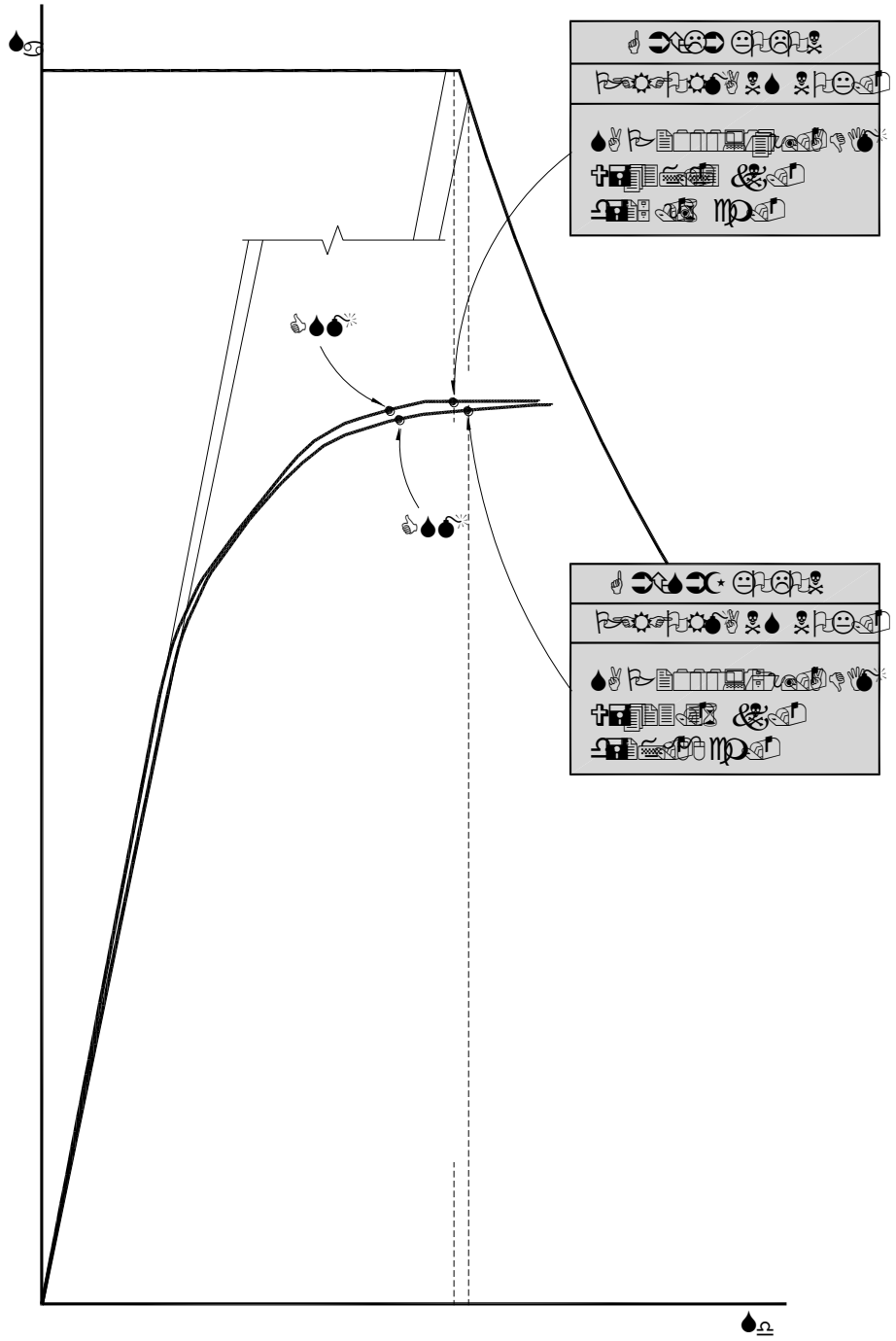
Şekil C.15 Z2 Zemin Sınıfı İçin TDY-05 Yöntemine Göre Performans Noktalarının Bulunması



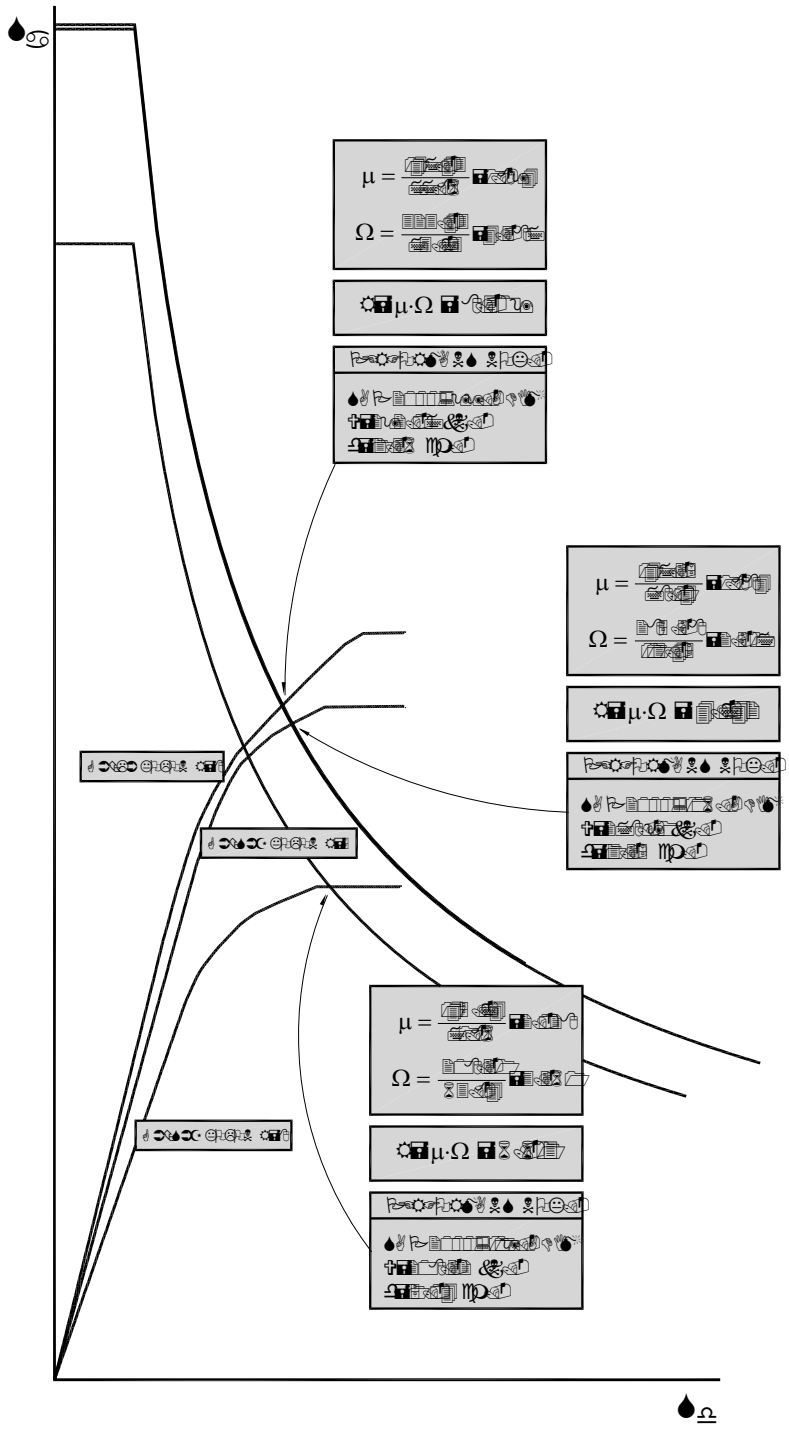
Şekil C.16 Z3 Zemin Sınıfı İçin TDY-05 Yöntemine Göre Performans Noktalarının Bulunması



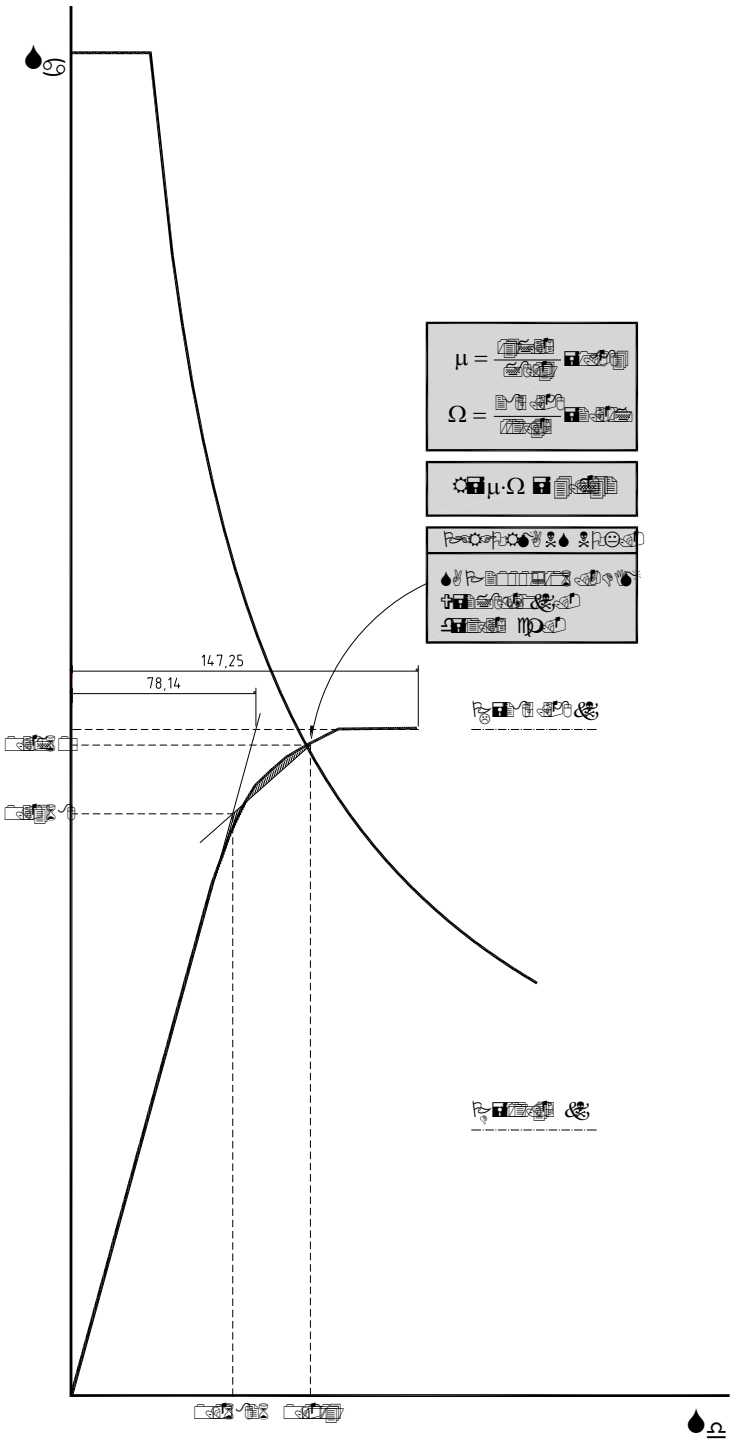
Şekil C.17 Z4 Zemin Sınıfı İçin ve Yerdeğiştirme Etkin Tasarımda TDY-05 Yöntemine Göre Performans Noktalarının Bulunması



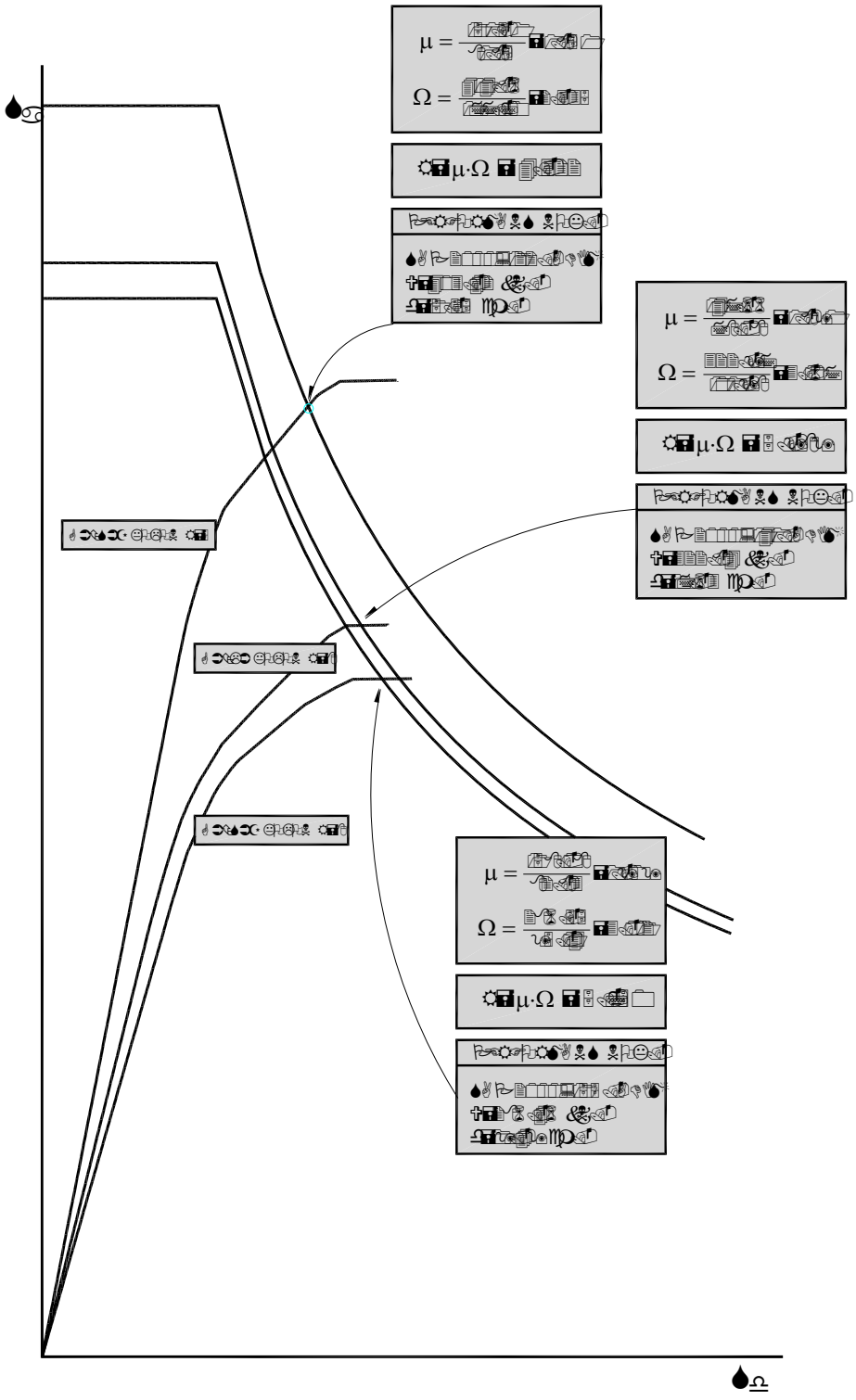
Şekil C.18 Z4 Zemin Sınıfı İçin ve Gerilme Etkin Tasarımda TDY-05 Yöntemine Göre Performans Noktalarının Bulunması



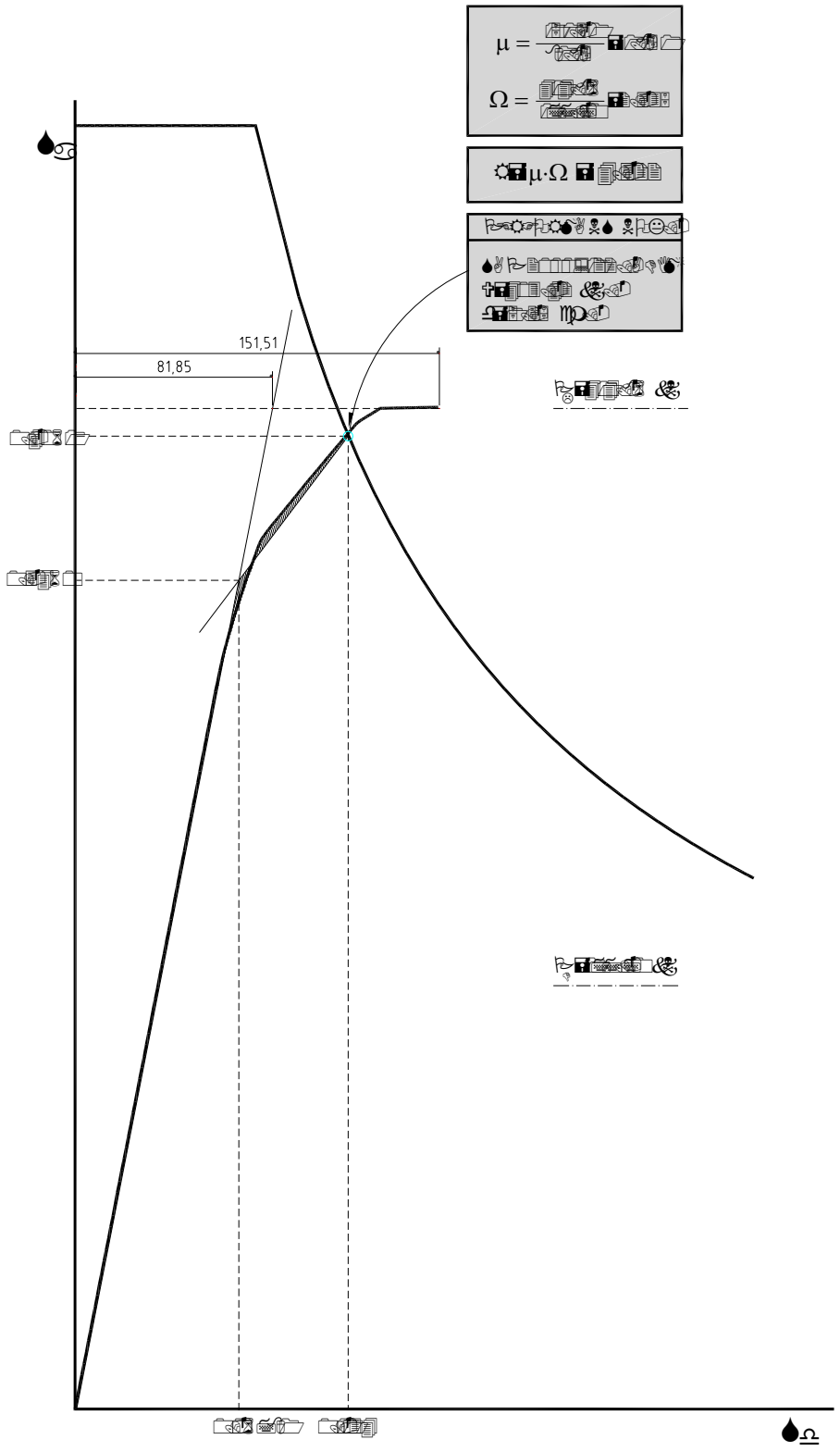
Şekil C.19 Z2 Zemin Sınıfı İçin CSM Yöntemine Göre Performans Noktalarının Karşılaştırılması



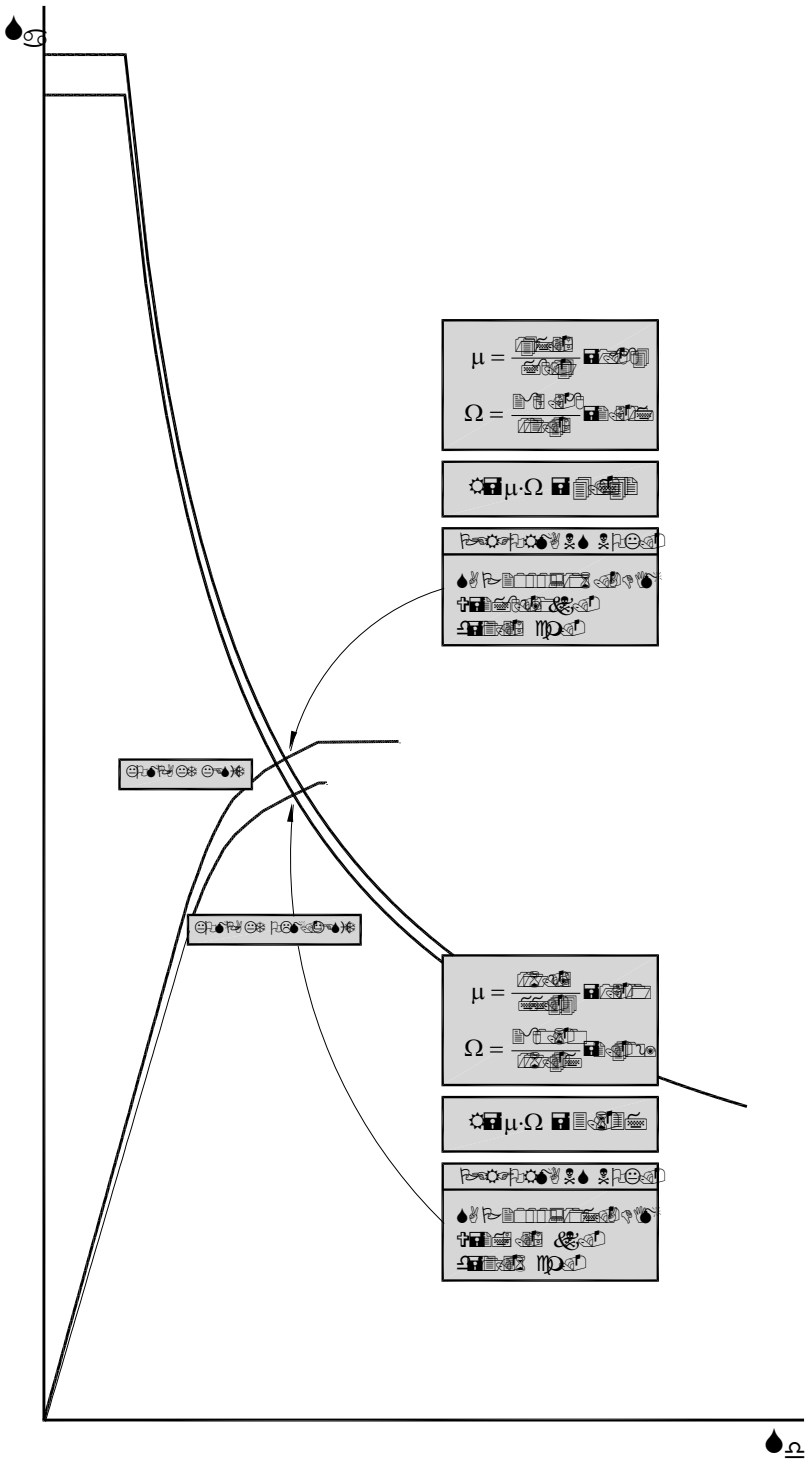
Şekil C.20 Z2 Zemin Sınıfı İçin ve Güçlü Kolon Tasarımı Dikkate Alınmayan Sistemde CSM Yöntemine Göre Performans Noktasının Bulunması (R=5)



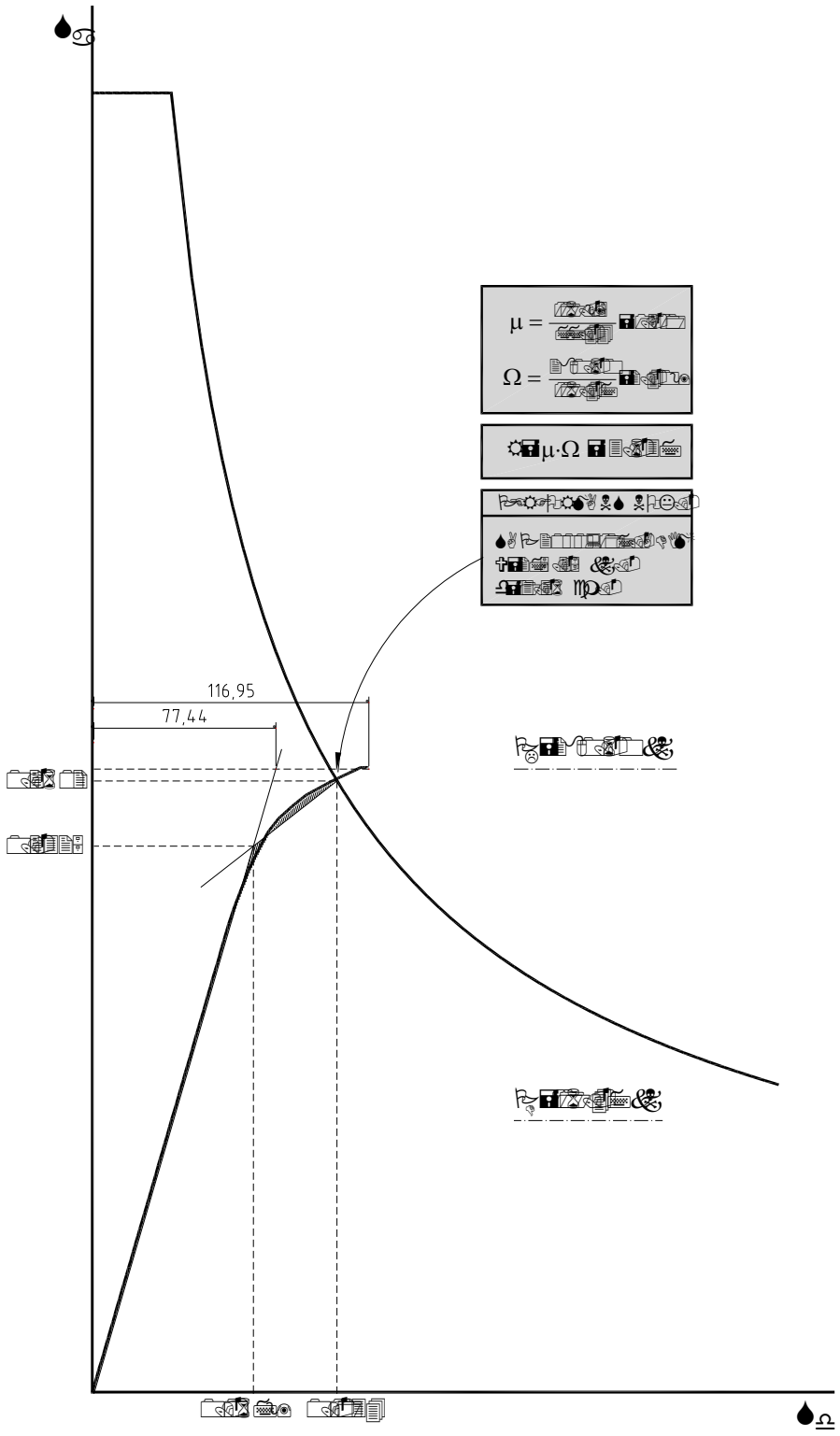
Şekil C.21 Z3 Zemin Sınıfı İçin CSM Yöntemine Göre Performans Noktalarının Karşılaştırılması



Şekil C.22 Z3 Zemin Sınıfı İçin ve Güçlü Kolon Tasarımı Dikkate Alınmayan Sistemde CSM Yöntemine Göre Performans Noktasının Bulunması (R=5)



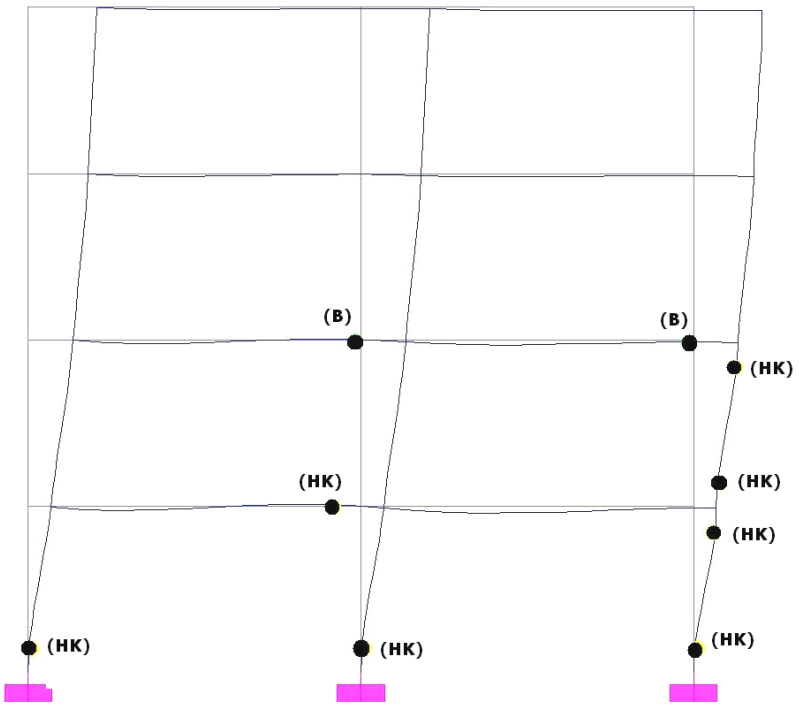
Şekil C.23 Z2 Zemin Sınıfı ve Kompakt Olmayan Kesit Tasarımı İçin CSM Yöntemine Göre Performans Noktalarının Karşılaştırılması



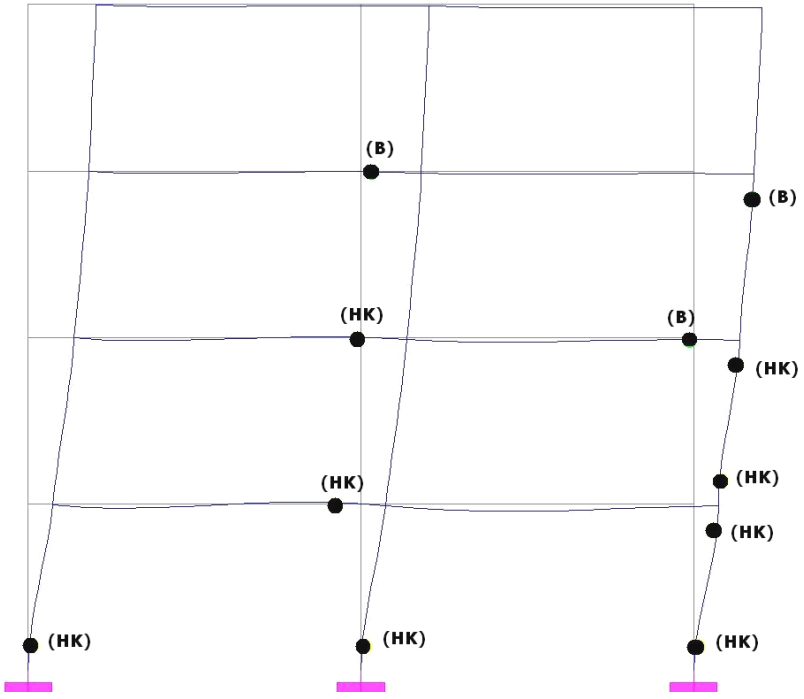
Şekil C.24 Z2 Zemin Sınıfı ve Kompakt Olmayan Kesit İçin ve Güçlü Kolon Tasarımı Dikkate Alınmayan Sistemde CSM Yöntemine Göre Performans Noktasının Bulunması (R=5)

EK – D

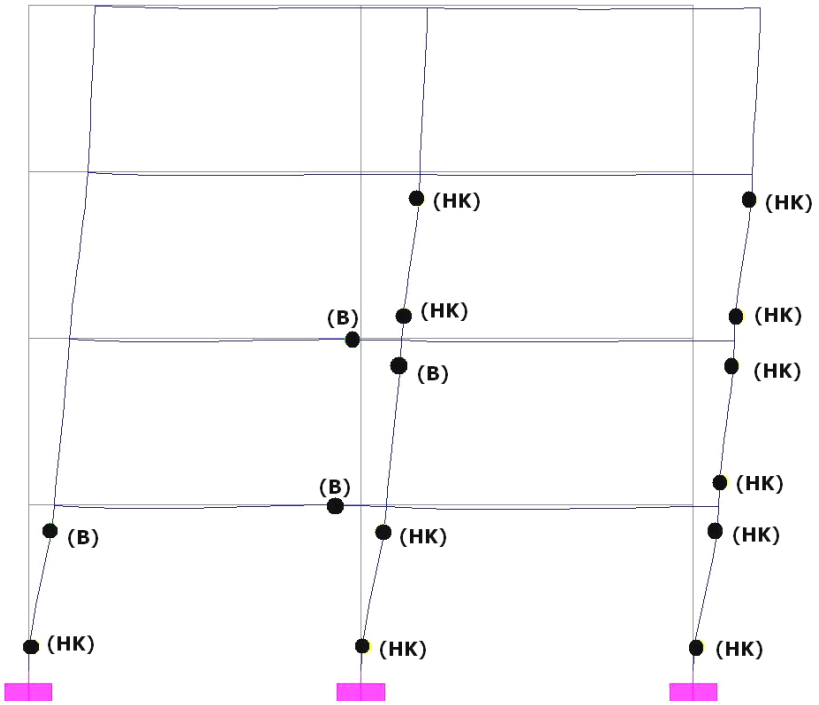
TAŞIYICI SİSTEM MODELLERİNİN PERFORMANS NOKTASINDAKİ ELEMAN PERFORMANS SEVİYELERİ



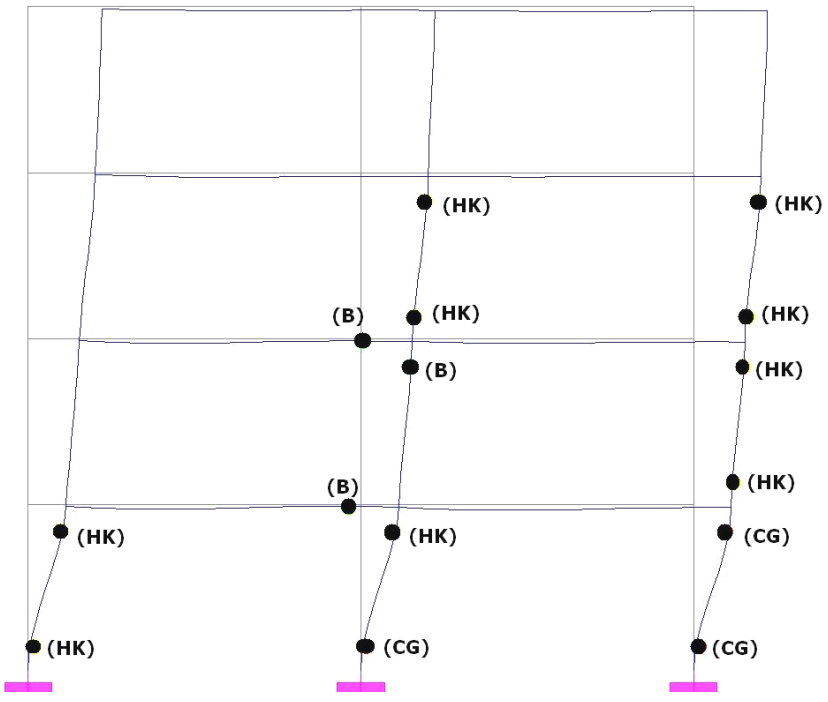
Şekil D.1 Z2 Zemin Sınıfı için ve Güçlü Kolon Tasarımı Dikkate Alındığında, CSM Yöntemine Göre Eleman Performans Seviyeleri



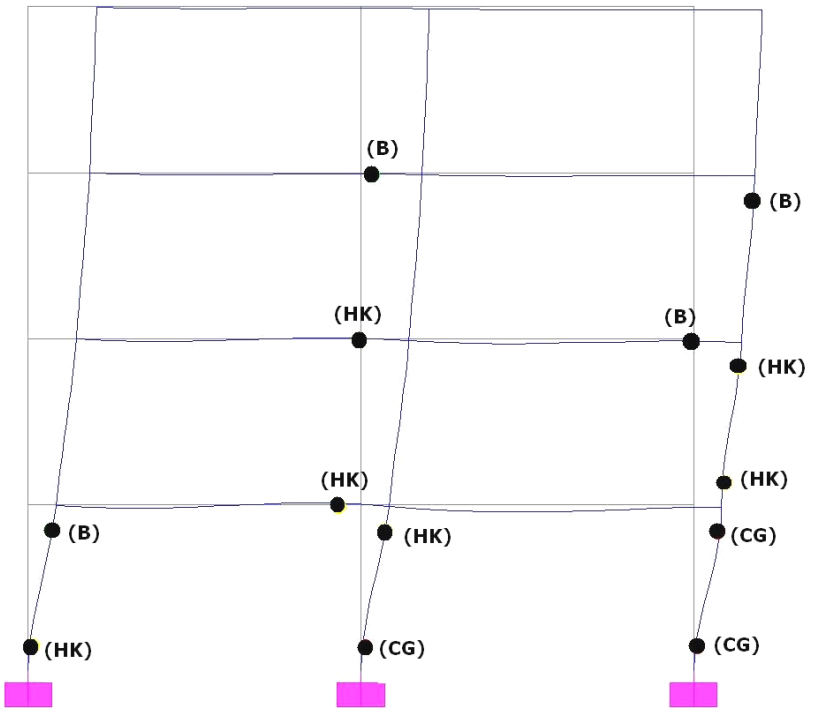
Şekil D.2 Z2 Zemin Sınıfı için ve Güçlü Kolon Tasarımı Dikkate Alındığında, TDY-05 Yöntemine Göre Eleman Performans Seviyeleri



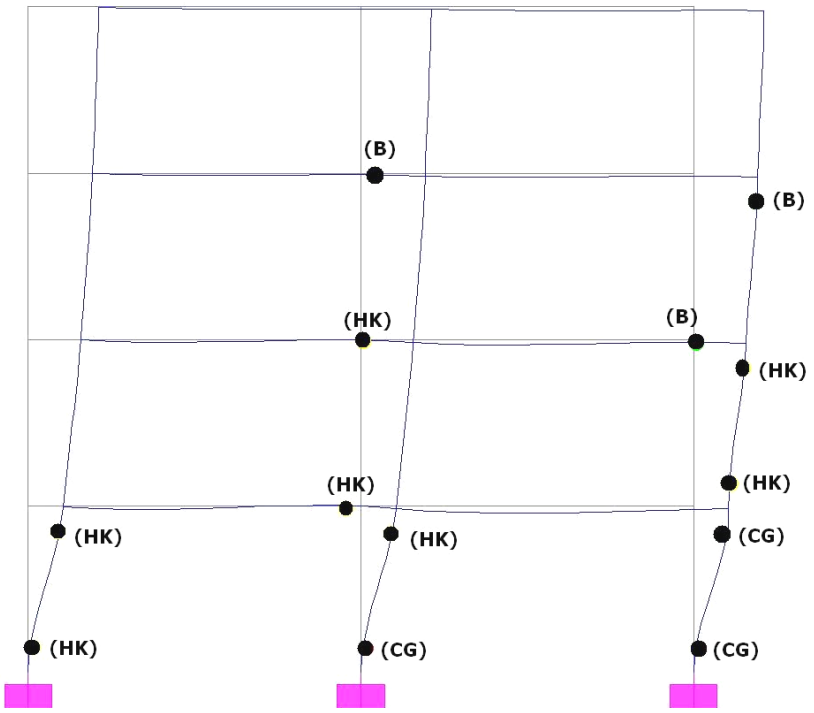
Şekil D.3 Z2 Zemin Sınıfı için ve Güçlü Kolon Tasarımı Dikkate Alınmadığında, CSM Yöntemine Göre Eleman Performans Seviyeleri (R=8)



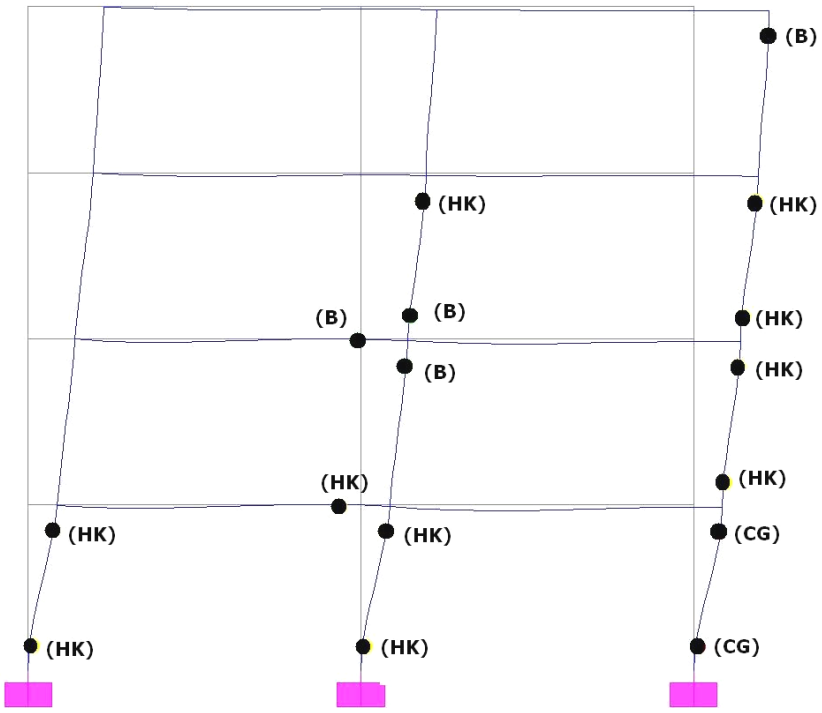
Şekil D.4 Z2 Zemin Sınıfı için ve Güçlü Kolon Tasarımı Dikkate Alınmadığında, TDY-05 Yöntemine Göre Eleman Performans Seviyeleri (R=8)



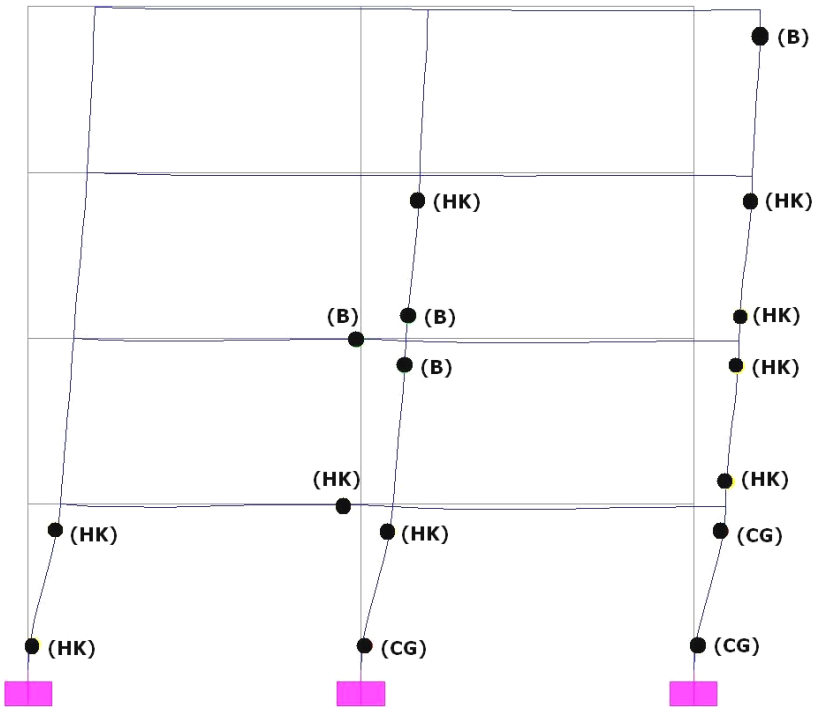
Şekil D.5 Z3 Zemin Sınıfı için ve Güçlü Kolon Tasarımı Dikkate Alındığında, CSM Yöntemine Göre Eleman Performans Seviyeleri



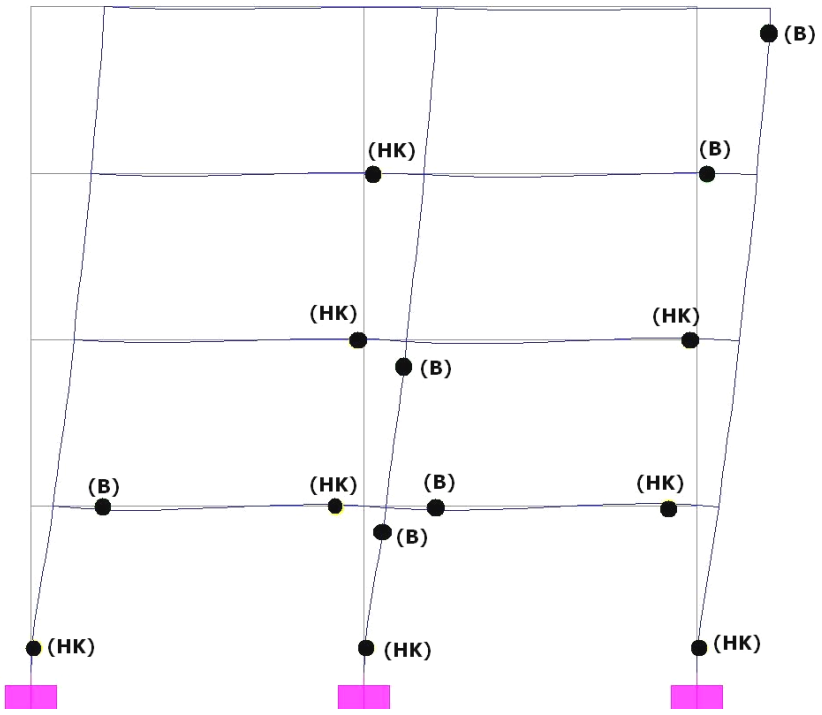
Şekil D.6 Z3 Zemin Sınıfı için ve Güçlü Kolon Tasarımı Dikkate Alındığında, TDY-05 Yöntemine Göre Eleman Performans Seviyeleri



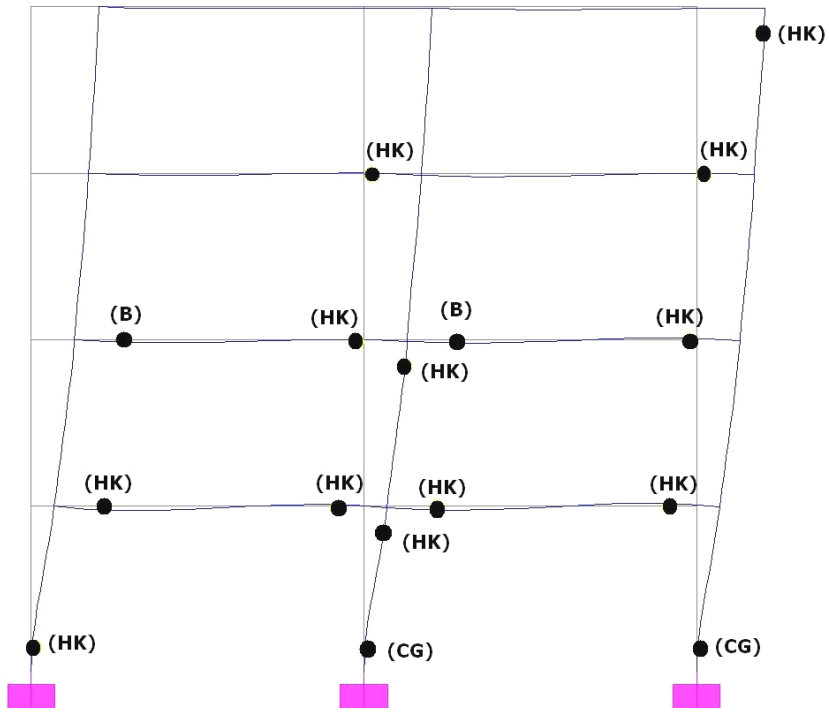
Şekil D.7 Z3 Zemin Sınıfı için ve Güçlü Kolon Tasarımı Dikkate Alınmadığında, CSM Yöntemine Göre Eleman Performans Seviyeleri (R=8)



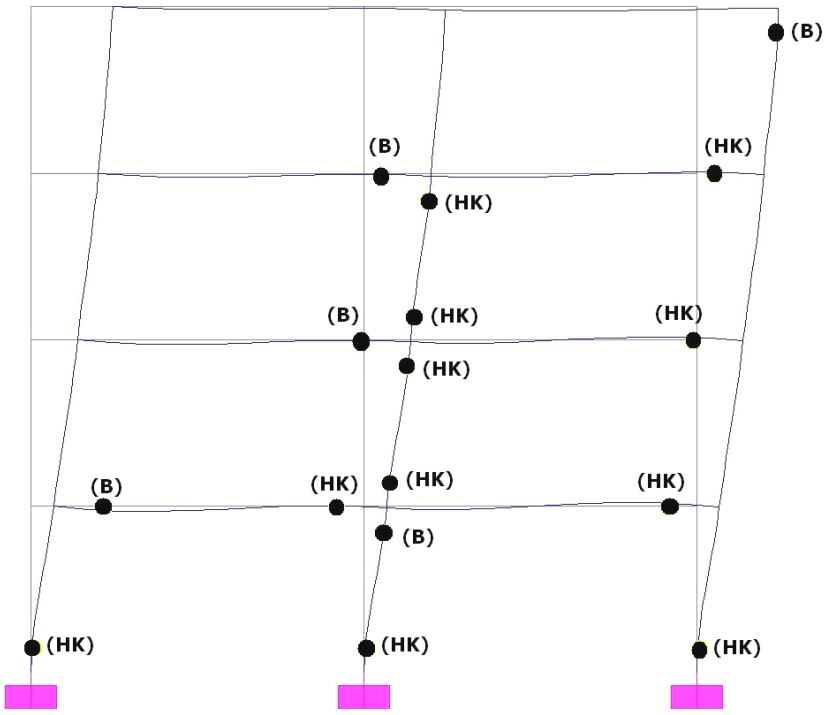
Şekil D.8 Z3 Zemin Sınıfı için ve Güçlü Kolon Tasarımı Dikkate Alınmadığında, TDY-05 Yöntemine Göre Eleman Performans Seviyeleri (R=8)



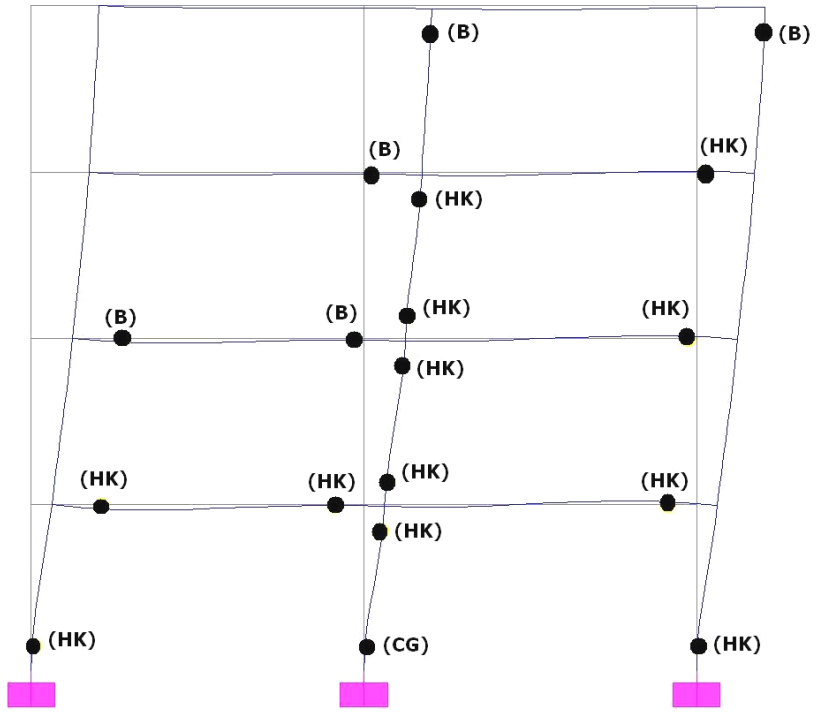
Şekil D.9 Z4 Zemin Sınıfı için, Yerdeğiştirme Etkin ve Güçlü Kolon Tasarımı Dikkate Alındığında, CSM Yöntemine Göre Eleman Performans Seviyeleri



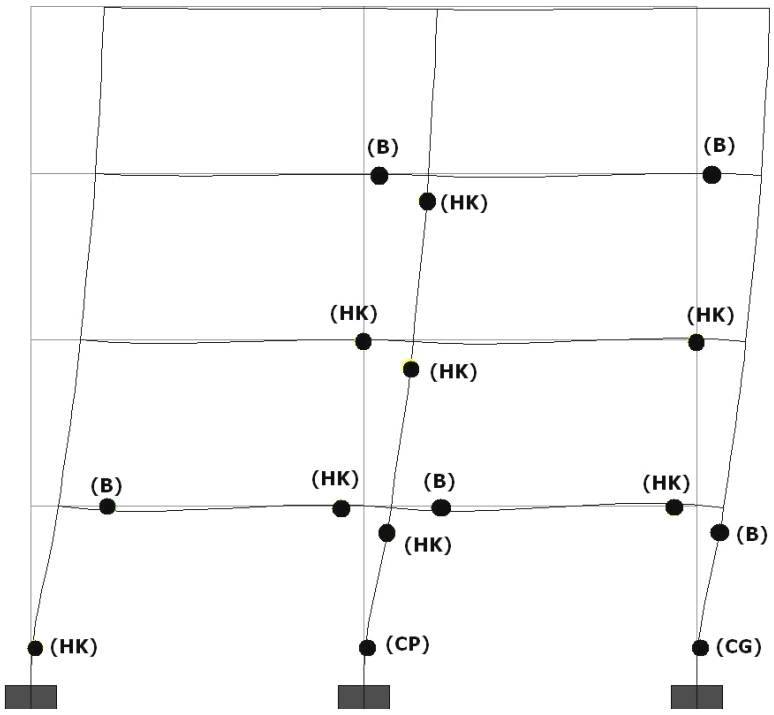
Şekil D.10 Z4 Zemin Sınıfı için, Yerdeğiştirme Etkin ve Güçlü Kolon Tasarımı Dikkate Alındığında, TDY-05 Yöntemine Göre Eleman Performans Seviyeleri



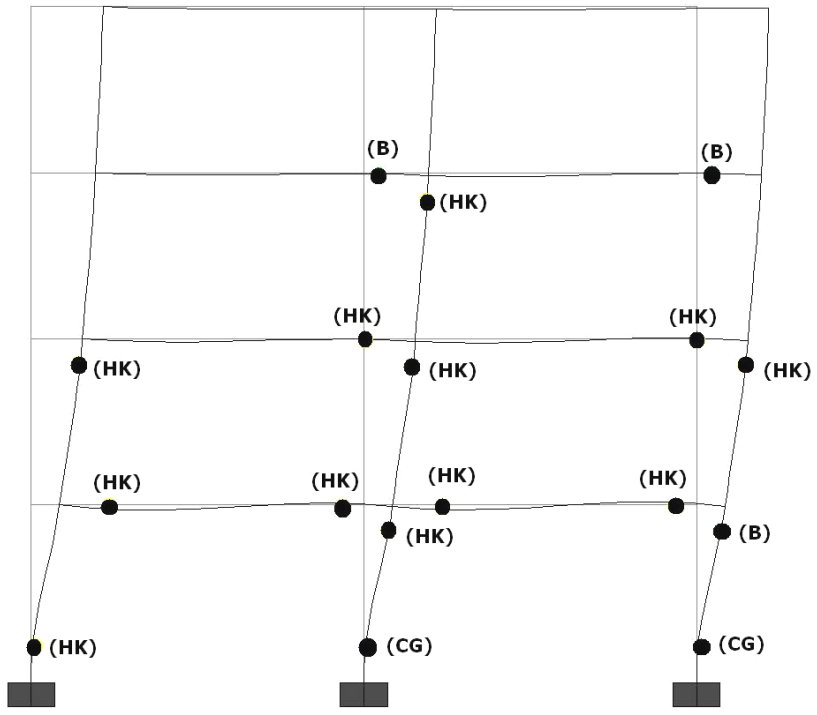
Şekil D.11 Z4 Zemin Sınıfı için, Yerdeğiştirme Etkin ve Güçlü Kolon Tasarımı Dikkate Alınmadığında, CSM Yöntemine Göre Eleman Performans Seviyeleri



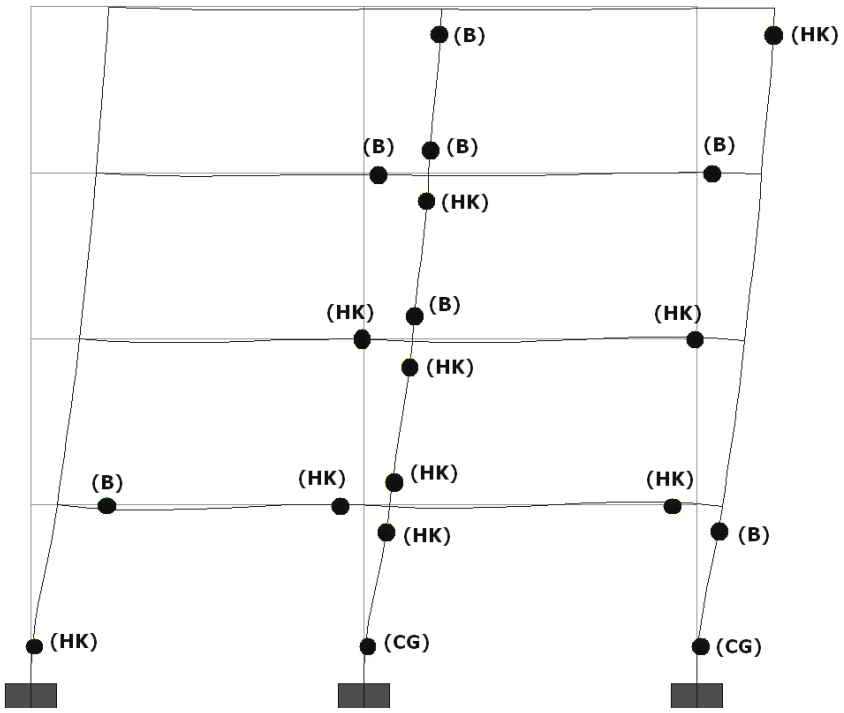
Şekil D.12 Z4 Zemin Sınıfı için, Yerdeğiştirme Etkin ve Güçlü Kolon Tasarımı Dikkate Alınmadığında, TDY-05 Yöntemine Göre Eleman Performans Seviyeleri



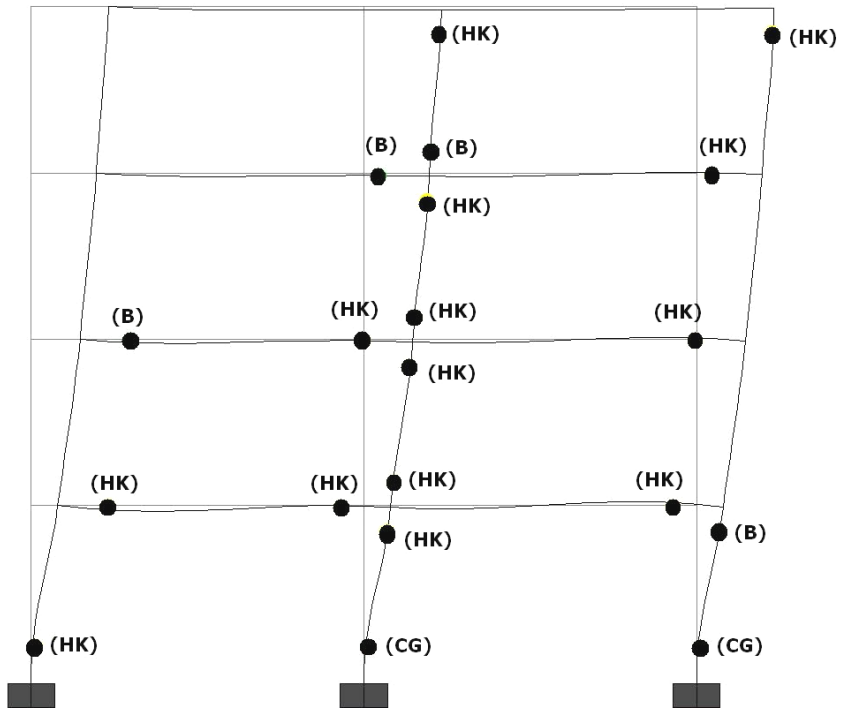
Şekil D.13 Z4 Zemin Sınıfı için, Gerilme Etkin ve Güçlü Kolon Tasarımı Dikkate Alındığında, CSM Yöntemine Göre Eleman Performans Seviyeleri



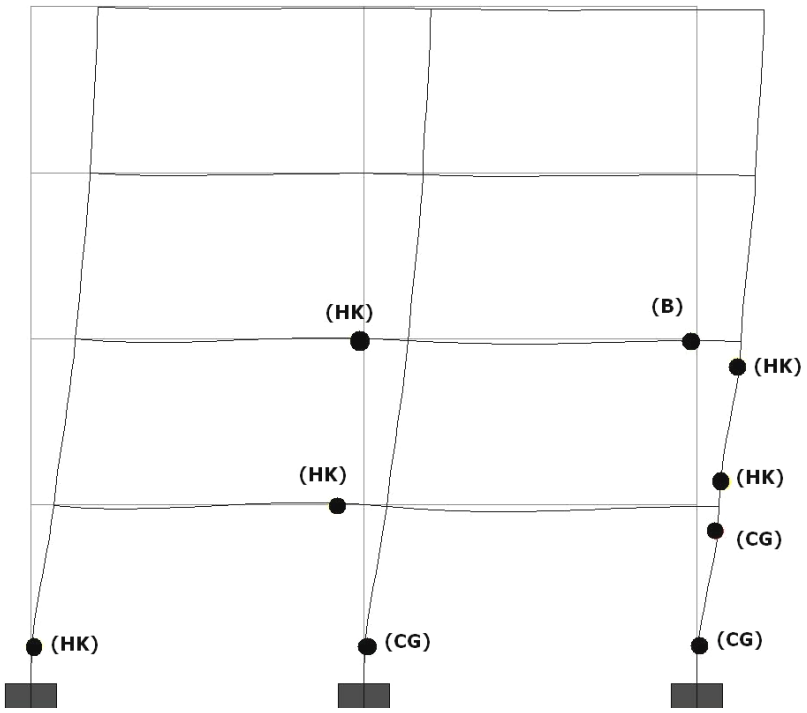
Şekil D.14 Z4 Zemin Sınıfı için, Gerilme Etkin ve Güçlü Kolon Tasarımı Dikkate Alındığında, TDY-05 Yöntemine Göre Eleman Performans Seviyeleri



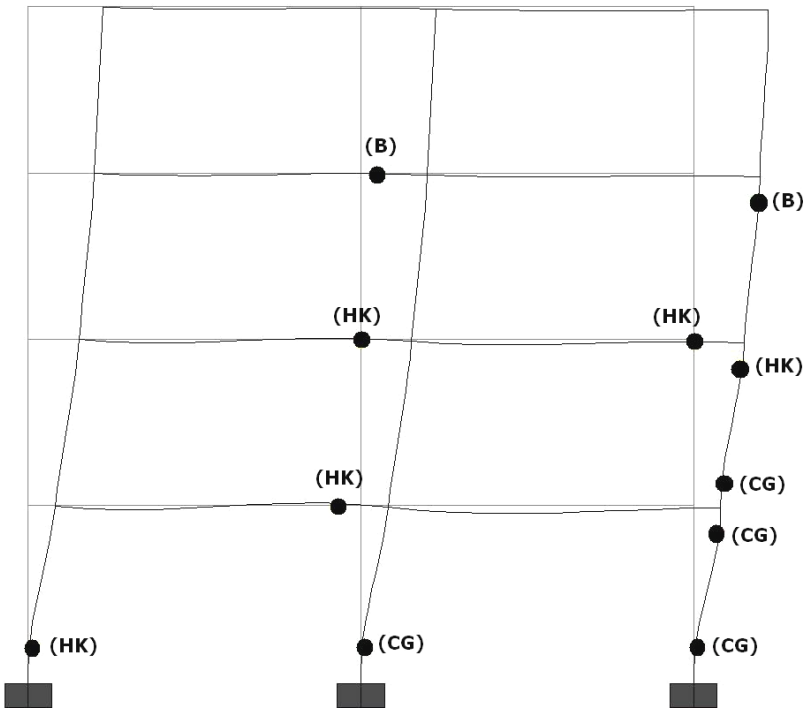
Şekil D.15 Z4 Zemin Sınıfı için, Gerilme Etkin ve Güçlü Kolon Tasarımı Dikkate Alınmadığında, CSM Yöntemine Göre Eleman Performans Seviyeleri



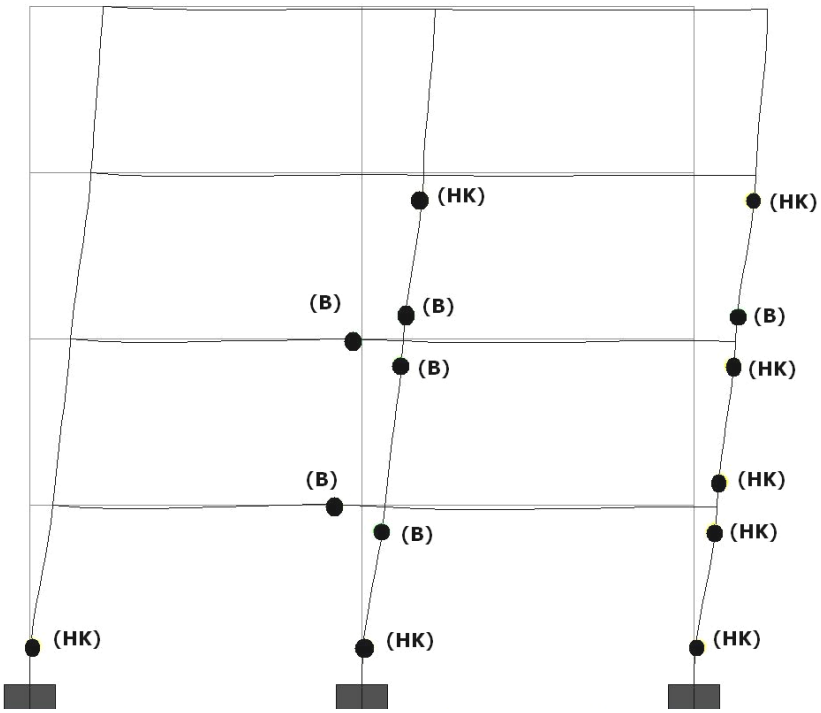
Şekil D.16 Z4 Zemin Sınıfı için, Gerilme Etkin ve Güçlü Kolon Tasarımı Dikkate Alınmadığında, TDY-05 Yöntemine Göre Eleman Performans Seviyeleri



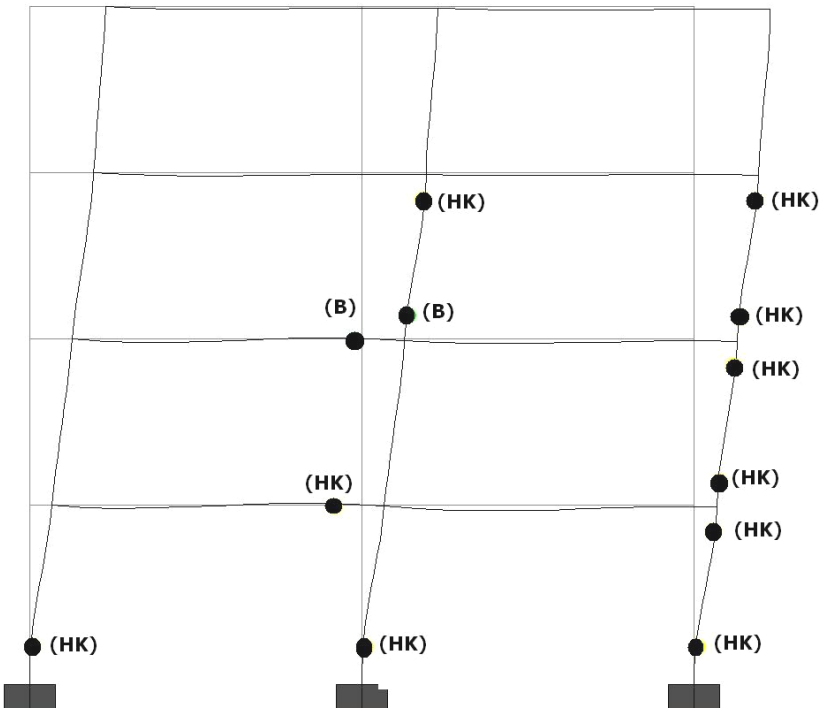
Şekil D.17 Z2 Zemin Sınıfı için, Kompakt Olmayan Kesit ve Güçlü Kolon Tasarımı Dikkate Alındığında, CSM Yöntemine Göre Eleman Performans Seviyeleri (R=8)



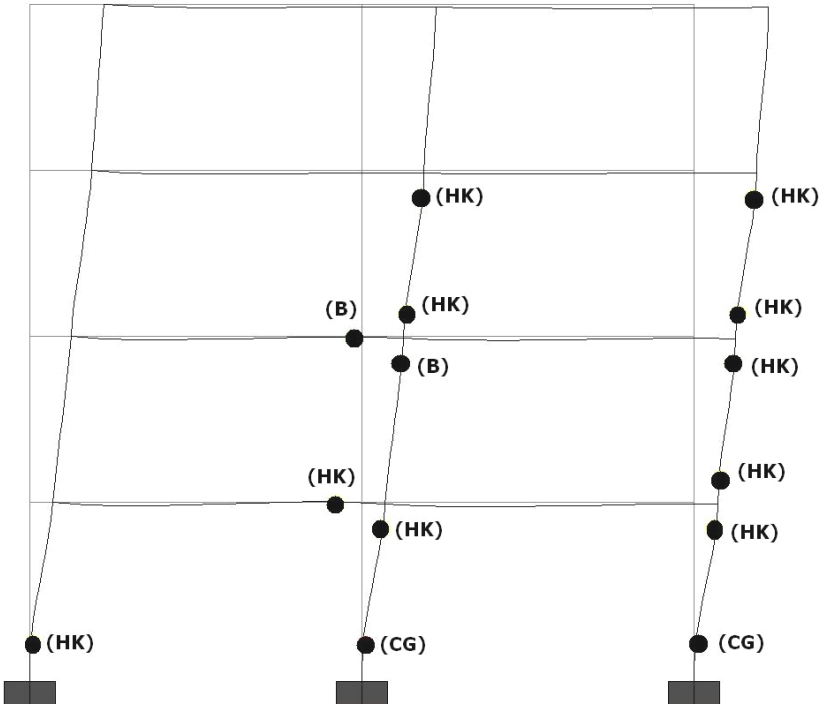
Şekil D.18 Z2 Zemin Sınıfı için, Kompakt Olmayan Kesit ve Güçlü Kolon Tasarımı Dikkate Alındığında, TDY-05 Yöntemine Göre Eleman Performans Seviyeleri (R=8)



Şekil D.19 Z2 Zemin Sınıfı için ve Güçlü Kolon Tasarımı Dikkate Alınmadığında, CSM Yöntemine Göre Eleman Performans Seviyeleri (R=5)



Şekil D.20 Z3 Zemin Sınıfı için ve Güçlü Kolon Tasarımı Dikkate Alınmadığında, CSM Yöntemine Göre Eleman Performans Seviyeleri (R=5)



Şekil D.21 Z2 Zemin Sınıfı için, Kompakt Olmayan Kesit ve Güçlü Kolon Tasarımı Dikkate Alınmadığında, CSM Yöntemine Göre Eleman Performans Seviyeleri (R=5)

ÖZGEÇMİŞ

Emre CENGİZOĞLU, 1976 yılında İstanbul' da doğmuştur. İlk öğrenimini, Hasan Ali Yücel ilkokulunda, orta ve lise öğrenimini Etiler Lisesinde tamamlamıştır. 1995 yılında, İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümüne girmeye hak kazanmıştır. 2000 senesinde üniversiteyi iyi dereceyle bitirdikten sonra, özel bir şirkette proje mühendisi olarak işe başlamıştır. 2002 senesinde, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsüne bağlı Yapı Anabilim Dalı, Yapı Analizi ve Boyutlandırma programına girmeye hak kazanmıştır. 2005 senesinde, beş senedir çalışmakta olduğu firmadan ayrılarak yüksek lisans öğrenimini tamamlamak üzeredir.